



Análise comparativa entre duas formas de estocagem de cavacos de eucalipto e sua influência sob o potencial energético

Beatriz Zerbinato Balista^{1,1}
Isabela Lima Silva^{2,1}
Natalia Lais Felizardo Vieira Arruda^{3,1}
Emanuel Rangel Spadim^{4,1}
Humberto de Jesus Eufrade Junior^{5,1}
Saulo Philipe Sebastião Guerra^{6,1}

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

¹beatriz.zerbinato@unesp.br; ²isabela-lima.silva@unesp.br; ³n.arruda@unesp.br; ⁴emanuel.spadim@unesp.br; ⁵h.eufrade@unesp.br; ⁶saulo.guerra@unesp.br

RESUMO: São inúmeras as possibilidades de produzir energia com produtos florestais e seus subprodutos, tais como lenha, carvão vegetal, cavacos, pellets, briquetes, resíduos industriais de madeira e da colheita das plantações florestais. Assim, o setor florestal busca otimizar o uso da biomassa de eucalipto, utilizando cavacos. Logo, o objetivo deste trabalho foi qualificar a biomassa de cavacos produzida em plantações florestais de *Eucalyptus spp.*, estocada em pilhas de cavacos em pátio aberto e coberto, comparando os métodos de armazenamento e sua influência sob o potencial energético. O experimento apresenta dois tratamentos, conforme as duas formas de armazenamento das pilhas. A biomassa dos cavacos foi coletada e levada para laboratório para caracterização das propriedades físicas, químicas e energéticas. Foi realizada a determinação da umidade base seca do material, bem como teor de cinzas, materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior. Conclui-se, que o cavaco cuja forma de armazenamento foi feita em pilhas em pátio coberto apresentou melhor desempenho energético, já que resultou em média mais elevada na análise do poder calorífico superior. Ainda, o teor de cinzas resultou em valor médio muito baixo, comprovando que esta forma de armazenamento é a mais indicada para a conversão da biomassa florestal em energia.

Palavras-chave: energia renovável, biomassa, energia de biomassa, poder calorífico superior, teor de cinzas

Introdução

A matriz energética brasileira é composta por fontes diversificadas, como o petróleo, biomassa, gás natural, água (hidráulica), carvão vegetal, entre outras. De acordo com BEN (2022) as fontes renováveis representam 44,7% da matriz energética, contra 55,3% das não renováveis, sendo a biomassa florestal uma fonte renovável de energia muito utilizada. A utilização desta biomassa tem sua importância desde antes do século 20, quando a madeira era a principal fonte de energia para a humanidade, sendo substituída somente quando o petróleo se tornou acessível devido sua ampla extração (Brito, 2007).



São inúmeras as possibilidades de se produzir energia com produtos florestais e seus subprodutos (Couto & Muller, 2013). O setor florestal explora diferentes possibilidades de uso da biomassa do eucalipto, como os cavacos. Tal método baseia-se na utilização de pequenos pedaços de madeira oriundos de processo de picagem (Eufrade-Junior, 2019), que são classificados em *wood chips* (menor granulometria) ou *hog fuels* (cavacos de dimensões irregulares ou maiores) (Savoie et al., 2014; Eufrade-Junior, 2019).

Através do conhecimento das características físicas, químicas e energéticas dos cavacos de madeira é possível reduzir em até 50% os custos de produção de vapor e energia quando comparado a combustíveis fósseis (Valverde et al., 2012). Ainda, as diferentes formas de armazenamento e secagem do material influenciam diretamente sob o processo de geração de energia. A umidade é um desses exemplos, pois segundo Neiva et al. (2018), quanto maior o teor de umidade presente no material, menor será o poder calorífico superior. Ademais, quanto maior o teor de cinzas, maior a perda de energia devido a necessidade de remoção.

Assim, o objetivo deste trabalho foi qualificar a biomassa de cavacos produzida em plantações florestais de *Eucalyptus* spp., armazenada em pilhas em pátio aberto e coberto, comparando os diferentes métodos de estocagem e sua influência sob o potencial energético.

Material e métodos

Coleta do material e delineamento experimental

O experimento apresenta dois tratamentos, conforme as duas formas de armazenamento das pilhas. Os cavacos utilizados para amostragem foram processados em picador, atingindo granulometrias variadas. Após o processo de picagem foram armazenados em pilhas em pátio coberto e em pátio aberto, ambas foram formadas com 80 m³ (situação de escala comercial) (Figura 1).

