

## Artigos

# Qualidade dos resíduos madeireiros de mogno-africano e eucalipto para briquetagem

Quality of african mahogany and eucalypts wood residues for briquetting

Camilla de Oliveira Souza<sup>I</sup> , Marina Donária Chaves Arantes<sup>II</sup> ,  
Joyce de Almeida Pinto<sup>III</sup> , João Gabriel Missia da Silva<sup>IV</sup> ,  
Márcia Fernanda Carneiro<sup>V</sup> , Ana Carla Bezerra de Lima<sup>VI</sup> ,  
Renato Ribeiro Passos<sup>I</sup> 

<sup>I</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil

<sup>II</sup>Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG, Brasil

<sup>III</sup>Pesquisadora Autônoma, Muniz Freire, ES, Brasil

<sup>IV</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

<sup>V</sup>Pesquisadora Autônoma, Porto Velho, RO, Brasil

<sup>VI</sup>Pesquisadora Autônoma, Patos, PB, Brasil

## RESUMO

Os resíduos oriundos do processamento da madeira constituem uma oportunidade para o aproveitamento energético, sendo a briquetagem um processo eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa florestal. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar diferentes composições de resíduos das madeiras de mogno-africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) para produção de briquetes. Para isso, cinco composições foram testadas com diferentes proporções de resíduos (100% eucalipto, 75% eucalipto + 25% mogno-africano, 50% eucalipto + 50% mogno-africano, 25% eucalipto + 75% mogno-africano e 100% mogno-africano) e submetidas às análises químicas e físicas (extrativos totais, ligninas totais, teor de cinzas, teor de umidade, poder calorífico e densidade a granel). Os briquetes foram produzidos à temperatura de 120°C, pressão de 100 kgf cm<sup>-2</sup> e tempos de compactação e resfriamento de 5 e 7 minutos, respectivamente, sendo submetidos a ensaios físico-mecânicos (densidade relativa aparente e resistência à compressão axial). As composições com maiores porcentagens de mogno-africano tiveram maior teor de extrativos e cinzas, e maior poder calorífico superior. Para os briquetes oriundos das composições com maiores porcentagens de eucalipto, verificou-se menor densidade relativa aparente e menor resistência à compressão axial. Apesar disso, os resíduos dessas espécies possuem potencial para a geração de energia, sendo os briquetes produzidos com maior porcentagem de mogno-africano, os que apresentaram maior potencial energético e resistência mecânica.

**Palavras-chave:** Potencial energético; Briquetes; *Khaya* sp.; *Eucalyptus* sp.

## ABSTRACT

---

The residues from wood processing are an opportunity for energy use, and the briquetting is an efficient process of concentrating the available energy from forest biomass. Therefore, this work aimed to evaluate different compositions of residues from African mahogany (*Khaya ivorensis* and *Khaya senegalensis*) and eucalypts (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) woods for the production of briquettes. To do so, five composites were tested with different proportions of residues (100% eucalypts, 75% eucalypts + 25% African mahogany, 50% eucalypts + 50% African mahogany, 25% eucalypts + 75% African mahogany e 100% African mahogany) and submitted to analysis chemical and physical (total extracts, total lignin, ash content, moisture content, higher calorific value and bulk density). The briquettes were produced at a temperature of 120°C, pressure of 100 kgf cm<sup>-2</sup> and compaction and cooling times of 5 and 7 minutes, respectively and were submitted to physical-mechanical analysis (apparent relative density and resistance to axial compression). The compositions with the highest percentage of African mahogany had higher extractives and ash content, and a greater calorific value. For the briquettes from compositions with higher percentages of eucalyptus, there was less apparent relative density and less resistance to axial compression. Despite this, the residues of these species have potential for energy generation. However, the briquettes with a higher percentage of African mahogany in the composition have greater energy potential and are, mechanically, more resistant.

**Keywords:** Energetic potential; Briquettes; *Khaya* sp.; *Eucalyptus* sp.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se no Brasil o aumento das plantações de espécies do gênero *Khaya*, mais conhecidas como mogno-africano, com o objetivo de atender à demanda por madeira para produtos sólidos (SILVA *et al.*, 2016). De acordo com Reis, Oliveira e Santos (2019), o Brasil é um dos maiores plantadores de mogno-africano do mundo, sendo estimado no ano de 2018 mais de 37 mil hectares ocupados por espécies desse gênero em todo território nacional. A introdução e o cultivo do mogno-africano ocorreram principalmente por suas características de crescimento, adaptabilidade e elevado valor da madeira no mercado internacional. Em adição, a utilização da madeira de mogno-africano não possui restrições legais, sendo um atrativo aos produtores florestais brasileiros (FRANÇA *et al.*, 2015).

