



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**KAROLAYNE FERREIRA SARAIVA**

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO SOLO NAS  
PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL  
DA *Myracrodruon urundeuva* Fr. All**

Gurupi/TO  
2021

**KAROLAYNE FERREIRA SARAIVA**

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO SOLO NAS  
PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL  
DA *Myracrodruon urundeuva* Fr. All**

Artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Raquel Marchesan.

Gurupi/TO  
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- S243i Saraiva, Karolayne Ferreira.  
Influência do tempo de exposição ao solo nas propriedades da madeira e do carvão vegetal da *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. / Karolayne Ferreira Saraiva. – Gurupi, TO, 2021.  
36 f.
- Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Engenharia Florestal, 2021.  
Orientadora : Raquel Marchesan
1. Biodeterioração da madeira. 2. Prolise. 3. Poder calorífico. 4. Qualidade energética. I. Título

**CDD 577.272**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

KAROLAYNE FERREIRA SARAIVA

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO SOLO NAS  
PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL  
DA *Myracrodruon urundeuva* Fr. All**

Artigo foi avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora

Data de aprovação: 20 / 12 / 2021

Banca Examinadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raquel Marchesan, UFT

*Renata Carvalho da Silva*

---

Doutoranda Renata Carvalho da Silva, UFPR

*Rosaina de Sousa Venega*

---

Rosaina de Sousa Venega, Eng. Florestal

Gurupi/TO, 2021

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela minha saúde e por me dar forças para seguir diante das dificuldades.

Aos meus pais, Zelma Ferreira Lima e Luiz Raimundo Moura Saraiva, por todo o apoio e incentivo.

As minhas irmãs, Luciele Ferreira Saraiva e Lorryne Ferreira Saraiva, que sempre me ajudaram quando precisei.

Agradeço a minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raquel Marchesan, por me apoiar e guiar nessa etapa da minha graduação, suas orientações foram fundamentais em todos os momentos, muito obrigado por toda a confiança depositada em mim para realizar esse trabalho.

A Universidade Federal do Tocantins, por todo o conhecimento.

Agradeço a todos meus colegas e amigos, que tive o prazer de conhecer na UFT, que me acompanharam nesta jornada acadêmica.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades da madeira e do carvão vegetal da espécie *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. em função do tempo de exposição ao solo, visando a viabilidade para a produção energética. Para o estudo foram coletadas três árvores de forma aleatória, provenientes de resíduos de uma supressão para implantação de rede elétrica no município de Gurupi, TO. As árvores foram traçadas em toras da base, diâmetro a altura do peito e topo, e encaminhadas a marcenaria para confecção dos corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 30 cm para instalação do experimento em campo. Foram utilizados cinco tratamentos: T0 – testemunha, madeiras sem exposição; T1 – com cinco meses de exposição; T2 – com dez meses de exposição; T3 – com quinze meses de exposição; T4 – com vinte meses de exposição. Para a determinação das propriedades químicas da madeira os blocos foram transformados em partículas para a avaliação do teor de extrativos totais, lignina total, holocelulose e solubilidade em NaOH. O carvão vegetal foi produzido por meio de pirólise da madeira em uma mufla adaptada para a captação do licor pirolenhoso. Depois do processo de pirólise foram obtidos os valores de rendimento gravimétrico em carvão vegetal, em gases condensáveis e gases não condensáveis. Determinou-se a densidade aparente e a análise química imediata do carvão vegetal e por fim calculou-se o poder calorífico, densidade energética e estoque de carbono. Nas propriedades da madeira foi observada uma redução no teor de extrativos, densidade básica (0,91 a 0,72 g cm<sup>-3</sup>) e holocelulose. Houve aumento no teor de lignina (20,37 a 24,25 %), perda de massa (8,19 a 27,34 %) e solubilidade NaOH (19,01 a 26,2), indicando assim ataque de organismos xilófagos. Nas propriedades energéticas do carvão vegetal o efeito da madeira exposta ao solo fez com que ocorresse uma diminuição no teor de matérias voláteis, densidade aparente do carvão e cinzas e acarretou o aumento do carbono fixo (64 a 75%), poder calorífico (7.094 a 7.417 kcal kg<sup>-1</sup>), estoque de carbono (317 a 409 kg m<sup>-3</sup>) e densidade energética (7,062.530,44 kcal m<sup>-3</sup>). Portanto, o tempo de exposição ao solo afetou de forma negativa as propriedades da madeira, devido principalmente ao ataque severo dos organismos xilófagos, o que a inviabiliza para outros fins, porém apresentou resultados satisfatórios para a produção energética.

**Palavras-Chave:** Biodeterioração da madeira. Pirolise. Poder calorífico. Qualidade energética.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the properties of wood and charcoal of the species *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. depending on the time of exposure to the soil, aiming at the viability for energy production. For the study, three trees were randomly collected, coming from residues of a suppression for the implementation of the electrical network in the municipality of Gurupi, TO. The trees were traced on logs from the base, diameter at breast height and top, and sent to the joinery for the manufacture of specimens of 2.5 x 2.5 x 30 cm for installation of the experiment in the field. Five treatments were used: T0 – control, wood without exposure; T1 – with five months of exposure; T2 – with ten months of exposure; T3 – with fifteen months of exposure; T4 – with twenty months of exposure. To determine the chemical properties of the wood, the blocks were transformed into particles to evaluate the content of total extractives, total lignin, holocellulose and solubility in NaOH. The charcoal was produced by means of pyrolysis of wood in a muffle adapted to capture the pyroligneous liquor. After the pyrolysis process, gravimetric yield values were obtained in charcoal, in condensable and non-condensable gases. The apparent density and the immediate chemical analysis of the charcoal were determined and, finally, the calorific value, energy density and carbon stock were calculated. In the wood properties, a reduction in extractives content, basic density (0.91 to 0.72 g cm<sup>-3</sup>) and holocellulose was observed. There was an increase in lignin content (20.37 to 24.25%), weight loss (8.19 to 27.34%) and NaOH solubility (19.01 to 26.2), thus indicating attack by xylophagous organisms. Regarding the energetic properties of charcoal, the effect of wood exposed to the soil caused a decrease in the volatile matter content, apparent density of charcoal and ash and led to an increase in fixed carbon (64 to 75%), calorific value (7,094 to 7,417 kcal kg<sup>-1</sup>), carbon stock (317 to 409 kg m<sup>-3</sup>) and energy density (7,062,530.44 kcal m<sup>-3</sup>). Therefore, the time of exposure to the soil negatively affected the properties of the wood, mainly due to the severe attack of xylophagous organisms, which makes it unfeasible for other purposes, but it presented satisfactory results for energy production.