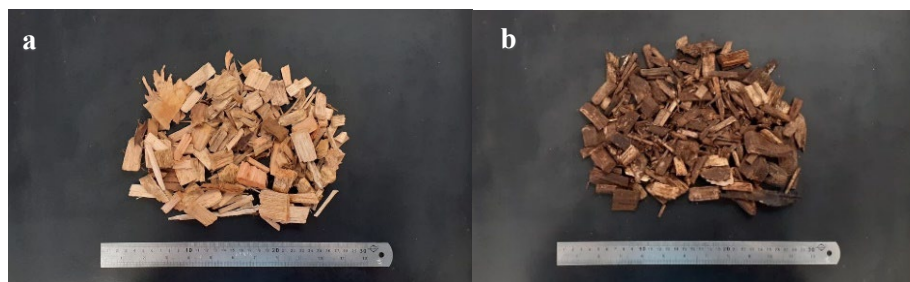
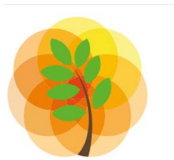


Figura 1. a - Cavaco armazenado em pilhas em pátio coberto; b – Cavaco armazenado em pilhas em pátio aberto.

A coleta das amostras foi realizada seguindo a metodologia adotada por Eufrade-Junior (2019), no qual foram coletadas três amostras compostas de cada pilha em diferentes pontos divididos



igualmente pela altura da pilha – topo, médio e base, bem como para cada região interna da pilha – superfície, intermediária e centro, totalizando 9 diferentes pontos de amostragem. Em seguida, o material foi levado para laboratório para as análises físicas, químicas e energéticas. Foram realizadas três repetições para cada tratamento.

Caracterização das propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa

As análises de qualidade da biomassa dos cavacos para energia foram realizadas através de determinação da umidade base seca do material, determinação das propriedades químicas imediatas e poder calorífico superior. As determinações foram realizadas no Laboratório Agroflorestral de Biomassa e Bioenergia (LABB/IPBEN), FCA/UNESP, Botucatu-SP. As normas técnicas dos ensaios laboratoriais estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Normas técnicas utilizadas para determinação da qualidade energética dos cavacos.

Propriedade	Sigla	Normas
Umidade base seca	UBS	ASTM E871-82 (2006)
Poder calorífico superior	PCS	NBR 8633 (ABNT, 1984)
Carbono fixo	CF	ASTM E870-82 (2006)
Materiais voláteis	MV	ASTM E872-82 (2006)
Cinzas	CZ	ASTM D1102-84 (2007)

Análise estatística

Foram realizados o teste de Bartlett, para verificar a homogeneidade de variância, bem como o de normalidade, através do teste de Shapiro-Wilk, ambos a 5% de significância.

Resultados e discussão

De acordo com os resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, foram obtidos valores normais para o teor de umidade, cinzas, carbono fixo, materiais voláteis e poder calorífico superior. Além disso, através do teste de homogeneidade de variâncias, segundo o teste de Bartlett, todos os resíduos podem ser considerados homocedásticos, ou seja, diante dos resultados, pode-se dizer que o modelo apresenta bom ajuste ao conjunto de dados. Entretanto, as médias obtidas para materiais voláteis nos diferentes tratamentos, não podem ser consideradas distintas, segundo o teste F. Ainda,



observamos diferenças significativas quanto ao teor de umidade e cinzas em relação ao tipo de pátio (aberto ou coberto), devido a uma variabilidade nos dados relativamente baixa ($CV < 10\%$).

Os teores de UBS da biomassa variaram de 14,92% a 87,77% e considerando que os valores ideais desta para o uso da madeira como fonte energética devem variar até 30% é possível concluir que o tratamento em PC, apresenta resultados superiores, assim como constatado por Eufrade-Junior (2019), no qual, o autor reportou que as melhores condições de secagem dos cavacos acontecem em ambientes cobertos (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios das propriedades físico-químicas dos cavacos de *Eucalyptus* spp. nas diferentes formas de armazenamento.

