PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM CARVÃO VEGETAL COMERCIAL DE BRIQUETE

Autores: Tailhane Luiza Andrade de Sousa, Ana Clara Gomes de Queirós, Lucas dos Santos Monteiro, Ricardo Gomes de Oliveira, Edgard Geraldo Bertoli Trindade, Bruno Oliveira Lafetá, Caroline Junqueira Sartori.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Av. Primeiro de Junho, 1043 - Centro, São João Evangelista - MG, 39705000, Brasil, luizatailhane@gmail.com, anaclaragdq@gmail.com, lucassantosmonteiro2003@gmail.com, ricardo.gomes@ifmg.edu.br, edgard.trindade@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br.

Resumo
Este estudo teve como objetivo analisar as propriedades físicas do carvão vegetal de briquete comercial da marca Ecomais, produzido a partir de finos e resíduos de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.* A metodologia consistiu na determinação da umidade em base seca pelo método gravimétrico em estufa a 102 °C, da densidade relativa aparente pelo método de imersão com revestimento de PVC, da densidade relativa verdadeira por picnometria após moagem e aquecimento para remoção de ar, e da porosidade por cálculo indireto entre as densidades. Os resultados apresentaram valores médios de 14,18% para umidade em base seca, 0,476 g/cm³ para densidade aparente, 1,714 g/cm³ para densidade verdadeira e 71,87% para porosidade. Conclui-se que o briquete possui elevada densidade verdadeira e excelente potencial calórico para fins energéticos, contudo, a alta porosidade exige equilíbrio na adição de ligantes para preservar a resistência mecânica e evitar trincas.
Palavras-chave: briquetagem. biocombustível. porosidade. Picnometria.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal.

Introdução

O uso da biomassa como fonte de energia tem ganhado destaque no cenário mundial, impulsionado pela busca por alternativas renováveis que mitiguem os impactos ambientais dos combustíveis fósseis. No Brasil, o carvão vegetal ocupa uma posição estratégica, sendo amplamente utilizado tanto em processos siderúrgicos quanto no setor doméstico. Essa relevância deve-se, em grande parte, às características energéticas da madeira, especialmente de espécies do gênero *Eucalyptus*, que apresentam alto potencial para a produção de biocombustíveis sólidos (NONES *et al.,* 2015).

Apesar de sua ampla utilização, o carvão vegetal comum apresenta limitações logísticas e operacionais, como a baixa densidade a granel e a alta fragilidade, que resultam em perdas significativas durante o transporte e manuseio na forma de finos (resíduos). É nesse contexto que o carvão vegetal de briquete surge como uma solução tecnológica viável. A briquetagem consiste na compactação da biomassa ou de finos de carvão, utilizando ou não ligantes, para criar um produto de geometria uniforme e alta densidade energética (BRAND *et al.*, 2015).

A caracterização das propriedades físicas é fundamental para determinar a qualidade e a eficiência de um combustível sólido. Parâmetros como a densidade aparente, densidade verdadeira e porosidade influenciam diretamente o valor de mercado e a performance de combustão do produto. De acordo com Souza *et a*l. (2022), a densidade é um fator fundamental, pois o aumento da compactação eleva tanto a razão energética do material quanto a sua resistência físico-mecânica, o que favorece a estabilidade do produto durante o manuseio, transporte e armazenamento. A importância de estudar essas propriedades em carvões comerciais reside na necessidade de padronização, garantindo que o consumidor final receba um produto com alto rendimento térmico e baixa emissão de resíduos sólidos. Considerando a crescente demanda por biocombustíveis eficientes, este trabalho busca analisar as propriedades físicas de um carvão de briquete comercial.

Metodologia

Matéria-prima e amostragem

Para a realização deste trabalho, foi utilizado briquetes de carvão vegetal comercial da marca Ecomais. A matéria-prima utilizada na fabricação desses briquetes é composta por finos de carvão vegetal e resíduos de fornalhas provenientes da queima de cavacos de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. E foram determinados a Umidade, Densidade Aparente, Densidade Relativa Verdadeira e Porosidade.

Determinação da umidade em base seca

A umidade em base seca foi determinada pelo método gravimétrico, utilizando estufa com circulação forçada de ar mantida a 102±3°C até a obtenção de massa constante.

Determinação da densidade relativa aparente

Para a determinação da densidade relativa aparente (Dap), foram utilizadas cinco amostras, previamente secas em estufa para a obtenção da massa seca (Ms). O volume das amostras secas (V) foi mensurado pelo método de imersão. Para mitigar o erro experimental decorrente da absorção de água pelos poros do material, as amostras foram devidamente revestidas com filme de PVC antes da submersão. A densidade aparente anidra foi calculada pela Equação 1:

$$Dap = \frac{Ms}{V} \qquad (1)$$

Dap: densidade relativa aparente, em g/cm³;
Ms: massa seca da amostra, em g;
V: volume da amostra, em cm³.