**Key-words:** Wood Biodeterioration. Pyrolysis. Calorific power. Energy quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Madeira antes de ser alocadas em campo .....	12
Figura 2 - Madeira instalada em campo .....	13
Figura 3 - Madeira antes e depois da exposição ao solo .....	13
Figura 4 - Confeção das amostras para análise.....	14
Figura 5 - Determinação da densidade básica (balança hidrostática).....	15
Figura 6 - Processo de extração com etanol e tolueno (1:2).....	17
Figura 7 - Amostras prontas para autoclave .....	18
Figura 8 - Amostras de lignina insolúvel após a filtragem.....	18
Figura 9 - Solução filtrada de lignina insolúvel .....	19
Figura 10 - Análise de hidróxido de sódio de 1% m/v .....	20
Figura 11 - Equipamento utilizado na pirólise .....	21
Figura 12 - Produção de partículas para análise química imediata .....	23
Figura 13 - Ataque de térmitas na madeira exposta ao solo.....	27



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programa de carbonização da madeira de <i>Myracrodruon urundeuva</i> .....	21
Tabela 2 - Médias dos teores de umidade, densidade básica e perda de massa da <i>Myracrodruon urundeuva</i> .....	26
Tabela 3 - Médias dos teores de extrativos, lignina, holocelulose e solubilidade NaOH de <i>Myracrodruon urundeuva</i> .....	28
Tabela 4 - Valores do rendimento gravimétrico em carvão Vegetal (RGCV), rendimento em gases condensáveis (RGC) e rendimento em gases não condensáveis (RGNC).....	29
Tabela 5 - Média dos teores de densidade aparente (Da), materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas (CZ), poder calorífico superior (PCS), estoque de carbono (EC) e densidade energética (De) de <i>Myracrodruon urundeuva</i> .....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO EM CAMPO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>TRATAMENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>CONFEÇÃO DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>ANÁLISES REALIZADAS EM LABORATÓRIO .....</b>	<b>14</b>
2.4.1	Propriedades Físicas da Madeira .....	14
2.4.1.1	<i>Teor de Umidade .....</i>	14
2.4.1.2	<i>Densidade Básica .....</i>	15
2.4.1.3	<i>Perda de Massa .....</i>	16
2.4.2	Propriedades químicas da Madeira.....	16
2.4.2.1	<i>Teor de Extrativos totais .....</i>	16
2.4.2.2	<i>Teor de Lignina e Holocelulose.....</i>	17
2.4.2.3	<i>Solubilidade em Hidróxido de Sódio .....</i>	20
2.4.3	Propriedades Energéticas do Carvão Vegetal.....	20
2.4.3.1	<i>Pirólise da madeira .....</i>	20
2.4.3.2	<i>Rendimento gravimétrico em carvão vegetal .....</i>	21
2.4.3.3	<i>Rendimento em gases condensáveis e não condensáveis .....</i>	22
2.4.3.4	<i>Análise química imediata do carvão vegetal.....</i>	22
2.4.3.5	<i>Poder calorífico superior do carvão vegetal.....</i>	24
2.4.3.6	<i>Densidade aparente do carvão vegetal .....</i>	24
2.4.3.7	<i>Densidade energética .....</i>	25
2.4.3.8	<i>Estoque de carbono fixo .....</i>	25
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>PROPRIEDADE FÍSICAS DA MADEIRA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DO CARVÃO VEGETAL .....</b>	<b>29</b>
3.3.1	Pirolise da madeira .....	29
3.3.2	Análise química imediata do carvão vegetal .....	30
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial na produção de aço usando como matéria prima para a produção de energia o carvão vegetal. Em 2020 11,2% da produção de aço bruto foi obtida através da rota de carvão vegetal, desse total, 84% da madeira usada para a produção vieram de florestas próprias, 13% de florestas plantadas por terceiros e 2%, a partir de resíduos florestais legalizados (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de carvão vegetal no setor de cresceu 3,7% em 2019, chegando a 5,3 milhões de toneladas. O setor de árvores cultivadas manteve participação constante de 95% da produção de carvão vegetal. O consumo do produto de fonte renovável aumentou de 4,9 para 5,1 milhões de toneladas em 2019, com relação ao ano anterior (IBÁ, 2020).

Apesar da grande participação das florestas plantadas, o setor florestal tem direcionado investimentos para pesquisas com espécies nativas que vem ganhando espaço, pois o mercado busca cada vez mais espécies alternativas que tenham como principal característica o rápido crescimento, alta produtividade, boa adaptação as condições do solo (RODRIGUES et al. 2018) e qualidade energética elevada.

A madeira de *Myracrodruon urundeuva* Freire Allemão é de excelente qualidade, e veem apresentando características para utilização como fonte de energia em forma de carvão e lenha (SILVA et al., 2018). Também é amplamente utilizada na construção civil e como mourão, devido principalmente a sua resistente ao apodrecimento e ataque de cupins de madeira seca quando utilizada em contato com o chão (LUCENA et al. 2011).

As condições climáticas podem provocar deterioração física em madeiras expostas, a radiação solar, vento, chuvas e umidade, sejam de forma isolada ou em conjunto, podem provocar alterações, bem como reações químicas de seus componentes, esses fatores podem resultar na redução das propriedades físico-mecânicas das madeiras (CASTRO; GUIMARÃES, 2018).

Além disso, a madeira exposta ao tempo e ao solo, pode ser atacada por diversas classes de organismos xilófagos, que podem se alimentar da holocelulose ou da lignina. Segundo Brito (2017), os fungos e cupins gera uma grande perda para o setor madeireiro, já que esses organismos obtêm na parede celular os polímeros naturais que são sua fonte de nutrição. O uso da madeira pode ser limitado pelas ações desses organismos que afetam suas propriedades.