Por ser um gênero exótico relativamente novo no país e as plantações ainda estarem em desenvolvimento, é pequeno o número de publicações científicas a respeito de suas características silviculturais e genéticas, propriedades da madeira

e dos resíduos oriundos do processamento do mogno-africano. Silva *et al.* (2016) destacaram a necessidade de pesquisas sobre a qualidade dessa madeira para subsidiar programas de melhoramento genético e para o ajuste de processos tecnológicos que visam à otimização do setor florestal. Em contrapartida, a madeira do gênero *Eucalyptus* é amplamente difundida e estudada, havendo plantações com diferentes clones distribuídos por, praticamente, todo território nacional. Diversas pesquisas destacam os promissores resultados do eucalipto, tais como rápido crescimento, elevada taxa de produtividade e resistência a pragas e doenças (FERREIRA *et al.*, 2017; BALDIN *et al.*, 2020).

Os programas de melhoramento genético selecionam espécies, produzem híbridos e replicam clones mais adaptados às diversas condições ambientais e possibilidades de utilização, como produtos sólidos (madeira serrada), polpa e papel, energia e painéis reconstituídos. Por exemplo, o híbrido conhecido popularmente como eucalipto urograndis (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), que foi desenvolvido com o objetivo de unir o crescimento do *E. grandis* com a densidade da madeira e rendimento em polpa celulósica do *E. urophylla* (HSING; PAULA; PAULA, 2016).

Em várias etapas do processo produtivo de produtos madeireiros, há a geração de resíduos. Estes constituem uma oportunidade para o aproveitamento energético (PINCELLI; MOURA; BRITO, 2017), podendo ser reutilizados na produção de carvão, *pellets* e briquetes. Os briquetes surgiram para substituir a lenha na indústria de cerâmica, olaria, alimentícia e outras indústrias que precisam de vapor, sendo também utilizados em fornalhas, fornos ou caldeiras de restaurantes, pizzarias e padarias (QUIRINO *et al.*, 2012). A briquetagem é o processo de compactação de um material particulado por meio de aplicação de temperatura e pressão, podendo ser utilizadas ou não resinas artificiais (DIAS *et al.*, 2012). No caso da madeira, não há necessidade de adicionar ligantes, pois as ligninas atuam como aglutinante das partículas de madeira (FURTADO *et al.*, 2010).

A briquetagem é um processo eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa florestal. De acordo com Quirino *et al.* (2012), 1,0 m<sup>3</sup> de briquetes pode apresentar até 5 vezes mais energia que o mesmo volume de resíduos madeireiros, mas, para que isso ocorra, os resíduos precisam apresentar características adequadas, como umidade entre 8 e 15% (base seca), elevada densidade e poder calorífico. A presença de umidade nos resíduos diminui o poder calorífico, pois parte da energia liberada durante a queima do material é gasta para evaporá-la. Além disso, o teor de umidade variável e a baixa densidade aparente, diminui a estabilidade e resistência física do briquete, prejudicando seu manuseio e transporte (QUIRINO *et al.*, 2005).

Para que no presente e futuro haja melhor otimização dentro de toda cadeia de produção florestal, torna-se relevante conhecer as propriedades e o potencial energético dos resíduos madeireiros. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade de diferentes composições de resíduos madeireiros de mogno-africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) para a produção de briquetes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos (serragem) de mogno-africano e eucalipto provenientes de uma marcenaria localizada no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. Os resíduos de mogno-africano eram compostos por uma mistura de madeira e cascas das espécies *Khaya ivorensis* A. Chev e *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., ambas extraídas com 19 anos de idade de uma parcela experimental da Reserva Natural Vale, localizada em Linhares, Espírito Santo. O resíduo de eucalipto foi composto pela madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, coletados aos 13 anos de idade em plantação experimental em Alcobaça, sul da Bahia.

