

Otimização dos recursos energéticos por meio do acompanhamento e controle da secagem da lenha

Energy resources improvement through the management of the dryer wood

Josimara Santos Cardoso Bacharel em Engenharia de Produção, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Brasil - josimara_cardoso@yahoo.com.br
Jorge André Ribas Moraes Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Brasil – jorge@unisc.br
André Luiz Emmel Silva Mestrado em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Brasil – andresilva@unisc.br

RESUMO

Considerando que a secagem é uma das principais etapas da lenha quando esta é utilizada para a geração de vapor, este trabalho apresenta uma análise do comportamento da secagem de lenha ao longo de um ano utilizada para alimentar caldeiras de uma empresa localizada no sul do Brasil. O escopo do estudo é o tipo de *eucalyptus dunnii*, porém se fez um comparativo com o tipo *saligna* para que fosse possível calcular os ganhos energéticos entre estas duas espécies em relação ao tempo de secagem, assim como um comparativo entre o poder calorífico de ambas as espécies. O trabalho também apresenta uma relação entre pilhas de lenha cobertas com lona e pilhas não cobertas, assim como seus resultados de custo/benefício. Foi possível constatar que a melhor época do ano para realização do corte da lenha, para a região em estudo, é até o final do mês de setembro, pois assim as pilhas terão, no mínimo, cinco meses de exposição aos meses de verão. Constatou-se também que pilhas cobertas conseguem reduzir a umidade para até 20%, e têm seu custo/benefício viável.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*. Secagem da madeira. Análise econômica.

ABSTRACT

Considering that drying is one of the main stages of wood used for the generation of steam, this paper presents an analysis of the drying process of wood used to feed boilers of a company located in the south of Brazil, over the period of one year. The scope of the present study is dunnii eucalyptus type. However a comparison with the saligna type was made in order to calculate the energetic gains between these two species in relation to their drying. And a comparison between the power generated by both species was made. The paper also presents a relationship between covered piles of firewood and uncovered piles, as well as their cost/benefit results. It was possible to verify that the best time of the year for the firewood cutting in the region under study is until the end of September, so the piles will have at least five months of exposure during the summer months. It has also been found that covered piles can reduce humidity up to 20%, and have a viable cost/benefit.

Keywords: *Eucalyptus dunnii*. Wood drying. Economic analysis.

Recebido em 03/06/2019. Aprovado em 07/07/2019. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.
<http://dx.doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-11.994>

1 INTRODUÇÃO

A energia tem sido tratada como um bem de natureza estratégica, e não por acaso a segurança energética tornou-se um dos temas mais relevantes da agenda mundial (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). A preocupação com o aquecimento global, a diminuição das reservas de petróleo facilmente exploráveis e o aumento do uso do petróleo em muitos países aumentam o interesse em biocombustíveis (HÄMÄLÄINEN; NÄYHÄ; PESONEN, 2011). Reconhecida como fonte alternativa útil, o uso da biomassa gera menos poluição ambiental e menos riscos para a saúde do que a queima de combustíveis fósseis (KUMAR *et al.*, 2011; ROUSSET *et al.*, 2011). A aplicação em larga escala da biomassa em combinação com o aumento da sua eficiência energética é considerada como um caminho promissor para mitigar as emissões em breve (KEIPI *et al.*, 2014; WENNERSTEN; SUN; LI, 2015). As plantações florestais cultivadas em curta rotação estão se tornando atrativas comercialmente para o uso como a energia, produções de materiais de construção e outros fins em muitos países (PURSE; RICHARDSON, 2001).

O *eucalyptus* pode ser considerado um bom referencial para o comportamento da biomassa devido a sua grande disponibilidade e utilização generalizada (POHLMANN *et al.*, 2016). São consideradas as árvores de madeira mais plantadas em todo o mundo (CABRAL *et al.*, 2011), em uma estimativa de 20 milhões de hectares (NICHOLS *et al.*, 2010), sendo o Brasil um dos países com maiores extensões plantadas (SALGADO; MAGALHÃES JÚNIOR, 2006). Seu grande atrativo deve-se à diversidade de espécies, ampla adaptabilidade aos solos e climas, taxas de crescimento rápido, amplo conhecimento e tecnologia para o seu cultivo, além dos seus múltiplos usos (matérias-primas, madeira para energia, madeira, papel e celulose) (BRONDANI *et al.*, 2012; SILVA; BOUILLET; PAULA, 2016; BRUDER; REZENDE; COSTA, 2016; CHICHORRO *et al.*, 2017).