Variações nas propriedades tanto física como química da madeira, podem influencia a qualidade energética, entre os principais parâmetros utilizados para qualificar energeticamente

um material estão: o teor de umidade, densidade básica da madeira, teor de cinzas, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis, poder calorífico, além dos teores de lignina, holocelulose e extrativos totais (FURTADO et al. 2012).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal provenientes de espécie *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. em função do tempo de exposição ao solo, visando sua viabilidade para a produção energética.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Para o estudo foram coletadas três árvores da espécie *Myracrodruon urundeuva* de forma aleatória, provenientes de resíduos de uma supressão para implantação de rede elétrica no município de Gurupi, TO. As árvores foram traçadas em toras da base, diâmetro a altura do peito e topo, que foram encaminhadas para a marcenaria para a confecção dos corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 30 cm (Figura 1) para instalação do experimento em campo e posterior retirada das amostras para as análises.

Antes da instalação, os corpos de prova foram secos em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  até a massa constante, sendo pesados para a obtenção do peso inicial. Foram reservados 10 corpos de prova em laboratório para as análises da madeira sem exposição (testemunha).

Figura 1 - Madeira antes de ser alocadas em campo



Fonte: Autora (2021).

### 2.1 Instalação do experimento em campo

Os corpos de provas ficaram dispostos na área situada a  $11^{\circ}44'44.3''$  de latitude Sul e longitude Oeste de  $49^{\circ}02'59.1''$  no campus universitário do Gurupi, a qual foi dividida em quatro linhas com 10 corpo de prova em cada, enterradas verticalmente no solo a uma

profundidade de 30 cm, passando por variações climáticas no decorrer do ano e em contato com organismos xilófagos.

Figura 2 - Madeira instalada em campo



Fonte: Autora (2021).

## 2.2 Tratamento

A partir da instalação a cada cinco meses foram retirados 10 corpos de prova do campo para as análises em laboratório, sendo realizado assim quatro coletas no total. Deste modo, os tratamentos foram divididos da seguinte forma: T0 - testemunha, madeira sem exposição ao solo; T1 - com cinco meses de exposição; T2 - com dez meses de exposição; T3 - com quinze meses de exposição; T4 - com vinte meses de exposição.

Figura 3 - Madeira antes e depois da exposição ao solo



Fonte: Autora (2021).

## 2.3 CONFEÇÃO DAS AMOSTRAS

Após retiradas do solo, os corpos de prova passaram por um processo de limpeza acurada para remoção do solo, secas em estufa a  $103\pm 2^\circ\text{C}$  até a massa constante, pesadas para a determinação da perda de massa (%). Para a realização das análises referente a cada tratamento os corpos de prova foram transformados em blocos com dimensões de 2,5 x 2,5 x 5,0 cm (largura x espessura x comprimento) usados na determinação da densidade básica e produção de carvão vegetal. Para a determinação das propriedades químicas da madeira (teor de extrativos totais, lignina total, holocelulose e solubilidade em Hidróxido de Sódio (NaOH), os blocos foram transformados em palitos, os quais foram transformados em partículas que foram peneiradas, sendo selecionadas às que passaram na peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh para tais análises.

Figura 4 - Confeção das amostras para análise



Fonte: Autora (2021).

## 2.4 Análises realizadas em laboratório

### 2.4.1 Propriedades Físicas da Madeira

#### 2.4.1.1 Teor de Umidade

Para a determinação do teor e umidade (TU) foi utilizada como base a metodologia citada por Klock et al. (2012), onde o TU da madeira na base seca, mostra a porcentagem de água presente em relação ao peso seco. Foram pesadas aproximadamente 2,0000 g de amostras

em cada cadinho seco em estufa, com o auxílio de uma balança analítica, coletando o peso inicial da amostra. Posteriormente foram encaminhadas para a estufa à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até massa constante, para a obtenção do peso seco da amostra. O teor de umidade (TU %) foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$\text{TU} = \frac{\text{PU} - \text{PS}}{\text{PS}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

TU = teor de umidade (%);

PU = peso inicial da amostra de madeira (g);

PS = peso seco da amostra de madeira (g).

#### 2.4.1.2 Densidade Básica

A densidade básica da madeira foi determinada seguindo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003), foram utilizados 6 corpos de prova, deixados submersos em água em processo de bomba à vácuo até saturação total. Após o processo de saturação, os mesmos foram pesados em balança hidrostática para a determinação do volume saturado e, posteriormente, os corpos de prova foram colocados em estufa para secagem a 0% de umidade a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até atingir massa constante.

Figura 5 - Determinação da densidade básica (balança hidrostática)



Fonte: Autora (2021).



O cálculo para determinar a (DB) foi realizado por meio da Equação 2.

$$DB = \frac{PS}{VU} \quad (2)$$

Em que:

DB = densidade básica da madeira ( $\text{g cm}^{-3}$ );

PS = peso seco da amostra de madeira (g);

VU = volume úmido ( $\text{cm}^3$ ).

#### 2.4.1.3 Perda de Massa

A perda de massa da madeira é calculada com base nos valores de massa inicial e final de cada uma das amostras, conforme a Equação 3.

$$PM = \frac{(PI - PF)}{PI} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

PM = perda de massa (%);

PS = peso inicial da amostra de madeira (g);

PI = peso final da amostra de madeira (g).

#### 2.4.2 Propriedades químicas da Madeira

##### 2.4.2.1 Teor de Extrativos totais

O teor de extrativos totais foi realizado de acordo a Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), pela norma T 264 cm-97 (TAPPI, 1997), em que realizou-se a confecção de 3 recipientes de papel filtro com aproximadamente 2,1800 g de madeira cada, considerando o teor de umidade das amostras, que absolutamente secas devem apresentar peso aproximado de 2,0000 gramas. As amostras foram submetidas à extração com 200 ml de etanol e tolueno (1:2) por 8 horas, etanol 95% por 6 horas em extrator do tipo Soxhlet e em banho maria por 1 hora. Após a extração as amostras foram levadas para estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  para a retirada total dos solventes retidos na amostra.