Inicialmente, uma parte dos resíduos de mogno-africano e eucalipto foram submetidos a análises químicas e físicas. Para isso, separadamente, os resíduos foram triturados em moinho tipo Willey e classificados em peneiras de 40/60 *mesh*, conforme

descrito pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM D-1762 (2008). Em seguida, foi feita a combinação dos resíduos de acordo com cada tratamento (Tabela 1), sendo todo material acondicionado durante 15 dias em sala de climatização com umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Após climatização, foram determinados a umidade, os teores de extrativos, ligninas e cinzas e o poder calorífico de cada tratamento.

Tabela 1 – Composição e proporção de resíduos de mogno-africano (*Khaya ivorensis* e *K. senegalensis*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) para a briquetagem

<b>Tratamentos</b>	<b>Composição e proporção de resíduos</b>	<b>Abreviação</b>
T1	100% eucalipto	100 E
T2	75% eucalipto + 25% mogno-africano	75 E + 25 MA
T3	50% eucalipto + 50% mogno-africano	50 E + 50 MA
T4	25% eucalipto + 75% mogno-africano	25 E + 75 MA
T5	100% mogno-africano	100 MA

Fonte: Autores (2021)

Para a determinação da umidade, foram utilizados aproximadamente cinco gramas do material classificado e aclimatado, sendo este conduzido à estufa sob temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Após constatar massa constante, as amostras foram retiradas da estufa e alocadas em dessecador até seu resfriamento e em seguida foram pesadas, sendo a umidade determinada por meio da relação entre a diferença da massa inicial e a massa seca em estufa, pela massa seca.

O teor de cinzas dos resíduos foi determinado de acordo com o método M11 da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP (1977), os teores de extrativos de acordo com a ABTCP M68 (1968) e os teores de ligninas insolúveis (Klason) e solúveis seguiram, respectivamente, os procedimentos descritos por Goldschmid (1971) e Gomide e Demuner (1986). O teor de ligninas totais foi reportado como o somatório de ligninas solúveis e insolúveis e o poder calorífico superior dos resíduos foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme a Norma Brasileira – ABNT NBR 8633 (1984) da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Outra parte dos resíduos de mogno-africano e eucalipto foram rapidamente triturados em moinho tipo Willey, classificados em peneira vibratória de 10 *mesh*, separados de acordo com cada tratamento e encaminhados para a sala de climatização até atingirem umidade entre 8 e 15%. Após verificação da umidade, determinou-se a densidade a granel dos resíduos e foram produzidos 10 briquetes por tratamento (Tabela 1). Os briquetes foram produzidos individualmente em briquetadeira laboratorial, com o tempo de compactação de cinco minutos a temperatura de 120°C e pressão de 100 kgf cm<sup>-2</sup>, na sequência, houve descompressão e resfriamento do briquete com ventilação forçada durante sete minutos. Após produção, os briquetes ficaram 15 dias na sala de climatização para posterior determinação de sua densidade relativa aparente e resistência à compressão axial.

A densidade a granel dos resíduos foi realizada de acordo com a ABNT NBR 6922 (1983). A densidade relativa aparente dos briquetes foi determinada pelo método estereométrico por meio da relação massa/volume e a força máxima de ruptura dos briquetes foi verificada em uma máquina universal de ensaios, com capacidade máxima de 100 kN. A carga foi aplicada perpendicularmente na lateral de cada briquete, com velocidade de ensaio de 3 mm min<sup>-1</sup>, sendo calculada automaticamente a força máxima de ruptura em função da área e da resistência à compressão axial do briquete até a liberação de sua carga de tensão, ou seja, quando houve a mínima ruptura do briquete. Na ausência de normas específicas para esse procedimento, o mesmo foi realizado como uma adaptação da ABNT NBR 7190 (1997).

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado. Foram utilizados cinco tratamentos e 10 repetições para cada variável estudada. Para permitir a análise de variância (ANOVA), os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneização das variâncias (Cochran). Atendidos os pressupostos, e quando o teste F foi significativo ( $p < 0,05$ ), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A correlação de Pearson (teste t;  $p < 0,05$ ) foi realizada nos parâmetros relacionadas aos resíduos e aos briquetes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa no teor de umidade dos tratamentos (Tabela 2), possivelmente pela padronização do material, que possuía a mesma granulometria e estava submetido às mesmas condições de temperatura e umidade. De acordo com Dias *et al.* (2012), quanto maior a umidade, menor será a produção de calor por unidade de massa, pois parte da energia liberada durante a queima do material é gasta na vaporização da água. Valores de umidade acima de 15% e abaixo de 8% podem ocasionar a quebra do briquete durante sua produção, armazenamento ou transporte e teor de umidade muito variável, pode prejudicar o processo de combustão do material, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema (BRITO, 1986).

