 

**POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DE** *Myracrodruon urundeuva*Fr. All.**,** **CERRADO SUL DO TOCANTINS**

**Renata Carvalho da Silva[[1]](#footnote-1), Raquel Marchesan2, Leonardo França³,Carla Jovania Gomes Colares2, José Fernando Pereira2**

**Resumo**

Objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar o potencial energético de *Myracrodruon urundeuva* advinda de floresta nativa, tanto da madeira como do carvão vegetal. O experimento foi conduzido no laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da UFT, Campus Gurupi-TO. Para a caracterização da madeira foram utilizados corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 5,0 cm (largura x espessura x comprimento) e partículas selecionadas em peneira de 60 mesh. A madeira de *M. urundeuva* potencial para produção de energia, pois a média de Db (820,25 kg m-3) foi considerada como sendo de alta densidade básica. Os valores médios de De (3662,26 kcal m-3) e Ec (135,98 kg m-3) apresentaram valores sastifatórios. Os teores de MV e CF apresentaram medias aceitáveis, o teor de cinzas apresentou valor superior a 5%, não recomendado para produção de energia. O PCS da madeira apresentou média de 4463,61 kcal kg-1, mostrando assim o pontecial energético da madeira de *M. urundeuva*. O carvão de *M. urundeuva* apresentou Da (573,99 kg m-3) dentro do recomendado, assim como De (4353,17 kcal m-3 ) e Ec(458,03 kg m-3). O carvão de *M. urundeuva* apresentou PVC (274,04 kg m-3 ) com valor médio recomendado para produção de energia. Os teores de MV(17,96%) e CF(79,81) enontram-se com valores médios dentro do aceitavél, apenas o teor de cinzas (2,23%) não atendeu aos valores recomendados pelo Selo Premium, o PCS do carvão apresentou valor médio satisfatório para a produção de energia, pois o mesmo encontra-se com valor superior ao recomendado de 7663,74 kcal kg-1. Assim sendo tanto a madeira quanto o carvão vegetal produzido da espécie *M. urundeuva* na marcha de carbonização de 600°C apresentaram grande potencial para geração de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Estoque de carbono. Pirólise da madeira. Produtividade em carvão vegetal. Rendimento em carbono fixo.

# Introdução

A madeira participa de forma importante na matriz energética e o carvão vegetal é uma fonte de energia renovável, desta forma, torna-se importante pesquisas sobre espécies potenciais que atendam a exigências do mercado consumidor [12].

Conforme [7], existe a necessidade de fomentar pesquisas científicas com espécies nativas do Cerrado e a avaliação da qualidade da madeira e do carvão para averiguação do potencial do material a ser utilizado como insumo energético, uma vez que esse produto sofre influência da madeira que lhe deu origem e do sistema de produção. Assim, é indispensável determinar as propriedades físicas e químicas que se relacionam com o desempenho energético, tais como densidade básica, teor de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e poder calorífico superior [14].

A *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira-do-sertão) é uma espécie nativa do Cerrado, de relevante valor socioeconômico, não somente como planta medicinal ou madeireira, mas também, como fonte de energia (lenha) nas indústrias e nas propriedades rurais com grande potencial madeireiro[9].

Mediante a importância do carvão vegetal e a necessidade de se estudar o potencial energético de *Myracrodruon urundeuva*, o objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar o potencial energético, tanto da madeira como do carvão vegetal.

# Metodologia

**Localização**

Foram coletadas três árvores oriundas de uma aréa do bioma Cerrado, localizado na região sul do Tocantins. O experimento foi conduzido no laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da UFT, Campus Gurupi-TO.

**Amostragem**

Para a caracterização da madeira foram utilizados corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 5,0 cm (largura x espessura x comprimento) e partículas selecionadas em peneira de 60 mesh coletados da base ao topo da árvore.

**Propriedades energéticas da madeira**

**Densidade básica da madeira**

A densidade básica da madeira foi determinada conforme a norma ASTM D-2395 da American Society for Testing and Materials [2].

**Análise Química Imediata da madeira**

A composição química imediata foi realizada baseando-se nas normas ASTM D 1762-84 [3] onde determinaram-se os percentuais de material volátil, carbono fixo e cinzas da madeira.

**Densidade energetica da madeira**

A densidade energética (De, kcal m-3) foi obtida conforme a Equação 1.

𝐷𝑒=𝐷𝑏.𝑃𝐶𝑆

Em que: 𝐷𝑒 é a densidade energética (kcal m-3); 𝐷𝑏 é a densidade básica (g cm-3); 𝑃𝐶𝑆 é o poder calorífico superior (kcal kg-1).