Figura 6 - Processo de extração com etanol e tolueno (1:2)



Fonte: Autora (2021).

Depois, em um recipiente com volume de 1000 ml, as amostras secas foram colocadas com 500 ml de água destilada quente e levadas para o banho maria por uma hora. Logo após, as partículas foram filtradas e em seguida levadas para a estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para que fossem secas até que sua massa se tornasse constante, finalizando com mais uma pesagem para a determinação do peso seco e posteriormente do teor de extrativos totais. O teor de extrativos totais foi calculado utilizando a Equação 4.

$$TE_t = \frac{Pas - (Pac - Pc)}{Pas} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

$TE_t$ : teor de extrativos, em porcentagem (%);

$Pas$ : peso amostra seca;

$Pac$ : peso amostra + cadinho;

$Pc$ : peso cadinho filtrante.

#### 2.4.2.2 Teor de Lignina e Holocelulose

Para a análise de determinação do teor de lignina Klason, primeiramente foram pesadas três amostras de 0,3000 g livres de extrativos totais em Erlenmeyer, juntamente com 3 ml de solução de ácido sulfúrico a 72%, no qual foi misturado com o auxílio de um bastonete, ficando

por 1 hora no ácido. Logo depois, foi adicionado 84 ml de água quente dentro da solução, que imediatamente foi fechada com papel alumínio e levada para autoclave a 118° C por 1 hora.

Figura 7 - Amostras prontas para autoclave



Fonte: Autora (2021).

Ao concluir esta etapa, as amostras foram filtradas em um cadinho filtrante, e lavadas com 700 ml de água destilada quente para a remoção do ácido, depois os cadinhos com as amostras (Figura 8), foram levados para estufa a  $103 \pm 2$  °C até a massa se tornar constante. Após, os cadinhos com as amostras secas foram pesados e calculou-se então o teor de lignina insolúvel através da Equação 5.

$$LI = \frac{MS/0,3}{1 - (ET/100)} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

LI = lignina insolúvel (%);

MS = massa de lignina seca já descontando a tara do cadinho (g);

ET = teor de extrativos totais (%).

Figura 8 - Amostras de lignina insolúvel após a filtragem



Fonte: Autora (2021).

A solução da filtragem foi colocada em um Erlenmeyer de 150 ml (Figura 9), com o auxílio de um espectrofotômetro com comprimento de onda de 205 nm, foi realizada a análise deste material para cálculo dos teores de lignina solúvel.

Figura 9 - Solução filtrada de lignina insolúvel



Fonte: Autora (2021).

Após a determinação da lignina solúvel, foi possível calcular a lignina total e holocelulose através das Equações 6, 7 e 8.

$$LS = \frac{A}{110} \times F \times \frac{97}{1000} \times 100 \quad (6)$$

$$LT = LI + LS \quad (7)$$

$$TH = 100 - (ET + LT) \quad (8)$$

Em que:

LS = teor de lignina solúvel (%);

m = massa da amostra descontada a umidade (g);

A = absorvância lida pelo espectrofotômetro;

F = fator de diluição;

ET = teor de extrativos totais (%);

LT = teor de lignina total (%);

LI = teor de lignina insolúvel (%);

TH = teor de holocelulose (%).

### 2.4.2.3 Solubilidade em Hidróxido de Sódio

As análises de solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH), foram realizadas de acordo com a norma T 212 om-02 (TAPPI, 2002). Preparadas com aproximadamente 2,0000 g de amostras absolutamente seca (2,1800 g úmida), em um Becker, adicionou-se 100 ml de NaOH a 1% na madeira, que posteriormente foi submetido ao banho maria por 1 hora.

Figura 10 - Análise de hidróxido de sódio de 1% m/v



Fonte: Autora (2021).

Logo após, as amostras foram filtradas e lavadas com 100 ml de ácido acético e água destilada quente. Depois as amostras foram levadas para serem secas na estufa a  $\pm 103^{\circ}\text{C}$  até peso constante, resfriadas no dessecador e pesadas. A solubilidade percentual foi calculada de acordo com a Equação 9.

$$S = [(A - B) / A] \times 100 \quad (9)$$

Em que:

S = solubilidade NaOH (%);

A = peso seco do corpo de prova antes da extração (g);

B = peso seco do corpo de prova após extração (g).

### 2.4.3 Propriedades Energéticas do Carvão Vegetal

#### 2.4.3.1 Pirólise da madeira

Para a pirólises foram utilizados 7 corpos de prova. As amostras foram carbonizadas em forno elétrico tipo mufla, com temperatura final programada para produção do carvão vegetal e adaptada para recuperar os gases condensáveis e não condensáveis.

Figura 11 - Equipamento utilizado na pirólise



Fonte: Autora (2021).

A taxa de aquecimento foi de 5°C por minuto com temperatura final de 600°C conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Programa de carbonização da madeira de *Myracrodruon urundeuva*

Temperatura °C										Taxa de Aquecimento (°C/min)	Tempo total
150	200	250	350	400	450	500	550	600			
1h	1h	30min	1h	30min	30min	30min	30min	1h	5	6h30min	

Fonte: Autora, 2021.

#### 2.4.3.2 Rendimento gravimétrico em carvão vegetal

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi calculado por meio da Equação 10.

$$\text{RGCV} = \left( \frac{M_c}{M_m} \right) \times 100 \quad (10)$$

Em que:

RGCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal;

$M_c$  = massa do carvão (g);

$M_m$  = massa seca da madeira (g)

#### 2.4.3.3 *Rendimento em gases condensáveis e não condensáveis*

O rendimento em licor pirolenhoso ou rendimento em gases condensáveis, foi calculado pela Equação 11.

$$\text{RGC} = \left( \frac{M_l}{M_m} \right) \times 100 \quad (11)$$

Em que:

RGC = rendimento em gases condensáveis (%);

$M_l$  = massa do licor pirolenhoso (g);

$M_m$  = massa da madeira (g).

O rendimento em gases não condensáveis é mensurado pela subtração do rendimento em carvão vegetal e o rendimento em gases condensáveis. Desta forma, calculado por meio da Equação 12.

$$\text{RGNC} = 100 - (\text{RGCV} + \text{RGC}) \quad (12)$$

Em que:

RGNC = rendimento em gases não condensáveis (%);

RGCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%);

RGC = rendimento em gases condensáveis (%).