Tabela 2 – Valores médios de umidade, teores de extrativos, ligninas e cinzas, poder calorífico superior e densidade a granel de diferentes composições com resíduos madeireiros de mogno-africano (MA) e eucalipto (E)

Tratamentos	Umidade <sup>ns</sup>	Extrativos totais <sup>*</sup>	Ligninas totais <sup>ns</sup>	Cinzas <sup>*</sup>	Poder calorífico <sup>*</sup>	Densidade a granel <sup>ns</sup>
	%				Kcal kg <sup>-1</sup>	Kg m <sup>-3</sup>
100 E	8,91	4,65 d	37,48	0,11 e	4414 c	1641
75 E + 25 MA	8,88	4,83 d	36,16	0,33 d	4394 c	1621
50 E + 50 MA	8,83	7,07 c	35,01	0,61 c	4585 a	1619
25 E + 75 MA	8,72	8,65 b	34,70	0,83 b	4503 b	1648
100 MA	8,71	10,30 a	33,34	1,04 a	4590 a	1608

Fonte: Autores (2021)

Em que: \*: significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); ns: não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ). As médias seguidas pelas mesmas letras, em cada coluna, não diferenciam entre si pelo Teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Houve aumento no valor de extrativos totais com o aumento da quantidade de resíduos de mogno-africano, tendo um incremento significativo de aproximadamente 55% entre os tratamentos 100 E e 100 MA. O maior teor de extrativos pode aumentar o poder calorífico e, por consequência, o potencial energético do material (SANTOS *et al.*, 2011; 2016), logo, os briquetes com maior quantidade de resíduos de mogno-africano possuem maior teor de extrativos e apresentam melhor qualidade energética.

Exceto para o tratamento 100 MA, todos os valores de extrativos totais foram inferiores aos encontrados na literatura para espécies nativas da Amazônia (variação de 9,6 a 12,78%) (CASTRO *et al.*, 2015), próximos aos valores encontrados em madeiras de diferentes espécies do Cerrado, destinadas à produção de energia (variação de 5,26 a 7,76%) (VALE; DIAS; SANTANA, 2010; COSTA *et al.*, 2014) e superiores aos de diferentes clones de eucalipto, que variaram de 1,89 a 4,97% (OLIVEIRA *et al.*, 2010; NEVES *et al.*, 2011; CASTRO *et al.*, 2013); estando na faixa de 3,2 a 9,24% encontrada em diversos resíduos madeireiros oriundos de uma pequena serraria localizada em Jerônimo Monteiro, Espírito Santo (MOULIN *et al.*, 2011).

Não houve diferença estatística no teor de ligninas totais dos tratamentos, sendo todos os valores superiores aos verificados para clones de eucalipto para a geração de energia (variação de 27 a 33%) (OLIVEIRA *et al.*, 2010; NEVES *et al.*, 2011; CASTRO *et al.*, 2013; CARNEIRO *et al.*, 2017) e para a maioria das folhosas brasileiras, que variaram de 16 a 31% (VALE; DIAS; SANTANA, 2010; COSTA *et al.*, 2014).

O poder calorífico superior foi estatisticamente maior nos tratamentos 100 MA e 50 E + 50 MA (Tabela 2), estando todos os valores dentro da faixa de 4000 a 5000 kcal kg<sup>-1</sup> observada por Pinheiro, Rendeiro e Pinha (2004) em diferentes resíduos madeireiros para uso energético.

De acordo com Kumar, Gupta e Sharma (1992), as ligninas e os extrativos possuem baixo grau de oxidação e alto calor de combustão, que podem aumentar o poder calorífico e o potencial energético dos resíduos. Nesse sentido, os valores encontrados neste estudo são favoráveis ao uso energético, havendo correlação alta e positiva entre as variáveis extrativos totais e poder calorífico superior dos resíduos (Tabela 3).

O teor de cinzas se correlacionou negativamente com a umidade e positivamente com os extrativos, sendo também significativo para todos os tratamentos, cujo maior valor foi observado no tratamento 100 MA. As cinzas estão diretamente associadas à presença de minerais, como fósforo e enxofre, encontrados principalmente na casca

da árvore. Essa fração não gera energia, sendo indesejável na composição do briquete, além de prejudicar o processo de queima do material pela formação de crostas com impurezas, que causam desgaste e entupimentos nas tubulações dos equipamentos (BARCELLOS *et al.*, 2005; BRAND, 2010).