**Estoque de carbono da madeira**

O estoque de carbono fixo da madeira foi calculado multiplicando-se a densidade básica da madeira pelo teor de carbono fixo da madeira.

**Poder calirífico superior da madeira**

O poder calorífico da madeira, foi estimada de acordo com [22].

**Propriedades energéticas do carvão**

**Pirólise da madeira**

As amostras foram carbonizadas em forno elétrico tipo mufla com controle da temperatura final programada e adaptada para recuperar materiais voláteis condensáveis. A temperatura inicial da carbonização utilizada foi de 150°C e a temperatura final de 600°C, considerado-se uma taxa de aquecimento de 5°C/min e tempo total de 6h30min.

**Rendimento em licor pirolenhoso e em gases não condensáveis**

A recuperação dos gases condensáveis foi realizada através de uma adaptação ao forno mufla que permite a passagem dos gases por um condensador afim de liquefaze-los.

Por meio da diferença entre o rendimento gravimétrico total em carvão e o rendimento total em licor pirolenhoso foi obtido o rendimento total em gases não condensáveis.

**Rendimento gravimétrico em carvão vegetal**

O rendimento gravimétrico total é a relação percentual entre a massa seca do carvão e a massa seca da madeira, obtidos por meio da pesagem em balança analítica.

**Rendimento em carbono fixo do carvão vegetal**

O rendimento em carbono fixo foi obtido multiplicando-se o rendimento gravimétrico pelo percentual de carbono fixo do carvão.

**Rendimento energético da carbonização**

O rendimento energético da carbonização é obtido tendo por base o PCS do carvão.

**Densidade aparente do carvão**

A densidade aparente do carvão foi determinada com base a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 9156 [1].

**Densidade energética do carvão vegetal**

A densidade energética do carvão é obtida multiplicando-se a densidade aparente do carvão pelo poder calorífico superior do carvão vegetal.

**Estoque de carbono do carvão vegetal**

O estoque de carbono fixo da madeira foi calculado multiplicando-se a densidade aparente do carvão pelo teor de carbono fixo do carvão.

**Produtividade em carvão vegetal**

A produtividade de carvão vegetal por unidade de volume foi obtida multiplicando-se a densidade básica da madeira pelo rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

**Análise Química Imediata do carvão vegetal**

A composição química imediata foi realizada baseando-se nas normas ASTM D 1762-84 [3] onde determinaram-se os percentuais de material volátil, carbono fixo e cinzas da carvão.

**Poder calirífico superior do carvão**

O poder calorífico do carvão, foi estimado de acordo com [22].

# Análise dos dados

# Para análises dos dados aplicou-se a estatística descritiva, onde foram obtidos os valores médios e o coeficiente de variação (CV%) para os parâmetros avaliados. O programa Excel 2010® foi utilizado para obteção da estatística descritiva.

# Resultados e Discussões

# Propriedades energéticas da madeira

# Os coeficientes de variação obtidos neste estudo foram baixos e menores que 10%, evidenciaando a precisão do experimento (Tabela 1). Observa-se que a madeira da espécie avaliada apresentou-se de alta densidade conforme [17] que classifica a madeira como sendo de alta densidade básica acima de 0,73 g cm-³.

# Pode-se notar para a densidade energética que a mesma encontra-se com média acima ao observado na literatura, o mesmo foi observado para o estoque de carbono da madeira, o que pode ter ocorrido devido a madeira de *M. urundeura* ser mais densa. De acordo com [8] ocorre essa tendência para madeiras com densidade básica alta ou dentro do recomendo pela literatura.

# Tabela 1. Médias de densidade básica (Db), , densidade energética (De) e de estorque de carbono da madeira de *M. urundeuva.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Espécie** | **Db (kg m-³)** | **De (kcal kg-¹)** | **Ec**  **(kg m-³)** |
| *M. urundeuva* | 820,25 | 3662,26 | 135,98 |
| CV (%) | 0,74 | 6,16 | 6,49 |

# Nota: CV (%): coeficiente de variação.

# A madeira da espécie avaliada apresentou alto teor de materiais voláteis o que acarretou em baixo teor de carbono fixo (Tabela 2). O teor de material volátil está diretamente relacionada-o a qualidade da madeira por ser inversamente proporcional ao teor de carbono fixo, ou seja, quanto menor o teor de material volátil maior será o rendimento de carbono fixo [19]. Segundo [11], com relação a análise química imediata, quanto maior teor de matérias voláteis, menor será teor de carbono fixo.

