**QUALIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DO GÊNERO** *Eucalyptus* sp**. PLANTADO NO SUL DO TOCANTINS**

**Rosaina de Sousa Venega1; Renata Carvalho da Silva2; Thaiury Oliveira Sousa1; Samara Farias de Melo1; Raquel Marchesan3**

**Resumo**

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a qualidade energética da madeira e carvões produzidos de fuste e raiz de *Eucalyptus* sp. no sul do Tocantins. As amostras de madeira e carvão utilizadas nesta pesquisa foram coletadas numa carvoaria em Formoso do Araguaia-TO. Foram determinadas as densidades aparentes (Da); análise quimica imediata (AQI); poder calorífico superior (PCS); densidade energética (De) e estoque de carbono (EC). As madeiras de *Eucalyptus* sp. do fuste e raiz foram classificadas como de alta Da. Para os carvões, a Da apresentou-se dentro do recomendado pela literatura. Em relação à AQI das madeiras, tanto do fuste como da raiz, os teores de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e PCS apresentaram-se dentro do recomendado. Para AQI dos carvões, apenas o teor de cinzas apresentou-se dentro da média indicada pelo Selo Premium. O PCS do carvão vegetal produzido com madeira do fuste foi considerado baixo e do carvão produzido com raiz foi considerado dentro da média recomendada. Verificou-se que para a De da madeira, os valores estavam acima da média descrita na literatura. Para o EC da madeira, os valores apresentaram-se próximos aos da literatura. Com relação a De e EC do carvão os valores apresentaram-se proximos aos observados na literatura. Portanto, diante do apresentado foi possível concluir que a madeira do fuste e raiz de *Eucalyptus* sp. possuem potencial energético. Além disso conforme os parâmetros estudados, a raiz possui maior qualidade e potencial para a geração de energia, tanto na queima direta como para a produção do carvão vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade energética; Estoque de carbono; Resíduos de madeira.

[[1]](#footnote-1)

# Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF, o Brasil se destaca como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, sendo um dos principais insumos da indústria siderúrgica nacional. (ABRAF, 2013).

Atualmente, evidencia-se um aumento do consumo de carvão vegetal proveniente de florestas plantadas, principalmente do gênero *Eucalyptus*, em função da necessidade de redução e eliminação do uso de carvão vegetal de florestas nativas (IBÁ, 2020). Além disso, a madeira de *Eucalyptus* é conhecida por apresentar boas características, como rápido crescimento e boa densidade, o que garante um carvão facilmente renovável e de boa qualidade (SANTOS et al., 2010).

No estado do Tocantins, segundo maior produtor de carvão vegetal da região norte do País, o cenário é um pouco diferente, pois a madeira destinada para fins energéticos tem sua origem principalmente das florestas nativas. Em 2018, cerca de 6 mil toneladas de carvão vegetal foram produzidas por extração enquanto 140 toneladas foram produzidas por silvicultura (IBGE, 2018).

Na região sul do Tocantins, as florestas de *Eucalyptus* foram implantas no intuito de atender as empresas de papel e celulose que seriam instaladas na região. Como isso não aconteceu, a matéria prima está sendo destinada para a produção de carvão vegetal. Neste contexto, faz -se necessária a avaliação da qualidade energética do carvão advindo destas florestas. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar e avaliar a qualidade energética da madeira e do carvão de fuste e raiz de *Eucalyptus* sp. produzidos no sul do Tocantins.

# Metodologia

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins, campus Gurupi. As amostras de madeira e carvão vegetal obtidos do fuste e raiz de *Eucalytus* sp. com 10 anos de idade utilizados nesta pesquisa foram coletadas em uma carvoaria com fornos do tipo rabo quente, localizada no municipio de Formoso do Araguaia-TO. Da madeira e do carvão vegetal do fuste e raiz foram determinadas as densidades aparentes a 0% de umidade (Da) pelo método de imersão em mercurío (VITAL, 1984).

A análise quimica imediata (AQI) foi determinada com base nas normas ASTM D 1762-84 (ASTM, 2007) e NBR 8112/83 (ABNT, 1983) por meio dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (CZ).

O poder calorífico superior (PCS) foi obtido conforme Equação 1, seguindo a metodologia proposta por Vale et al. (2002).

*PCS=4934,43 + 33,27 CF* *(1)*

Em que *PCS* é poder calórifico do carvão (Kcal kg-1); *CF* é teor de carbono fixo (%).

A densidade energética da madeira e do carvão vegetal (De) foi obtida conforme as Equações 2 e 3, respectivamente, seguindo a metodologia proposta por Jesus et al. (2017).

*De=D*bM*.PCS*  *(2)*

Em que *De* é a densidade energética (kcal m-3); *D*bM é a densidade básica da madeira (g cm-3); *PCS* é o poder calorífico superior (kcal kg-1).

*De=D*a*.PCS (3)*

Em que *De* é a densidade energética (kcal m-3); *D*a é a densidade aparente do carvão vegetal (g cm-3); *PCS* é o poder calorífico superior (kcal kg-1).