O *eucalyptus dunnii* foi introduzido no Brasil na década de 60 a partir de experimentos das empresas de papel e celulose (SEVERO *et al.*, 2013). A espécie *eucalyptus dunnii* é tolerante a geadas e baixas temperaturas (JOVANOVIC; ARNOLD; BOOTH, 2000), sendo amplamente plantada na região Sul do Brasil (ROCHA; TRUGILHO, 2006). Em 2012, estima-se que o Brasil produziu 52,2 milhões de m³ de lenha a partir de florestas plantadas, sendo que as Regiões Sul e Sudeste representaram 92,5% deste total (ABRAF, 2013).

A umidade da madeira está diretamente relacionada ao seu poder calorífico (LESTANDER; RHÉN, 2005; MUNALULA; MEINCKEN, 2009), sendo que quanto mais seca a madeira estiver quando alimentada as caldeiras, maior será o seu rendimento energético. Conforme Pereira *et al.* (2000) a queima da madeira úmida proporciona menos energia devido ao consumo no aquecimento e vaporização da água. Para que ocorra uma boa combustão, a madeira deve ser utilizada com teores de umidade abaixo de 25%. Teores superiores a 25%, além de diminuir a quantidade de calorías, reduzem as temperaturas da câmara de queima e dos gases de escape. Adicionalmente, promovem a formação de crostas de fuligem nas chaminés e interior da câmara de combustão. De forma, conforme menciona Pereira *et al.* (2016), o desafio está em utilizar-se de técnicas e tratamentos capazes de tornar a madeira um combustível mais eficiente e competitivo.

Este trabalho apresenta uma análise do combustível utilizado para a geração de vapor em caldeiras de uma usina de beneficiamento de tabaco, neste caso o *eucalyptus dunnii*. Avaliou-se a época de corte da espécie selecionada, tempo de secagem, disposição das pilhas, umidade de alimentação nas caldeiras e o poder calorífico da biomassa. Também se fez alguns comparativos no caso de se utilizar uma segunda espécie de *eucalyptus*, o *saligna*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste artigo teve como base os passos de um estudo de caso proposto por Miguel (2010) e Yin (2015): (i) Definição de uma estrutura conceitual teórica; (ii) Planejamento do caso, com a definição dos procedimentos utilizados para a coletas das amostras, local, quantidade, frequência e identificação das possíveis variáveis envolvidas no estudo; (iii) Condução de um teste piloto; (iv) Coleta de dados; (v) Análise de dados; e (vi) Geração de relatório. O estudo foi realizado no período de agosto a julho do ano seguinte, na localidade de Pântano Grande, região central do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil (Latitude: 30° 11' 29" S e Longitude: 52° 22' 25" W).

2.1 Seleção das amostras e formação das pilhas

As coletas de amostras ocorreram desde o corte inicial da árvore (amostra ainda verde), e acompanhadas a cada trinta dias, podendo a data variar uma semana para mais ou para menos, pois dependendo das condições climáticas torna-se impossível de se coletar. As amostras possuem as seguintes dimensões: diâmetro entre 120 a 150 mm e comprimento de 1 metro. As pilhas foram dispostas e monitoradas no próprio local do corte, sendo acrescido de uma nova pilha de lenha a cada mês durante o período do estudo. O plano de coletas das amostras e o planejamento para a formação das pilhas está representado na tabela 1.

Tabela 1 – Plano de coletas das amostras e planejamento para a formação das pilhas

		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
<i>Dunnii</i> sem cobertura	Superior	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
	Central		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
	Inferior		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
<i>Dunnii</i> com cobertura	Superior										3	3	3
	Central										3	3	3
	Inferior										3	3	3
<i>Saligna</i>	Superior						1	3	3	3	3	3	3
	Central							3	3	3	3	3	3
	Inferior							3	3	3	3	3	3
Total		1	9	18	27	36	46	63	72	81	99	108	117

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

As pilhas foram construídas seguindo o padrão de 2 metros de altura e 10 metros de comprimento, procedimento este já adotado pela empresa, simulando assim as reais condições de armazenamento. Seu posicionamento seguiu os procedimentos recomendados por HilleBrand *et al.* (1999) citados por Brand (2007), de forma que o comprimento dos toretes fiquem no sentido Leste-Oeste, para que haja uma maior radiação solar sobre a superfície das mesmas. Para que seja possível se ter uma amostra homogênea se faz necessário retirar toretes da parte superior, central e inferior da pilha (figura 1).