# O teor de cinzas da madeira neste estudo encontra-se com médias aceitavéis para geração de energia pois o mesmo apresentou médias inferior a 5%, respectivamente (Tabela 2). Segundo [6], o teor de cinzas inferior a 5%, é considerado um ponto positivo para o uso energético da madeira, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal.

Pode-se obsrvar que poder calorifico superior da espécie avaliada encontra-se dentro no recomendado para produção de energia, o que pode ter ocorrido devido ao baixo teor de cinzas. De acordo com [10] o poder calorífico da madeira variam entre 4312 à 5085 kcal kg-1.

# Tabela 2. Médias dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas (CZ) e poder calorífico superior (PCS) da madeira de *M. urundeuva.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Espécie** | **MV (%)** | **CF (%)** | **CZ (%)** | **PCS (kcal kg-¹)** |
| *M. urundeuva* | 82,25 | 16,58 | 1,17 | 4463,61 |
| CV (%) | 0,74 | 3,61 | 2,4 | 0,62 |

# Nota: CV (%): coeficiente de variação.

# Propriedades energéticas do carvão

# Observa-se que o rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentou valor dentro do recomendo para a espécie estudada (Tabela 3), pois conforme [4]e [18] o rendimento em carvão deve ser superior a 30%.

# Em relação os rendimentos totais em licor pirolsenhoso e gases não condensáveis observa-se que *M. urundeuva* apresentou baixo rendimento em licor pirolenhoso, o que pode ter ocorrido devido aos altos rendimentos em carvão e em gases não condensáveis. De acordo com [20] quanto maior o grau degradação da madeira no processo de carbonização menor é o rendimento em carvão vegetal, maior será o rendimento em licor e menor rendimento em gases não condensáveis.

# O rendimento em carbono fixo é a quantidade de carbono da madeira que ficou retido no carvão vegetal, observa-se que o RCF apresentou média superior (26,72 %) ao observado na literatura.

# O valor médio obtido para o REC (56,88 %) foi superior ao observado em pesquisas semelhantes, tendo vista que, esse parâmetro do processo é consideravelmente alterado pela temperatura final de carbonização [13] e, nesta pesquisa, os carvão vegetal da espécie avaliada foi obtido considerando-se a mesma temperatura.

# Tabela 3. Rendimentos da carbonização, rendimento gravimétrico (RGC), rendimento total em licor pirolenhoso (RTLP), rendimento total em gases não condensáveis (RTGNC), rendimento em carbono fixo (RCF) e rendimento energético da carbonização (REPC) do carvão de *M. urundeuva.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Espécie** | **RGC (%)** | **RLP (%)** | **RGNC (%)** | **RCF (%)** | **REPCS (%)** |
| *M. urundeuva* | 33,46 | 31,51 | 34,78 | 26,72 | 56,88 |
| CV (%) | 10,77 |  |  | 11,47 | 11,12 |

# Nota: CV (%): coeficiente de variação.

# O carvão de *M. urundeuva* foi considerado de média densidade aparente, o que ocorreu devido a madeira da espécie estudada ter sido de alta densidade básica. Conforme [21] afirmam que a densidade aparente do carvão é diretamente proporcional a densidade básica da madeira.

# Observou-se que a produtividade em carvão vegetal foi superior ao observado em pesquisas semelhantes, o que pode ter ocorrido devido a madeira da espécie avaliada ser de alta densidade básica e o rendimento gravimétrico ter sido alto, tendo em vista que está variável é determinada pelos dois parâmetros citados.

# Em relação ao estoque de carbono do carvão da espécie avaliada, o mesmo apresentou média superior ao observado na literatura, evidenciando o potencial de *M. urundeuva* para produção de energia.

# Tabela 4. Médias de densidade aparente (Da), densidade energética (De), estorque de carbono (Ec) e produtividade do carvão (PVC) de *M. urundeuva.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Espécie** | **Da (kg m-³)** | **De (kcal kg-¹)** | **Ec (kg m-³)** | **PVC (kg m-3)** |
| *M. urundeuva* | 573,99 | 4353,17 | 458,03 | 247,04 |
| CV (%) | 4,82 | 4,63 | 4,64 | 10,77 |

# Nota: CV (%): coeficiente de variação.

# Verificou-se para os teores de materiais voláteis e carbono fixo (Tabela 5), que os mesmos atenderam aos valores indicados pelo Selo Premium para o carvão vegetal, promulgado pela Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015, que infere alguns padrões mínimos para que o carvão produzido adquira este selo, teor de materiais voláteis inferior a 23%, teor de carbono fixo superior a 73% e toeor de cinzas inferior a 1,5% [15]. Já o teor de cinzas da espécie avaliada não apresentou valor médio dentro do recomendado para produção de energia.

O teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas são inversamente proporcionais, devido a isto quanto menor o teor de MV, maior o CF do carvão [5].

De acordo com a metodologia de [22]levando em consideração o teor carbono fixo recomendado pela Resolução SAA o valor ideal de poder calorífico é de 7363,74 kcal.kg-¹. O carvão de *M. urundeuva* apresentou valor médio de poder calorífico aceitável para produção de energia (Tabela 5), devido ao baixo teor de materiais voláteis e alto teor de carbono fixo. O teor de carbono fixo, juntamente com o teor de materiais voláteis, são as principais características que determinam o poder calorífico do carvão [11].

**Tabela 5. Médias dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas (CZ) e poder calorífico superior (PCS), do carvão de** *M. urundeuva.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Espécie** | **MV (%)** | **CF (%)** | **CZ (%)** | **PCS (kcal kg-¹)** |
| *M. urundeuva* | 17,96 | 79,81 | 2,23 | 7584,79 |
| CV (%) | 5,25 | 1,18 | 0,96 | 0,52 |

# Nota: CV (%): coeficiente de variação.

**Conclusão**

Com base nos resultados obtidos conclui-se que tanto a madeira quanto o carvão vegetal produzido da espécie *M. urundeuva* na marcha de carbonização de 600°C apresentou grande potencial para geração de energia.

**Referências**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9156: determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 8 p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2395**: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. Philadelphia, p.8, 2005.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. **ASTM D 1762-84:** Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, p.2, 2007.
4. ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE C. R. Características do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x 423 *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Cerne,** Lavras, MG. v. 19, n. 3, p. 423-431, jul./set. 2013.
5. BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal. Ed. Interciência**. Rio de janeiro, 2010.
6. BRAND, M. A.; CUNHA, A.; CARVALHO, A.; BREHMER, D.R.; KÜSTER, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie Miconia cinnamomifolia (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar. Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestali**s, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.
7. COSTA, G. T.; BIANCHI, M. L.; DE PROTÁSIO, P. T.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 20, n. 1, 2014.
8. JESUS, M. S. D.; COSTA, L.J.; FERREIRA, J.C.; FREITAS, F.P.; SANTOS, L.C.; ROCHA, M.F.V. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. **Floresta**, Curitiba, PR. v. 47, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2017.
9. MEDEIROS, A. D. S.; SMITH, R.; PROBERT, R., SADER, R. Comportamento fisiológico de sementes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) em condições de armazenamento. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado**, 2000.
10. MÜZEL, S. D.; OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis* **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas,** 8(2), 166-172, 2014.
11. NONES, D.L.; BRAND, M.A.; CUNHA, A.B.; CARVALHO, A.F.; Weise, S.M.K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii.* **Floresta**, 45(1), 57-64, 2014.
12. PROTÁSIO, P. T.; SANTANA, J. D. D. P.; NETO, R. M. G.; JÚNIOR, J. B. G.; TRUGILHO, P. F.; RIBEIRO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de Qualea parviflora. **Pesquisa Florestal Brasileira,** v. 31, n. 68, p. 295-307, 2011.
13. PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; TRUGILHO, P. F.; RAMALHO, F. M. G.; QUEIROZ, L. M. S. B. 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, 2014.
14. SANTOS, R. C. S. et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.
15. SÃO PAULO (Estado). Resolução SAA-40 de 14 de dezembro de 2015. Norma de Padrões Mínimos de Qualidade para Carvão Vegetal. São Paulo, 2015.
16. 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.
17. SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR PEREIRA, A.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.
18. TRUGILHO, P. F.; SILVA, D.A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (Himenea courbaril L.). **Scientia Agraria** Curitiba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.
19. VIEIRA, R. S.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; SELVATTI, T. S.; BARAÚNA, E. E. P.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys.* **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, set. 2013.
20. VALE, A. T.; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.
21. VALE, A. T.; ABREU, V. L. S.; GONÇALEZ, 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 material volátil. **Revista Brasil Florestal,** n. 73, 2002.

1. 1 Doutoranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná, campus de Curitiba. e-mail: (rcarvalhosilvaflor@gmail.com)

   2 Professora (a) Doutora (o) da Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi.

   3 Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi. [↑](#footnote-ref-1)