O estoque de carbono da madeira e do carvão vegetal (EC) foi obtido conforme as Equações 4 e 5 respectivamente. Esse procedimento foi adaptado de Protásio et al. (2015).

EC=*D*bM.*(CF/100)* *(4)*

Em que EC é o estoque de carbono da madeira (kg m-3); *D*bM é a densidade básica da madeira (g cm-3); *CF* é o teor de carbono fixo/100.

EC=*Da. (CF/100) (5)*

Em que EC é o estoque de carbono da madeira (kg m-3); *D*a é a densidade aparente da madeira (g cm-3); *CF* é o teor de carbono fixo/100.

Ao final do teste, os dados foram tabulados no Excel. Em seguida os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância (ANOVA). A análise estatística foi feita utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado para análise foi o Sisvar 5.6.

# Resultados e Discussões

Na tabela 1 são apresentados os dados médios de densidade aparente da madeira do fuste e raiz de *Eucalyptus* sp. Observa-se que os valores não apresentaram variação significativa e de acordo com a literatura foram classificadas como de alta densidade.

Tabela 1. Valores médios de densidade aparente da madeira de *Eucalyptus* sp.

|  |  |
| --- | --- |
| **Variáveis da madeira de *Eucalyptus* sp.** | **Damadeira**  **(kg m-3)** |
| **Tronco** | 728,71 a  (5,50) |
| **Raiz** | 734,02 a  (2,90) |
| **Pr>Fc** | ns |

Na tabela 2 são apresentados os valores médios para os teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas (CZ) e poder calorífico superior (PCS) da madeira de fuste e raiz.

Os teores de material volátil encontrados para as madeiras de fuste e raiz ficaram entre 78 e 83%. Segundo Arola (1976), os teores encontram-se dentro do recomendado para biomassa, que fica entre 75 e 85%.

O teor de carbono fixo está diretamente relacionado ao teor de material volátil. Sendo assim, madeiras que tem maior teor de material volátil apresentam menor teor de carbono fixo. Os valores encontrados seguem esta regra e foram superiores àqueles encontrados por Chaves et al. (2013) que trabalhou com clones de *Eucalyptus* sp. e cujo teor médio de carbono fixo foi de 15,85%.

Os teores de cinzas encontrados, tanto para fuste como para a raiz, foram considerados baixos, o que é uma característica comum entre as espécies de eucalipto. Chaves et al. (2013) encontrou teores de cinzas variando entre 0,29 a 0,45% trabalhando com diferentes clones de eucalipto.

O poder calorífico superior encontrado para a madeira de fuste do eucalipto (4730,82 Kg m-3) foi significativamente superior ao encontrado para a madeira da raiz (4547,75 Kg m-3). Isto pode ser explicado pelo maior teor de carbono fixo obtido que tem relação direta com o poder calorífico. Howard (1973) afirma que o poder calorífico superior para folhosas varia na faixa de 4592,53 a 4792,20 Kcal kg-3.

Tabela 2. Propriedades energéticas da madeira de *Eucalyptus* sp.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variáveis da madeira de *Eucalyptus* sp.** | **AQI da madeira (%)** | | | **PCS**  **(Kcal kg-3)** |
| **MV (%)** | **CF (%)** | **CZ (%)** |
| **Tronco** | 78,52 b (1,30) | 21,36 a (4,72) | 0,117 b (18,70) | 4730,82 a  (1,00) |
| **Raiz** | 82,27 a (0,92) | 17,54 b (4,27) | 0,186 a (18,90) | 4547,75 b  (0,77) |
| **Pr>Fc** | \* | \* | \* | \* |

A tabela 3 apresenta os dados médios de densidade energética da madeira. Observa-se que os valores apresentaram variação significativa. O valor de De, entretanto foi superior ao encontrado por Jesus et al. (2017) ao trabalhar com diferentes espécies de *Eucalyptus* no qual obteve valores médios entre 1400 a 1800 Kcal m-3.

Tabela 3. Valores médios de densidade energética (De) da madeira de *Eucalyptus* sp.

|  |  |
| --- | --- |
| **Variáveis da madeira de *Eucalyptus* sp.** | **De (Kcal m-3)** |
| **Tronco** | 3473,10 a  (5,90) |
| **Raiz** | 3313,86 b  (2,84) |
| **Pr>Fc** | \* |

Os valores médios encontrados de estoque de carbono (tabela 4) apresentaram variação significativa, sendo a madeira do fuste a que apresentou melhor resultado. Entretanto, os valores obtidos neste trabalho foram inferiores ao encontrado por Protásio et al. (2014a) ao estudar clones de *Eucalyptus*.

Tabela 4. Valores médios de estoque de carbono (EC) da madeira de *Eucalyptus* sp.

|  |  |
| --- | --- |
| **Variáveis da madeira de *Eucalyptus* sp.** | **EC (kg m-3)** |
| **Tronco** | 156,94 a  (8,34) |
| **Raiz** | 127,81 b  (4,61) |
| **Pr>Fc** | \* |

Com relação às propriedades energéticas do carvão vegetal, na tabela 5 são apresentados os dados médios de densidade aparente de fuste e raiz de *Eucalyptus*.