Determinação da densidade relativa verdadeira

Para a determinação da densidade relativa verdadeira (Drv), as amostras foram submetidas à fragmentação em moinho de facas tipo Willey e posterior classificação granulométrica em peneiras de 200 a 270 mesh.

O ensaio foi realizado com o auxílio de cinco picnômetros de 50 mL. Inicialmente, os picnômetros foram pesados contendo apenas água (Ppa) e, posteriormente, contendo 1g de carvão moído e seco (Pcs). Para garantir a total eliminação do ar presente nos microporos, as amostras foram preenchidas parcialmente com água e submetidas a aquecimento em chapa elétrica a 100°C por um período de duas horas. Após o resfriamento e preenchimento total do volume, os conjuntos foram pesados novamente (Ppca). A densidade verdadeira foi obtida pela Equação 2:

$$Drv = \frac{Pcs}{Pcs - (Ppca - Ppa)} \qquad (2)$$

Drv: densidade relativa verdadeira, em g/cm³;
Pcs: massa do picnômetro com carvão seco, em g;
Ppa: massa do picnômetro com água, em g;
Ppca: massa do picnômetro com carvão e água, em g.

Determinação da porosidade do briquete

A porosidade (PO) do briquete, que indica a fração volumétrica ocupada por espaços vazios, foi determinada de forma indireta. O cálculo fundamentou-se na relação entre a densidade da massa (aparente) e a densidade do material sólido (verdadeira), conforme estabelecido pela Equação 3:

$$PO = \left(1 - \frac{Dap}{Drv}\right) x \ 100 \qquad (3)$$

PO: porosidade total, em %;

Dap: densidade relativa aparente, em g/cm³;
Drv: densidade relativa verdadeira, em g/cm³.

Resultados

Os resultados das amostras analisadas com médias, respectivos coeficientes, desvio padrão da densidade aparente, densidade verdadeira, e porosidade estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios e coeficiente de variação das propriedades físicas do carvão vegetal.

	Ubs (%)	DRA (g/cm³)	DRV (g/cm³)	PO (%)
Média	14,18	0,476	1,714	71,87
Desvio	0,384	0,054	0,140	
CV	2,708	11,425	8,149	

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

De acordo com a Tabela 1 verifica-se que a média da umidade em base seca foi de 14,18%, a densidade relativa aparente média foi 0,476g/cm³; já a densidade relativa verdadeira foi em média de 1,714g/cm3. A porosidade verificada para o carvão vegetal de briquete foi de 71,87%.

Discussão

O teor de umidade em base seca (Ubs) de 14,18%, correspondente a aproximadamente 12,43% em base úmida, indica que o carvão vegetal de briquete apresenta um teor de umidade relativamente elevado quando comparado aos valores recomendados especificamente para carvões vegetais. De acordo com a FAO (1983), carvões vegetais destinados ao uso energético devem apresentar baixos teores de umidade, preferencialmente inferiores a 10%, podendo atingir valores próximos a 12% em situações específicas, uma vez que a presença excessiva de água reduz a eficiência da combustão e aumenta as perdas de energia térmica. Assim, o valor observado neste estudo situa-se no limite superior recomendado para carvões vegetais, indicando a importância do controle da umidade durante o armazenamento e comercialização do produto.

A densidade relativa aparente média do carvão vegetal de briquete analisado foi de 0,476 g/cm³, enquanto a densidade relativa verdadeira apresentou valor médio de 1,714 g/cm³. Em estudo recente conduzido por Anjos *et al*. (2024), avaliando carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus grandis* no município de Paulistas-MG, foram obtidos valores médios de densidade relativa aparente de 0,528 g/cm³ e densidade relativa verdadeira de 1,520 g/cm³. Observa-se que a densidade aparente do briquete comercial avaliado neste estudo é ligeiramente inferior àquela reportada para o carvão vegetal convencional, possivelmente em função de diferenças na granulometria do material e no processo de conformação dos briquetes. Por outro lado, a densidade relativa verdadeira obtida neste trabalho é superior à observada por Anjos *et al*. (2024), indicando uma maior densidade estrutural da matriz carbonácea, o que pode estar associado ao efeito da compactação promovida pelo processo de briquetagem e à organização interna do carbono. Esses resultados demonstram que, embora o briquete apresente densidade aparente semelhante àquela observada em carvões vegetais convencionais, sua densidade verdadeira encontra-se em patamar elevado, compatível com materiais destinados ao uso energético.