#### 2.4.3.4 *Análise química imediata do carvão vegetal*

O carvão vegetal proveniente da pirólise, foi triturado e passado nas peneiras de 40 e 60 mesh. Utilizando as partículas de carvão que ficaram retidas em 60 mesh para análise, onde foi

pesado em cada cadinho de porcelana 1,0000 g do material, em 5 repetições, depois foram secos em estufa a  $\pm 103 \pm 2^\circ\text{C}$  para obtenção do peso seco das partículas de carvão vegetal. Para os cálculos dos percentuais de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (CZ) do carvão foi usado como base a norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

Figura 12 - Produção de partículas para análise química imediata



Fonte: Autora (2021).

Para a determinação do teor de materiais voláteis, as amostras secas nos cadinhos foram tampadas e levadas para a mufla em uma temperatura de  $850^\circ\text{C}$  durante  $\pm 10$  minutos, depois colocados no dessecador para o resfriamento e pesagem. O teor de materiais voláteis calculado conforme a Equação 13.

$$\text{MV} = \frac{(m2 - m3)}{(m1 - m3)} \times 100 \quad (13)$$

Em que:

MV = teor de materiais voláteis (%);

m1 = massa da amostra seca + cadinho (g);

m2 = massa da amostra após mufla a  $850^\circ\text{C}$  + cadinho (g);

m3 = massa do cadinho sem material (g).

Após a retirada dos materiais voláteis das amostras, as mesmas foram levadas para mufla em temperatura de  $700^\circ\text{C}$  por 7 horas, para a obtenção das cinzas. O teor de cinzas e calculado através da Equação 14.

$$\text{CZ} = \frac{(m1 - m3)}{(m2 - m3)} \times 100 \quad (14)$$

Em que:

CZ = teor de cinzas (%);



m1 = massa de cinzas + cadinho após 7 horas na mufla (g);

m2 = massa da amostra seca + cadinho (g);

m3 = massa do cadinho vazio (g).

O cálculo do carbono fixo da madeira foi obtido através da subtração dos percentuais dos materiais voláteis e das cinzas do peso da amostra inicial, conforme a Equação 15.

$$CF = 100 - MV - CZ \quad (15)$$

Em que:

CF = carbono fixo (%);

MV = teor de materiais voláteis (%);

CZ = teor de cinzas (%).

#### 2.4.3.5 Poder calorífico superior do carvão vegetal

O poder calorífico superior do carvão vegetal foi estimado utilizando a Equação 16, proposta em trabalhos descrito por VALE et al. (2002).

$$PCS = 4934,43 + 33,27 \times CF \quad (16)$$

Em que:

PCS = poder calorífico superior do carvão (kcal kg<sup>-1</sup>);

CF = teor de carbono fixo (%).

#### 2.4.3.6 Densidade aparente do carvão vegetal

A densidade aparente do carvão foi determinada por meio da norma NBR 9165 (ABNT, 1985), de acordo com a Equação 17.

$$Da = \frac{Pc}{Vc} \quad (17)$$

Em que:

Da = densidade aparente (g cm<sup>-3</sup>);

PC = peso do carvão (g);

VC = volume do carvão (cm<sup>3</sup>).

#### 2.4.3.7 Densidade energética

A densidade energética foi obtida conforme a Equação 18, seguindo a metodologia proposta por JESUS et al. (2017).

$$De = Da \times PCS \quad (18)$$

Em que:

De = densidade energética (kcal cm<sup>-3</sup>);

Da = densidade aparente do carvão vegetal (g cm<sup>-3</sup>);

PCS = poder calorífico superior do carvão (kcal kg<sup>-1</sup>).

#### 2.4.3.8 Estoque de carbono fixo

O estoque de carbono fixo no carvão vegetal por unidade de volume (ECF), foi calculado conforme a Equação 19, esse procedimento foi indicado por PROTÁSIO et al. (2013).

$$ECF = Da \times \left( \frac{CF}{100} \right) \quad (19)$$

Em que:

ECF = Estoque de carbono fixo (Kg m<sup>-3</sup>);

Da = Densidade aparente do carvão vegetal (Kg m<sup>-3</sup>);

CF = Teor de carbono fixo (%).

## 2.5 Análises estatísticas

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos: madeira sem exposição (testemunha), com cinco, dez, quinze e vinte meses de exposição. Os programas estatísticos usados foram Statgraphics Centurion XVI.I e o SISVAR 5.6. Após a análise de variância (ANOVA), aplicou-se o teste Tukey para comparar as médias ao nível de 5% de probabilidade, devido aos fatores que apresentaram diferença significativa. O programa Excel ® foi utilizado para tabular os dados, determinar o Desvio Padrão (DP%) e Coeficiente de variação (CV%).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedade físicas da madeira

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos teores de umidade, densidades básica e da perda de massa para cada tratamento.

Tabela 2 - Médias dos teores de umidade, densidade básica e perda de massa da *Myracrodruon urundeuva*

Tratamentos	Propriedades físicas da madeira		
	TU (%)	Db (g cm <sup>-3</sup> )	Perda de massa (%)
<b>T0</b>	7,29 ab (6,87)	0,91 a (2,17)	-
<b>T1</b>	7,81 a (1,06)	0,86 b (0,92)	8,19 c (7,98)
<b>T2</b>	6,81 b (0,66)	0,83 bc (2,89)	12,18 b (18,12)
<b>T3</b>	7,37 ab (1,60)	0,80 c (1,16)	13,24 b (6,05)
<b>T4</b>	7,13 b (1,66)	0,72 d (6,13)	27,34 a (7,41)
<b>Pr&gt;Fc</b>	*	*	*

Nota: T0= testemunha, madeira sem exposição; T1= 5 meses de exposição; T2= 10 meses de exposição; T3= 15 meses de exposição; T4= 20 meses de exposição. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey –  $P \geq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

O teor de umidade de *Myracrodruon urundeuva*, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo a madeira tendo passado pelo mesmo processo de secagem até o peso constante. O tratamento T1 apresentou o maior teor de umidade (7,81 %), seguido pelo T3 (7,37 %) e os T2 e T4 apresentaram os menores teores de umidade (6,81 e 7,13 %, respectivamente). Devido a exposição prolongada as condições climáticas, a madeira acabou absorvendo e perdendo umidade, onde influenciou na quantidade de água que cada amostra conseguiu absorver do ambiente após o processo de secagem.