Tabela 3 – Correlação entre os parâmetros avaliados nos resíduos madeireiros de mogno-africano e eucalipto para briquetagem

Parâmetros	Umidade	Extrativos totais	Ligninas totais	Teor de cinzas	Poder calorífico
Umidade	1,00	-0,69*	0,43 <sup>ns</sup>	-0,69*	-0,46 <sup>ns</sup>
Extrativos totais		1,00	-0,32 <sup>ns</sup>	0,98*	0,81*
Lignina totais			1,00	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>
Teor de cinzas				1,00	0,79*
Poder calorífico					1,00

Fonte: Autores (2021)

Em que: \*: coeficiente de correlação de Pearson significativo ( $t; p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: não significativo ( $t; p > 0,05$ ).

Na literatura, normalmente, é observado que o percentual de cinzas é inversamente proporcional ao poder calorífico da biomassa (PROTÁSIO *et al.*, 2011). Acredita-se que a correlação atípica observada neste trabalho tenha sido influenciada pela qualidade do resíduo utilizado, pois, além de presença de cascas, os resíduos de mogno-africano estavam em contato direto com o solo, o que pode ter ocasionado o arraste de minerais para dentro do sistema, sendo caracterizado por Hansen e Nygaard (2014), como cinzas de contaminação.

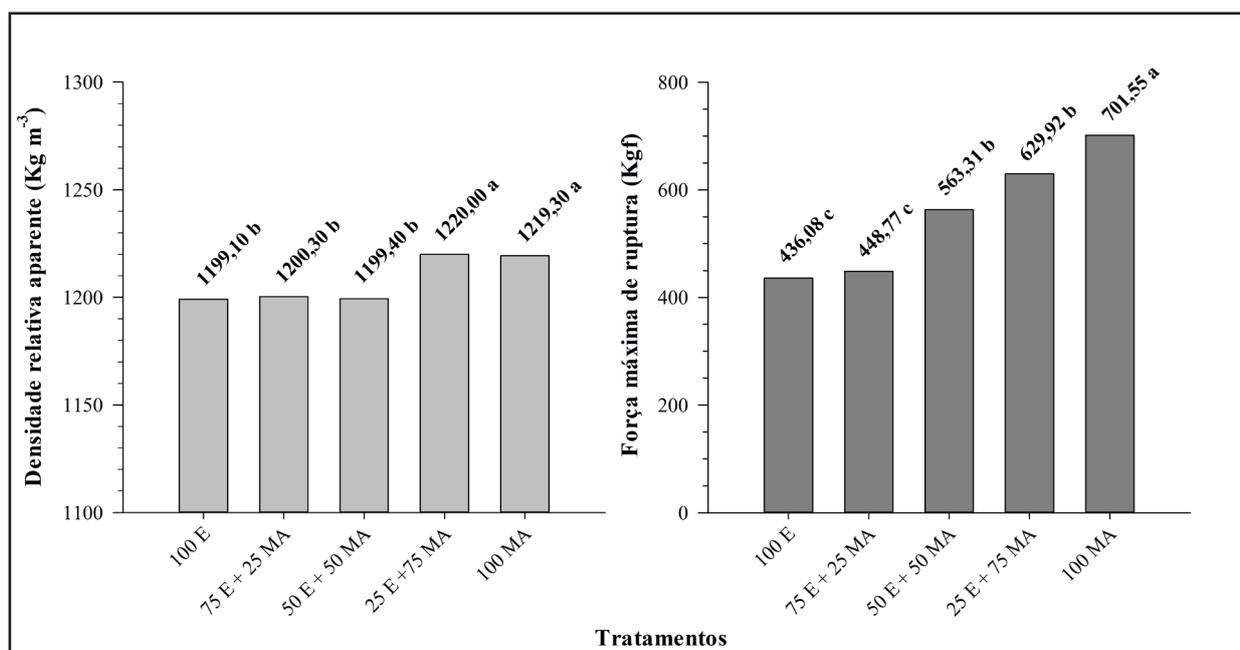
Informações acerca da origem e composição das cinzas é fundamental para o melhor entendimento do comportamento do combustível, principalmente quando se trata de biomassas residuais ou industriais (NUNES; MATIAS; CATALÃO, 2016). Contudo, os valores observados para o teor de cinzas são aceitáveis e estão abaixo daqueles verificados em madeiras e resíduos de folhosas destinadas à produção de energia, de espécies florestais provenientes do Cerrado (média de 1,80%) (COSTA

*et al.*, 2014) e do Pará (até 5%) (PINHEIRO; RENDEIRO; PINHA, 2004) e próximos aos valores observados em clones de eucaliptos para uso energético, que possuem teores de cinzas inferiores a 1% (BRAND *et al.*, 2011; NEVES *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2013; PROTÁSIO *et al.*, 2014).