Por outro lado, a densidade do carvão é uma característica física complexa, influenciada por fatores como a densidade da madeira original, além da temperatura e da velocidade aplicadas durante a carbonização. O resultado obtido indica um material com estrutura sólida, visto que, conforme apontam e busca-se sempre obter a maior densidade possível para garantir o desempenho do combustível (MENDES; GOMES; OLIVEIRA, 1982).

Diferente da densidade aparente, que em estudos com clones de *Eucalyptus* costuma variar entre 0,40 e 0,49 g/cm³ (TRUGILHO *et al*., 2001), a densidade verdadeira foca na massa real do material sem considerar os poros. Assim, o valor médio alcançado reforça que o processo de briquetagem e a escolha da matéria-prima foram eficazes para produzir um carvão com potencial energético satisfatório, evitando o desempenho inferior que caracteriza materiais de baixa densidade (FAO, 1983).

No presente estudo, o carvão comercial de briquete apresentou um índice de porosidade de 71,87%. Segundo Donato *et al*. (2015), tanto a porosidade como a solidez e a resistência de um carvão

vegetal dependem estritamente das condições sob as quais foi realizada a carbonização. Este valor elevado justifica a necessidade de monitorar as modificações estruturais em briquetes submetidos a tratamentos térmicos durante ou após a secagem, uma vez que a estrutura do material define seu comportamento em processos subsequentes.

A porosidade de 71,87% encontrada neste estudo é semelhante aos índices observados em biocoques com elevada fração de biomassa. De modo geral, maiores índices de porosidade estão associados a uma redução da resistência mecânica do material, uma vez que o aumento da fração de vazios compromete a coesão estrutural do carvão vegetal. Entretanto, essa relação não é absoluta, pois a resistência física dos briquetes também depende de fatores como a granulometria das partículas, o grau de compactação e a quantidade e eficiência do ligante utilizado. Assim, no caso dos briquetes, torna-se essencial equilibrar a rede de poros com a formulação adequada do material, de forma a manter a integridade física sem prejuízo à reatividade e ao desempenho energético (SILVA *et al*., 2016).

Materiais com granulometria mais grossa ou alta porosidade podem gerar trincas nas interfaces se não forem absorvidos de modo eficiente pela matriz (SILVA *et al*., 2016). Portanto, o resultado de 71,87% de porosidade no briquete comercial sugere um material com alta reatividade potencial, mas que exige um equilíbrio técnico entre a porosidade e a adesão do ligante para garantir a integridade física do produto final.

Conclusão

O carvão de briquete comercial analisado demonstrou alta qualidade para fins energéticos, apresentando um teor de umidade em base seca de 14,18%, que favorece uma combustão eficiente, e uma densidade verdadeira de 1,714 g/cm³, que indica alto potencial calórico. A densidade aparente de 0,476 g/cm³ confirmou a eficácia da compactação no processo de fabricação, sendo superior aos carvões comuns. Embora a porosidade de 71,87% seja elevada, o que aumenta a reatividade do combustível, conclui-se que o produto é viável, desde que haja um controle rigoroso na mistura com ligantes para evitar o trincamento e garantir a resistência mecânica necessária para o manuseio e consumo final.

Referências

ANJOS, I. N. F. *et al*. PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO NO MUNICÍPIO DE PAULISTAS, MG... *In*: Anais do Planeta IFMG 2025. Anais...Ribeirão das Neves (MG) IFMG Campus Ribeirão das Neves, 2025. Disponível em: https//www.even3.com.br/anais/planeta-ifmg-2025/1348431-PROPRIEDADES-FISICAS-DE-UM-CARVAO-VEGETAL-PRODUZIDO-NO-MUNICIPIO-DE-PAULISTAS-MG. Acesso em: 20 jan 2026.

BRAND, M. A. *et al*. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1165-1173, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0100-67622015000600020. Acesso em 20 jan 2026

DONATO, D. B. *et al*. Propriedades de briquetes obtidos de finos de carvão vegetal. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 6, n. 2, 2015.

FAO. Wood Charcoal: Production Methods and Marketing. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983.

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.

NONES, D. L. *et al*. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de Eucalyptus benthamii. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5380/rf.v45i1.30157. Acesso em: 20 jan 2026.

SILVA, G. L. R. da *et al*. Utilização de finos de carvão vegetal para produção de biocoque metalúrgico. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 46.

2016, Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: ABM, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.5151/2594-357X-27650. Acesso em: 20 jan 2026.

SOUZA, C. de O. *et al*. Qualidade dos resíduos madeireiros de mogno-africano e eucalipto para briquetagem. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 637-652, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.5902/1980509843299. Acesso em: 20 jan 2026.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus São João Evangelista, pelo apoio institucional e pela disponibilização da infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.