Biomassa	UBS %	CZ %	MV %	CF %	PCS kcal kg ⁻¹
PA	87,77 (5,66)	14,09 (0,23)	78,47 (5,18)	7,44 (5,20)	4169,63 (45,67)
PC	14,92 (2,37)	1,40 (0,21)	81,06 (2,33)	17,54 (2,31)	4419,42 (38,70)

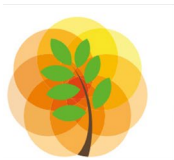
Em que: PA – pátio aberto; PC – pátio coberto; UBS - umidade base seca (%); CZ - teor de cinzas (%); MV - teor de materiais voláteis (%); CF - carbono fixo (%); PCS - poder calorífico superior. Valores obtidos pela média de três amostras. Desvio padrão em parênteses.

Além disso, todas as propriedades apresentam diferença significativa entre as médias. Entretanto, o teor de cinzas merece destaque, já que os resultados obtidos variaram de 1,40% a 14,09%, o que permite interpretar que o tratamento em PA resultou média mais alta em comparação ao PC. Na prática, isso acontece pois quando a estocagem é realizada em pátio aberto, há possibilidade de contaminação do solo durante as operações de revolvimento da pilha ou da coleta dos cavacos, resultando em maior teor de resíduos, influenciando negativamente o processo de geração de energia.

Vale ressaltar que o PCS é diretamente influenciado pela UBS uma vez que, o alto teor desta prejudica a eficiência do processo de combustão, pois quanto maior a umidade mais energia será necessária para evaporar a água do material. Além de que, quanto maior o teor de cinzas presente, maior será a necessidade de remoção dos resíduos e conseqüentemente maior a perda de calor, influenciando também no PCS.

Sendo assim, os valores resultantes de PCS, de ambos os tratamentos se encontram dentro do padrão recomendado para a utilização destes cavacos para energia, no entanto, devido os teores de umidade e cinzas terem influência direta sob a propriedade, é possível dizer que o tratamento em PC será uma melhor fonte de energia.

Os resultados demonstraram médias semelhantes entre o teor de MV de ambos os tratamentos, portanto, não sendo possível distinguir através desta propriedade qual o tratamento mais efetivo. Já o



carbono fixo resultou em valores superiores para o armazenamento em PC, já que é um atributo dependente do teor de CZ e MV, portanto, como o primeiro resultou em valores superiores para tal tratamento, conseqüentemente o CF, também apresentará. Tal interpretação é importante já que, a análise do carbono fixo e dos materiais voláteis permite entender a velocidade cujo o material irá atingir altas temperaturas (Spadim, 2020).

Conclusão

Conclui-se, que o cavaco cuja forma de armazenamento foi feita em pilhas em pátio coberto apresentou melhor desempenho, já que resultou em média mais elevada na análise do poder calorífico superior. Ainda, o teor de cinzas referente a este tratamento resultou um valor médio muito baixo, comprovando que esta forma de armazenamento se destaca em comparação a outra estudada. Portanto, fica evidenciado a potencialidade de aproveitamento desta biomassa para fins energéticos.

Referências bibliográficas

- BARTLETT, M. S. Properties of Sufficiency and Statistical Tests. In: 160. ed. Berks. p. 268–282. 1937.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2022: Relatório Síntese, ano base 2021. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: EPE, 2022. 67p.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. Estudos Avançados, Piracicaba, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.
- COUTO, L. & MÜLLER, M. D. Produção de florestas energéticas. In: Santos, F. (Org). Bioenergia e Biorrefinaria: cana-de-açúcar e espécies florestais. Viçosa, MG, 2013. p. 298-319.
- EUFRADE-JUNIOR, H. J. Predição e controle da umidade da madeira para otimização da cadeia produtiva de energia de eucalipto. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, p. 109. 2019.
- NEIVA, P.; FURTADO, D.; FINZER, J. Capacidade térmica e poder calorífico de biomassa eucalipto. In: Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais, 2, 2018.
- SAVOIE, P.; AUDY-DUBÉ, M.A.; THIBODEAU, F.; MORISSETTE, R. Mechanical Sieving and Image Analysis to Determine Length and Shape of Processed Woody Particles. ASABE Paper N.141898507. St. Joseph, Mich.: ASABE, 2014, 7p.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, 1965.
- SPADIM, E. R. Desenvolvimento de dispositivo automático para determinação do índice de combustão de briquetes. Tese (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, p. 69. 2020.
- VALVERDE, S.R.; MAFRA, J.W.A.; MIRANDA, M. A., SOUZA, C.S.; Vasconcelos, D. C. Silvicultura brasileira - oportunidades e desafios da economia verde, 2012.