Figura 1 – Divisões da pilha e retirada da amostra

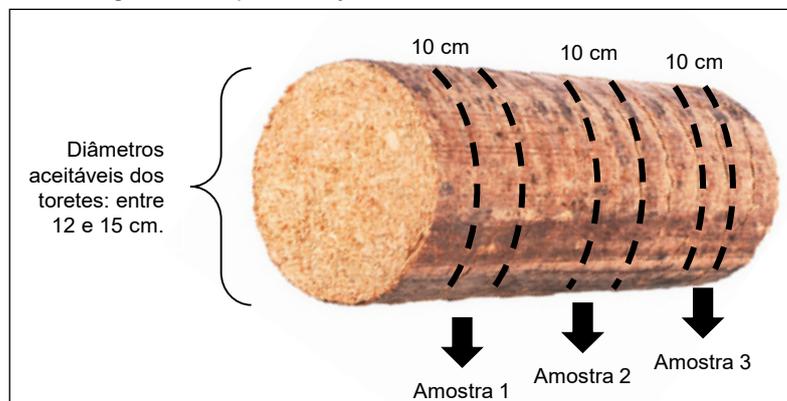


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Desses toretes foram retiradas 3 amostras de 10 cm (figura 2), representando uma amostra central e duas laterais, pois as amostras das extremidades, por estarem recebendo maior ventilação e radiação, podem apresentar um grau de umidade menor que o centro e podem então colaborar para uma mais rápida secagem

da pilha. A altura de 10 cm foi definida em função da capacidade dos fornos do controle de qualidade da empresa serem compostos de 6 bandejas de 30 cm de comprimento e 25 cm de largura, e em função da quantidade de lenha que é transportada até o forno, pois em caso de amostras maiores o transporte poderia dificultar a realização do estudo.

Figura 2 – Representação dos cortes realizados no torete



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Das amostras 1, 2 e 3 de cada torete selecionado foram retiradas uma amostra menor, chamada de amostra final (figura 3), e acondicionada em saco plástico e em caixa fechada capazes de impedir influências externas de umidade, roedores e degradação, até a realização dos testes.

Figura 3 – Representação do corte feito posteriormente nas amostras 1, 2 e 3



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

2.2 Determinação do poder calorífico e umidade

O poder calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa ou gases liberada na queima de determinado combustível (INTERNATIONAL ENERGY ASSOCIATION, 2005; PATEL *et al.*, 2007; LLORENTE; GARCIA, 2008), está diretamente relacionado ao teor de umidade da madeira (LESTANDER; RHÉN, 2005; MUNALULA; MEINCKEN, 2009) e é considerado um importante indicador da qualidade da lenha (MONTES *et al.*, 2011). Para determinação do poder calorífico utilizou-se a fórmula da equação 1, onde U = umidade da madeira calculada com base no peso úmido; Pu = poder calorífico inferior na umidade U %; e P0 = poder calorífico inferior da madeira seca.

$$Pu = P0 \left(\frac{100U}{100} \right) - 6U \quad (1)$$

O procedimento para a determinação da umidade consistiu na pesagem inicial das amostras, aquecimento a 180 °C em forno por um período de 16 horas, e após nova pesagem. A metodologia utilizada baseou-se em Brand (2007), o qual relata que o teor de umidade pode ser determinado pela pesagem inicial da amostra em comparação com a pesagem final, após disposição na estufa, representado pela equação 2, onde HS = teor de umidade na base úmida (%); Pt = massa da amostra úmida (g), na condição de queima; e Ps = massa da amostra seca (g), estado da biomassa seca em estufa.

$$HS = \frac{(Pt - Ps)}{Pt} \quad (2)$$

Fez-se necessário a elaboração de uma pilha de lenha tipo *saligna* e comparada com o *eucalyptus* tipo *dunnii*, de mesmo período de corte. O motivo pelo qual se escolheu o tipo *saligna* surgiu em função e determinação da estratégia da empresa em encontrar uma espécie de *eucalyptus* que apresente uma maior produtividade em seu plantio, ou seja, um maior crescimento em menor tempo, com isso, o *eucalyptus dunnii* poderá ser substituído nos próximos anos pelo *saligna*.