Ao avaliar as propriedades de diferentes resíduos destinados à produção de briquetes, Furtado *et al.* (2010) observaram que a variação do poder calorífico ocorreu em função da composição química de cada espécie, principalmente em relação aos teores de ligninas e extrativos, corroborando a correlação forte e positiva observada neste trabalho para as variáveis poder calorífico superior e teor de extrativos.

A densidade relativa aparente e a força máxima de ruptura dos briquetes foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos (Figura 1). Observou-se que os tratamentos que continham maiores quantidades de mogno-africano em sua composição (25 E + 75 MA e 100 MA), apresentaram os maiores valores para essas variáveis.

Figura 1 – Densidade relativa aparente e força máxima de ruptura dos briquetes produzidos com resíduos de mogno-africano (MA) e eucalipto (E)



Fonte: Autores (2021)

Médias seguidas pelas mesmas letras, em cada gráfico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os valores de densidade a granel não variaram estatisticamente entre os tratamentos, possivelmente devido à padronização do tamanho das partículas. Segundo Kaliyan e Morey (2009), o tamanho das partículas exerce uma forte influência na durabilidade e na resistência físico-mecânica dos briquetes. Uma menor granulometria favorece o ajustamento e a união dos resíduos dentro da briquetadeira, diminui os espaços porosos e ocasiona o aumento da densidade relativa aparente dos briquetes, uma vez que há compactação de mais massa em um mesmo volume. Contudo, não foi verificada correlação significativa entre os parâmetros avaliados nos briquetes (Tabela 4).

Tabela 4 – Correlação entre os parâmetros avaliados nos resíduos madeireiros e nos briquetes de mogno-africano e eucalipto

Parâmetros	Densidade a granel	Densidade relativa aparente	Força máxima de ruptura
Densidade a granel	1,00	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>
Densidade relativa aparente		1,00	0,47 <sup>ns</sup>
Força máxima de ruptura			1,00

Fonte: Autores (2021)

Em que: \*: coeficiente de correlação de Pearson significativo (t; p < 0,05); <sup>ns</sup>: não significativo (t; p > 0,05).

A compactação dos resíduos é um fator importante para aumentar a relação massa/volume dos briquetes e conseqüentemente elevar sua razão energética e resistência físico-mecânica. Briquetes geralmente apresentam densidade aparente entre 500 e 1200 Kg m<sup>-3</sup> (DIAS *et al.*, 2012), sendo os valores observados neste estudo desejáveis para o seu transporte, armazenamento e manuseio, destacando também o seu potencial como produto energético.

## 4 CONCLUSÕES

Os resíduos madeireiros de mogno-africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) apresentaram propriedades desejáveis para a produção de briquetes e geração de energia. No entanto, os briquetes com maior porcentagem de mogno-africano na composição possuem maior potencial energético, correlação forte e positiva entre as variáveis poder calorífico superior e teor de extrativos e são, mecanicamente, mais resistentes.

## AGRADECIMENTOS

À Reserva Natural Vale pela doação do material e condições para a pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsas auxílio e financiamento de pesquisas.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D-1762**: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Annual Book ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**: Carvão vegetal - ensaios físicos determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1983. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal - determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **M11**. Normas técnicas. São Paulo, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **M68**. Normas técnicas. São Paulo, 1968.
- BALDIN, T. *et al.* Qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 126, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.05>

BARCELLOS, D. C. *et al.* O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BRAND, M. A. **Energia da biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

BRAND, M. A. *et al.* Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 2581-2588, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.005>.

BRITO, J. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, [s. l.], v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Caracterização energética das madeiras de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes localidades. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 3, p. 127-135, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n3p127-135>

CASTRO, A. F. N. M. *et al.* Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600008>

CASTRO, J. P. *et al.* Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521021567>.