De acordo com Brand et al. (2013) quanto maior a quantidade de água na madeira menor a taxa de carbonização, ou seja, mais tempo é necessário para produção de carvão, devido a secagem da madeira durante o processo.

Em relação à densidade básica da madeira (Tabela 2), os tratamentos T1, T2 e T3, apresentaram um valor médio de 0.86, 0.83 e 0.80 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Silveira et al. (2013), determina que espécies com densidade superior a 0,72 g cm<sup>-3</sup> são classificadas como

espécies de alta densidade. O tratamento T4 apresentou a menor densidade básica ( $0,72 \text{ g cm}^{-3}$ ) sendo considerado assim de média densidade. Houve diferença significativa entre os tratamentos, com tendência de perda de densidade básica ao decorrer dos meses de exposição, variando de  $0,72$  a  $0,91 \text{ g cm}^{-3}$ .

Segundo Carneiro et al. (2014), a densidade básica da madeira está diretamente relacionada com a produção de energia, ou seja, quanto maior a densidade, teoricamente maior será a quantidade de energia estocada por unidade de massa. Então com a redução da densidade da madeira, pode-se diminuir a densidade aparente do carvão vegetal, que dependendo das condições, pode também perder em densidade energética.

Essa perda em densidade básica está relacionada à perda de massa que ocorreu no decorrer do tempo, devido a ataques de organismos xilófagos, que neste com mais evidência, o ataque por térmitas (Figura 13).

Figura 13 - Ataque de térmitas na madeira exposta ao solo



Fonte: Autora (2021).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, o tratamento T4 apresentou maior perda de massa (27,34 %), e o tratamento T1 o menor valor (8,19 %). É possível observar o aumento da perda de massa da madeira ao longo do tempo de exposição, conforme as mesmas vão perdendo densidade básica.

De acordo com American Society for Testing and Materials (2005), a madeira de *Myracrodruon urundeuva* pode ser classificada como moderadamente resistente à deterioração, pois a perda de massa foi inferior a 44% durante todo o período analisado.

### 3.2 Propriedades Químicas da Madeira

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos teores de extrativos, lignina, holocelulose e solubilidade em hidróxido de sódio.

Tabela 3 - Médias dos teores de extrativos, lignina, holocelulose e solubilidade NaOH de *Myracrodruon urundeuva*

Propriedades Químicas da madeira				
Tratamentos	Ext. totais (%)	Lig. Total (%)	Holocel. (%)	Solub NaOH (%)
<b>T0</b>	11,94 a (2,95)	20,37 c (0,69)	67,69 a (0,44)	19,01 d (2,35)
<b>T1</b>	11,50 a (0,42)	20,29 c (3,34)	68,21 a (1,01)	20,16 c (1,26)
<b>T2</b>	10,60 b (1,66)	22,86 b (1,25)	66,54 b (0,47)	20,54 c (0,11)
<b>T3</b>	9,50 c (4,07)	24,16 a (2,02)	66,19 b (0,50)	21,37 b (0,10)
<b>T4</b>	10,17 bc (2,88)	24,25 a (1,70)	65,66 b (0,43)	26,2 a (0,41)
<b>Pr&gt;Fc</b>	*	*	*	*

Nota: T0= testemunha, madeira sem exposição; T1= 5 meses de exposição; T2= 10 meses de exposição; T3= 15 meses de exposição; T4= 20 meses de exposição. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey –  $P \geq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Os resultados obtidos nas análises químicas da madeira (Tabela 3), apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Os teores de extrativos totais apresentaram variação de 9,50 a 11,94 %, no qual o tratamento T3 apresentou a menor média. Podemos então perceber que ocorreu perda de extrativos totais do tratamento T0 até o tratamento T3, isso pode ser explicado pela lixiviação dos extrativos principalmente nos meses de maior índice pluviométrico. Já no tratamento T4 percebe-se um aumento no teor de extrativos totais, porém o que pode ter ocorrido é uma grande degradação nas estruturas neste período, que acabaram sendo extraídas pelos solventes no momento da extração, juntamente com os extrativos totais.

Os teores de lignina aumentaram durante o tempo de exposição ao solo, onde o tratamento T4 apresentou o maior valor (24,25 %) e os tratamentos T0 e T1 tiveram os menores valores (20,37 e 20,29%, respectivamente). De acordo com o teste de Tukey a 5%, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos T0 e T1 e entre T3 e T4. O aumento de lignina se dá, provavelmente, pelo maior ataque dos organismos xilófagos às hemiceluloses e celulose, aumentando o teor de lignina em relação à massa total. A lignina é responsável pela maior parcela da fixação de carbono no carvão vegetal, contribuindo com o aumento do poder

calorífico. Neste sentido, pode-se esperar que haverá um acréscimo na quantidade de energia produzida, de acordo com o acréscimo de lignina na massa total de madeira.

O tratamento T1 apresentou o maior teor de holocelulose (68,21 %), enquanto o tratamento T4 obteve o menor teor (65,66 %). Através dos resultados obtidos é possível perceber que a madeira perdeu holocelulose durante os meses de exposição, por conta do seu consumo por organismos xilófagos. De acordo com Takahashi et al (2021) quanto menor o teor de holocelulose melhor será para a produção energética, uma vez que a celulose e as hemiceluloses são mais instáveis termicamente. Diante disto pode-se espera que haja mais estabilidade na carbonização com a diminuição do teor de holocelulose.

Os valores de solubilidade em hidróxido de sódio (Tabela 3) aumentaram variando de 19,01 a 26,2 %, com isso é possível perceber que quanto maior for o período de exposição, maior será o grau de deterioração da madeira, conseqüentemente haverá mais perda de massa. De acordo com o teste de Tukey a 5%, não houve diferença estatística significativa entre o tratamento T1 e o T2. O tratamento T4 apresentou o maior grau de deterioração da madeira, coincidindo assim com a maior perda de massa e menor densidade básica, indicando assim que houve consumo da madeira durante a exposição.