Outra prática adotada foi a cobertura de uma das pilhas quando ela atingisse a umidade de 25%, para que seja possível determinar o ganho energético. Esta umidade poderá ser identificada a partir das coletas mensais, ou seja, quando se identificar que determinada amostra se encontra com esta umidade a mesma será coberta e servirá de modelo comparativo. O monitoramento das condições meteorológicas fez-se por coletas internas e consultas à base de dados da Somar Meteorologia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Coleta de dados meteorológicos

Em paralelo as coletas se monitoraram também os índices pluviométricos, as máximas e mínimas da temperatura, e o tempo mensal de insolação, pois só assim seria possível de se avaliar algum valor de umidade acima ou abaixo do esperado (tabela 2).

Tabela 2 – Dados meteorológicos do período

	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Dados												
pluviométricos (mm)	229,5	126,0	208,0	327,5	65,0	112,0	208,0	181,5	119,5	137,5	241,0	142,0
Temperatura mínima (°C)	8,71	12,24	14,41	17,04	18,92	20,88	20,81	18,35	17,70	15,90	10,17	11,90
Temperatura máxima (°C)	18,05	23,16	25,30	28,83	32,80	33,09	32,94	27,80	27,00	24,80	18,56	20,13
Insolação (horas)	132,5	143,3	182,2	229,2	291,4	226,3	206,3	215,5	165,3	204,4	113,8	79,8

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

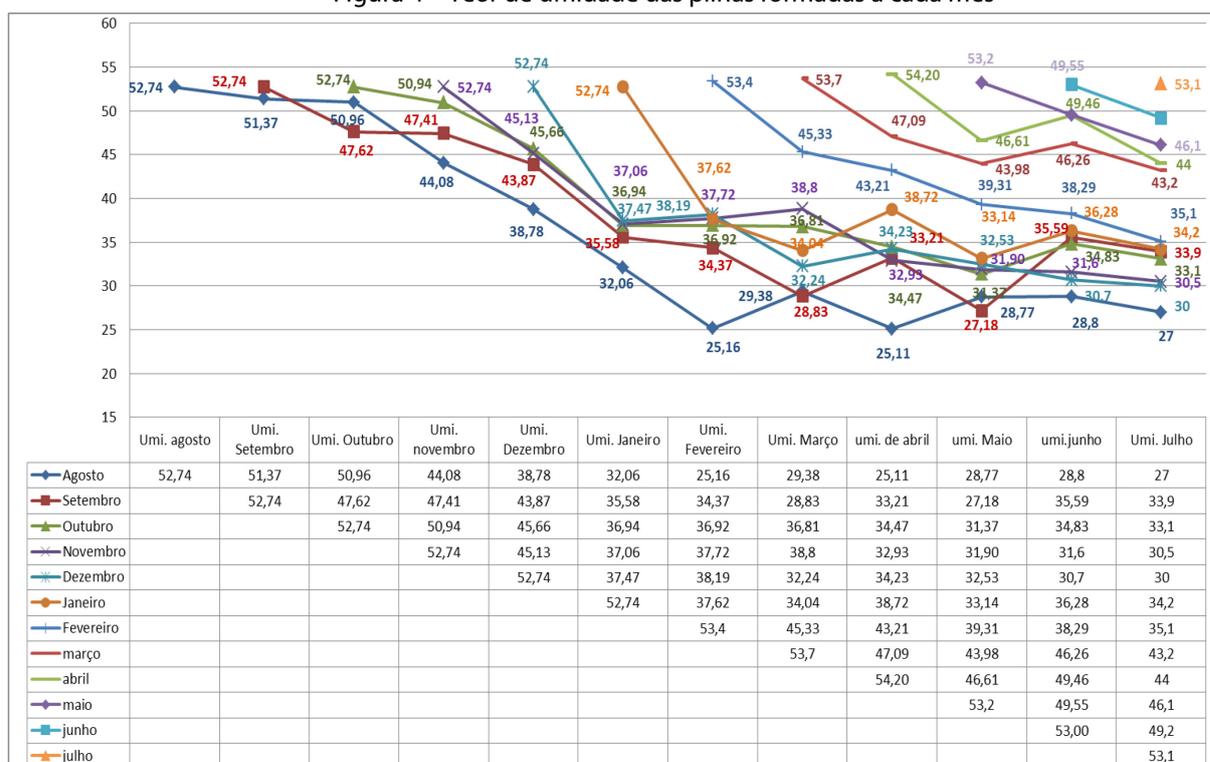
Para garantir uma maior confiabilidade dos dados obtidos, fez-se uma comparação com os dados meteorológicos divulgados pela estação meteorológica Somar Meteorologia, inclusive de anos anteriores. Pode se considerar que o período do estudo não apresentou valores que de alguma forma pudessem prejudicar os dados obtidos e sim o contrário. Alguns meses apresentaram chuvas acima da média, sendo assim os resultados serão concluídos em um pior cenário o que pode melhorar o desempenho em períodos