Verificou-se que houve variação significativa entre os tratamentos, sendo que o carvão produzido a partir a partir da raiz apresentou melhor resultado. Trugilho et al. (2001) encontraram resultados médios para a densidade aparente do carvão variando entre 400 e 490 kg/m-3 ao avaliar diferentes clones de *Eucalyptus*.

Tabela 5. Valores médios de densidade aparente do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.

|  |  |
| --- | --- |
| **Variáveis do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.** | **Dacarvão**  **(kg m-3)** |
| **Tronco** | 405,44 b  (4,45) |
| **Raiz** | 516,44 a  (5,58) |
| **Pr>Fc** | \* |

Na tabela 6, são apresentados os valores médios das propriedades energéticas do carvão. Os teores de material volátil (MV) e carbono fixo (CF) não se encontram dentro da média indicada pelo Selo Premium que determina valores acima de 73% para CF e abaixo de 23,5% para MV. Apenas as cinzas (CZ) apresentou-se dentro do valor preconizado (inferior a 1,5%). Trugilho et al. (2005), ao carbonizar a madeira de seis clones de eucalipto, produziu carvão vegetal com teor de material volátil próximos ao encontrado nesta pesquisa para o carvão produzido a partir da raiz.

O PCS do carvão vegetal produzido com madeira do fuste pode ser considerado baixo (6816,01 Kcal kg -3) e o do carvão produzido pela raiz (7332,86 Kcal kg-3), dentro do recomendado. Resultado semelhante foi encontrado por Protásio et al. (2015).

Tabela 6. Propriedades energéticas do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variáveis do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.** | **AQI do carvão (%)** | | | **PCS**  **(Kcal kg-3)** |
| **MV (%)** | **CF (%)** | **CZ (%)** |
| **Tronco** | 43,11 a (1,38) | 56,56 b (1,07) | 0,339 b (10,65) | 6816,01 b  (0,30) |
| **Raiz** | 27,49 b (4,05) | 72,09 a (1,54) | 0,417 a (3,73) | 7332, 86 a (0,50) |
| **Pr>Fc** | \* | \* | \* | \* |

Os dados médios de densidade energética do carvão estão representados na tabela 7. Verificou-se que o carvão produzido a partir da raiz foi superior ao carvão produzido a partir do fuste.

Analisando as tabelas 5 e 7, observa-se uma correlação positiva quanto aos valores de densidade aparente, densidade energética e estoque de carbono colaborando com os resultados apresentados por Vale et al. (2010) e Costa et al. (2014).

Tabela 7. Valores médios de densidade energética (De) e estoque de carbono do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variáveis do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp.** | **De (Kcal m-3)** | **EC (kg m-3)** |
| **Tronco** | 2766,19 b  (4,42) | 229,51 b  (4,45) |
| **Raiz** | 3786,76 a  (5,46) | 372,23 a  (5,37) |
| **Pr>Fc** | \* | \* |

## Conclusão

Conclui-se que tanto a madeira do fuste como da raiz de *Eucalyptus* sp. possui potencial para a produção de energia. Contudo, o carvão vegetal produzido a partir do fuste em forno de rabo quente apresentou valores abaixo do recomendado pelo Selo Premium para os teores de carbono fixo, afetando diretamente o poder calorífico superior. Observando todos os parâmetros estudados pode-se concluir que a raiz possui maior qualidade e potencial para a geração de energia, tanto na queima direta (madeira) como para a produção do carvão vegetal.

## Agradecimentos

Universidade Federal do Tocantins; aos meus colegas do Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais; minha família, em especial minha irmã Virginia de Sousa Venega.

## Referências

1. ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília.2013.148p.
2. American Society for Testing Materials. **ASTM-1762-84**: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, p.2, 2007.
3. AROLA, R.A. Wood Fuels, how do they stack up. **Forest Products Research Society**, Atlanta, Georgia, 1976. 12p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. Brasília, p.5, 1983.
5. CHAVES, A.M.B. et al. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de Eucalyptus spp. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.
6. COSTA et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.
7. HOWARD, A.M. Heat of combustion of various southrn pine materials. **Wood Science**, v.5, p.194-197, 1973.
8. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro, 2018.
9. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2020**. São Paulo: IBÁ. 2020. 66 p.
10. JESUS, M.S. et al. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. **Floresta**, v. 47, n.1, p. 11-16, 2017.
11. PROTÁSIO, T.P. et al. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 111-123, 2014a.
12. PROTÁSIO, T.P. et al. Avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de Eucalyptus grandis e Eucalyptus urophylla. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 801-816, 2015.
13. SANTOS, R.C. et al. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012b.
14. TRUGILHO, P.F. et al. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.
15. TRUGILHO, P.F. et al. Rendimentos e característica do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de Eucalyptus. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.
16. VALE, A.T. et al. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.
17. VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 1984. 21p. **Boletim técnico**, v.2

1. Graduanda em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, rosainavenega@outlook.com. ​

   2 Doutoranda em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

   3 Professora Doutora – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins. [↑](#footnote-ref-1)