### 3.3 Propriedades energéticas do carvão vegetal

#### 3.3.1 Pirolise da madeira

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de rendimentos das pirólises analisados para a caracterização do carvão em função do tempo de exposição ao solo.

Tabela 4 - Valores do rendimento gravimétrico em carvão Vegetal (RGCV), rendimento em gases condensáveis (RGC) e rendimento em gases não condensáveis (RGNC)

Rendimentos da Pirólise (600°C)	Meses				
	T0	T1	T2	T3	T4
RGCV (%)	35,11	26,26	29,21	28,88	29,40
RGC (%)	40,72	47,14	45,83	46,01	44,24
RGNC (%)	24,17	26,60	24,96	25,11	26,36

Fonte: Autora, 2021.

No rendimento gravimétrico em carvão vegetal, os valores variaram de 26,26 a 35,11 %. O tratamento T1 apresentou o menor valor de rendimento em carvão vegetal (26,26 %), coincidindo com o maior teor de umidade, onde durante a carbonização a madeira perde umidade, diminuindo assim o rendimento em carvão vegetal e conseqüentemente aumentando o rendimento em gases condensáveis.

Os resultados mostram que houve uma redução no rendimento em carvão vegetal ao decorrer dos meses de exposição, provavelmente por conta da perda de massa da madeira, entretanto os tratamentos T2 e T4 apresentaram um aumento em relação aos demais. Possivelmente devido ao teor de umidade ser baixo nos dois tratamentos e pelas diferenças nos constituintes químicos da madeira, principalmente o teor de lignina.

A lignina por ser um elemento complexo possui uma boa resistência a degradação térmica quando comparado à celulose e hemiceluloses, resulta assim em um maior rendimento gravimétrico (BRITO; BARRICHELO, 1977). Segundo Neves et al. (2011), geralmente é desejável maiores valores de rendimento em carvão vegetal, para assim ter um maior aproveitamento da madeira durante a carbonização.

O rendimento em gases condensáveis apresentou maiores valores, comparados com o rendimento em carvão e gases não condensados, variando de 40,72 a 47,14 %, onde o tratamento T1 obteve o maior valor. Pode-se perceber que o rendimento em gases condensáveis aumentou durante os meses de exposição, provavelmente influenciado pelo teor de umidade. Segundo Brand et al. (2013) a água contida na madeira durante a carbonização sai na forma de vapor e se incorpora aos líquidos condensados.

Dentro do rendimento dos gases não condensáveis, o que teve maior valor foi o tratamento T1 (26,60 %) e o menor valor foi o tratamento T2 com 24,96 %. Isso por conta da relação entre os rendimentos, quanto menor for o rendimento em carvão vegetal, maior será os valores de rendimento em gases condensáveis e não condensáveis.

### 3.3.2 Análise química imediata do carvão vegetal

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das densidades aparentes e energética, análise química imediata e estoque de carbono das madeiras com diferentes tempos de exposição ao solo, onde ocorreu diferença significativas entre as propriedades energéticas.

Tabela 5 - Média dos teores de densidade aparente (Da), materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas (CZ), poder calorífico superior (PCS), estoque de carbono (EC) e densidade energética (De) de *Myracrodruon urundeuva*

Propriedades energéticas do Carvão vegetal							
Tratamentos	Da (g cm <sup>-3</sup> )	MV (%)	CF (%)	Cz (%)	PCS (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	ECF (Kg m <sup>-3</sup> )	De (Kcal m <sup>-3</sup> )
<b>T0</b>	0,55 a (2,96)	32,14 a (2,09)	64,90 d (1,21)	2,96 b (22,56)	7093,70 d (0,37)	317,34 c (2,41)	3468809,01 b (2,48)
<b>T1</b>	0,49 b (2,60)	26,29 b (3,01)	70,19 c (1,14)	3,52 a (2,88)	7269,74 c (0,37)	311,20 c (4,49)	3222724,45 c (4,04)
<b>T2</b>	0,49 b (13,20)	25,99 b (2,08)	71,67 b (1,12)	2,34 ab (13,20)	7318,9 b (0,37)	333,16 b (14,16)	3404910,68 b (13,51)
<b>T3</b>	0,47 bc (4,55)	26,11 b (2,46)	71,76 b (0,81)	2,13 bc (5,90)	7322,01 b (0,26)	348,96 b (5,19)	3559894,78 b (4,76)
<b>T4</b>	0,44 c (3,88)	23,52 c (1,01)	74,61 a (0,41)	1,87 c (4,80)	7416,70 a (0,14)	408,68 a (3,01)	4062530,44 a (2,97)
<b>Pr&gt;Fc</b>	*	*	*	*	*	*	*

Nota: T0= testemunha, madeira sem exposição; T1= 5 meses de exposição; T2= 10 meses de exposição; T3= 15 meses de exposição; T4= 20 meses de exposição. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey –  $P \geq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

A densidade do carvão é uma propriedade física que está ligada à densidade da madeira, à temperatura e à velocidade de carbonização, devendo esta ser a maior possível (MENDES; GOMES; OLIVEIRA, 1982). A densidade aparente do carvão apresentou uma diminuição gradativa ao longo do tempo de exposição, variando de 0,55 a 0,44 g cm<sup>-3</sup>. O tratamento T1 e T2 de acordo com o teste de Tukey a 5%, não apresentaram diferença estatística significativa na densidade aparente. Esse parâmetro está diretamente ligado com a densidade energética da madeira, neste sentido pode afetar negativamente esse valor.

Segundo Vieira (2012), quanto menor o teor de material volátil presente no carvão, este queimará lentamente durante o processo de produção de energia, garantindo assim um aproveitamento do produto. Para os teores de materiais voláteis, ocorreu uma diminuição nos valores ao decorrer do tempo, variando de 32,14 a 23,52 %. De acordo com Brand (2010), baixos teores de materiais voláteis resultam em altos teores de carbono fixo no carvão vegetal.