COSTA, T. G. *et al.* Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602014000100005>.

DIAS, J. M. C. S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012. (Documentos, 13).

FERREIRA, D. H. A. A. *et al.* Crescimento e produção de eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.131315>

FRANÇA, T. S. F. A. *et al.* Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041877>

FURTADO, T. S. *et al.* Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (ed.). **Lignins**. New York: Wiley-Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

HANSEN U. E.; NYGAARD I. Sustainable energy transitions in emerging economies: The formation of a palm oil biomass waste-to-energy niche in Malaysia 1990–2011. **Energy Policy**, Guildford, v. 66, p. 666-676, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.028>

HSING, T. Y.; PAULA, N. F. ; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 273-283, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821119>.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>.

KUMAR, M.; GUPTA, R. C.; SHARMA, T. Effect of carbonisation conditions on the yield and chemical composition of *Acacia* and *Eucalyptus* wood chars. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 3, p. 411-417, 1992.

MOULIN, J. C. et al. Avaliação energética da maravalha gerada em uma serraria de pequeno porte. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 2, n. 2, p. 16-22, 2011. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v2n2.moulin>

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, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.319>.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Biomass combustion systems: a review on the physical and chemical properties of the ashes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 53, p. 235-242, 2016.

OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PEREIRA, B. L. C. et al. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal Properties. **BioResources**, Raleigh, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013.

PINCELLI, A. L. S.; MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Quantificação dos resíduos da colheita em florestas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 519-526, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n115.09>

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHA, J. D. Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. **Biomassa & Energia**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.

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, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.657>.

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113-122, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.113>

QUIRINO, W. F. *et al.* Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, [s. l.], n. 89, p. 100-106, 2005.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (ed.). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. 379 p. (Ebook).

SANTOS, R. C. *et al.* Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SANTOS, R. C. *et al.* Influência das propriedades químicas e da relaçãoiringil/guaiacil da madeira de eucalipto na 48 produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SILVA, J. G. M. *et al.* Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 181-190, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.18>.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981767>.

## Contribuição de Autoria

### 1 – Camilla de Oliveira Souza

Engenheira Florestal, Ma., Discente de Doutorado

<https://orcid.org/0000-0001-8941-5461> • [camilladeoliveirasouza@hotmail.com](mailto:camilladeoliveirasouza@hotmail.com)

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Investigação, Curadoria de dados, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

### 2 – Marina Donária Chaves Arantes

Engenheira Florestal, Dr., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-4711-7121> • [mdonariac@hotmail.com](mailto:mdonariac@hotmail.com)

Contribuição: Recursos, Administração do projeto, Conceituação, Supervisão, Validação, Escrita – revisão e edição

### **3 – Joyce de Almeida Pinto**

Engenheira Agrônoma, Dr., Pesquisadora Autônoma

<https://orcid.org/0000-0002-2311-3126> • joyce.agro@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Software, Visualização de dados (tabela), Escrita – revisão e edição

### **4 – João Gabriel Missia da Silva**

Engenheiro Industrial Madeireiro, Dr., Pesquisador

<https://orcid.org/0000-0002-3714-2745> • j.gabrielmissia@hotmail.com

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Curadoria de dados, Software, Visualização de dados (gráfico), Validação, Escrita – revisão e edição

### **5 – Márcia Fernanda Carneiro**

Engenheira Florestal, Ma., Pesquisadora Autônoma

<https://orcid.org/0000-0002-9076-5677> • marciaengflorestal@hotmail.com

Contribuição: Metodologia, Investigação, Escrita – primeira redação

### **6 – Ana Carla Bezerra de Lima**

Bacharel em Biologia, Ma., Pesquisadora Autônoma

<https://orcid.org/0000-0003-4711-047X> • anacarla\_blima@hotmail.com

Contribuição: Visualização de dados (tabela), Escrita – revisão e edição

### **7 – Renato Ribeiro Passos**

Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7730-748X> • renatoribeiropassos@hotmail.com

Contribuição: Análise Formal, Escrita – revisão e edição

## **Como citar este artigo**

Souza, C. O.; Arantes, M. D. C.; Pinto, J. A.; Silva, J. G. M.; Carneiro, M. F.; Lima, A. C. B.; Passos, R. R. Qualidade dos resíduos madeireiros de mogno-africano e eucalipto para briquetagem. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 637-652, 2022. DOI 10.5902/1980509843299. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509843299>.