O teor de carbono fixo aumentou durante o tempo de exposição, variando de 64 a 75 %. O alto teor de carbono fixo, pode estar relacionado com o teor de lignina, responsável pela maior parcela da fixação de carbono no carvão vegetal. Com o aumento do teor de lignina na madeira, resultou em alto teor de carbono fixo e conseqüentemente baixos teores de materiais voláteis.



Na Tabela 5 as amostras que apresentaram maior teores de cinzas (3,52 %), foram as do tratamento T1, e de menor valor (1,87 %) o tratamento T4. O menor valor de cinzas coincidiu com o maior poder calorífico superior. A alta das cinzas em alguns casos pode ter sido ocasionada por resíduos de solo que ficaram incrustados na madeira não sendo consumidos na carbonização.

O poder calorífico superior variou de 7.093 a 7.417 kcal kg<sup>-1</sup>, onde aumentou seu valor ao decorrer do tempo de exposição, mesma coisa aconteceu no estoque de carbono, que variou de 317 a 409 kg m<sup>-3</sup>. Os valores de poder calorífico do experimento, são superiores aos encontrados por SILVA et al. (2018) para a mesma espécie estudada (6.869,338 kcal kg). Percebe-se que com o aumento do teor de lignina, houve acréscimo no carbono fixo e conseqüentemente aumento no poder calorífico. Devido a esse aumento considerável de energia gerada, a densidade energética apresentou maiores valores no tratamento T4 com 4.062.530,44 kcal m<sup>-3</sup>, e menor valor no tratamento T1 com 3.222.724,45 kcal m<sup>-3</sup>, não sendo afetada pela perda de densidade da madeira e do carvão vegetal.

A densidade energética é um parâmetro muito importante para quantificar o desempenho da biomassa e analisar o rendimento de queima, pois demonstra a quantidade de energia em determinado volume de madeira, sendo bastante influenciada por algumas propriedades como lignina, densidade básica, extrativos e cinzas (BARROS, 2019).

## 4 CONCLUSÃO

Diante do exposto conclui-se que:

A exposição ao solo influenciou nas propriedades tanto da madeira como do carvão vegetal. Onde reduzi a densidade básica, teor de extrativo, holocelulose e aumentou a perda de massa, teor de lignina e solubilidade em NaOH.

O rendimento gravimétrico total em carvão vegetal demonstrou-se baixo, quando em comparação com o obtido de madeira sem exposição.

Para as propriedades energéticas o tempo de exposição ao solo do carvão vegetal, diminuiu a densidade aparente, teor de materiais voláteis e cinzas e aumentou o teor de carbono fixo.

O poder calorífico superior obteve altos valores ao passar dos meses, juntamente com o carbono fixo, densidade energética e estoque de carbono, esses resultados acabaram sendo satisfatórios para produção energética.

Embora, as propriedades energéticas do carvão não tenham sido afetadas negativamente pelo tempo de exposição ao solo, é notório que houve ataques severos à madeira em um espaço curto de tempo, o a que a inviabiliza para outros fins.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9165**: carvão vegetal. Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2017**. Standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5p.
- BARROS, M.L; DA SILVA, R. G.C; PADILHA, M.C.S; DE SÁ, V.A. Caracterização energética de *Eucalyptus sp.* provenientes de dois tratamentos do solo em alagoas. **IV Congresso Brasileiro de Eucalipto**. Salvador, BA. 2019. p. 4 -7.
- BRAND, M. A. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 401-410, set. 2013.
- BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência 2010.
- BRITO, A. F. **Resistência da madeira de várias espécies de eucalipto a organismos xilófagos e intemperismo após tratamento com ccb por substituição de seiva**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual paulista - unesp, São Paulo, 2017.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, SP, n. 14, p. 9-20, 1977.
- CARNEIRO, A.C. et. al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus sp.* em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v.38, n.32, p.375-381, 2014.
- CASTRO, V. G.; GUIMARÃES. P. P. **Deterioração e preservação da madeira**. 1. ed. Mossoró: Edufersa, 2018.
- FURTADO, T.S., FERREIRA, J.C., BRAND, M.A., NEVES, M.D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 577-582, 2012.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade 2020**. 12 ed. Rio de Janeiro, 2020.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2020**. São Paulo: IBÁ. 2020. 66 p.

JESUS, M. S., COSTA, L. J., FERREIRA, J. C., FREITAS, F. P., SANTOS, L. C., & ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

KLOCK, A. S. et al. **MANUAL E FICHAS PARA PRÁTICA DE ANÁLISES QUÍMICAS QUANTITATIVAS DA MADEIRA**. 3. ed. Curitiba, 2012.

LUCENA R. F. P. et. al. Uso e conhecimento da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) por comunidades tradicionais no Semiárido brasileiro. **Sítientibus série Ciências Biológicas**, v. 11, n. 2, p. 255-264, 2011.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. O processo de carbonização continua da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 77-89.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, dez. 2011.

PROTÁSIO, P. T.; COUTO, A. M.; DOS REIS, A. A., TRUGILHO, P. F., & GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp* aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013.

RODRIGUES, P.M.D.M., CONEGLIAN, A., SILVA, M.F.D., MORAES, M.D.A.D., SETTE JUNIOR, C.R. Caracterização da madeira juvenil de *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake e *Eucalyptus urophylla* ST Blake em solo de Cerrado Brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 271-280, 2018.

SILVA, L. L. H. et al. Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (*myracrodruon urundeuva* allemão) e leucena (*leucaena leucocephala* (lam.) r. de wit). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 412-419, 2018.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p. 179-184, 2013.

TAKAHASHI, V. M., FERREIRA, V. R. D. S., CADEMARTORI, P. H. G. D., CARNEIRO, M. E., SILVA, D. A. D. Qualidade energética de resíduos madeiros paricá e pinus. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 36, n. 2, p. 230-238, 2021.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 264 cm-97**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 212 om-02**: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta: Tappi Technology Park, 2002.

VALE A.T.; ABREU, V.L.S.; GONÇALES, J. C.; COSTA, A. F. Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de materiais voláteis. **Brasil Florestal**, v. 21, n. 73, p.47-52, 2002.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.