mais secos. Quanto às temperaturas, as mínimas e máximas também não apresentam muitas variações em relação médias históricas, o mesmo se repete para o tempo mensal de insolação.

3.2 Secagem das pilhas

Na figura 4 é possível observar que as pilhas nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) obtiveram uma alta perda de umidade em um curto período de tempo, porém para se obter a lenha com umidade média de 30% no período de safra que tem início em fevereiro, se deve ter no mínimo cinco meses de secagem até sua alimentação na caldeira.

Figura 4 – Teor de umidade das pilhas formadas a cada mês

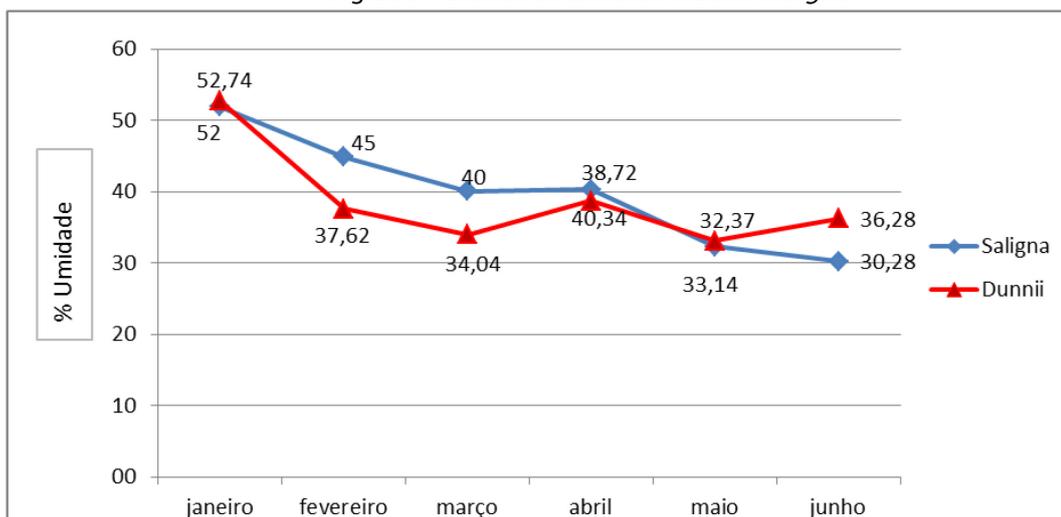


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

3.3 Eucalyptus dunnii x Eucalyptus saligna

Para o estudo das propriedades energéticas e características de secagem dos *eucalyptus dunnii* e *saligna*, utilizou-se uma pilha de cada, cortada no mês de janeiro. Os resultados (figura 5) mostram que a lenha do tipo *dunnii* tende a apresentar características higroscópicas, ou seja, absorve umidade do ambiente onde está exposta. Já o tipo *saligna* teve sua secagem de forma mais lenta, porém sem apresentar altas no teor de umidade ao longo da pesquisa.

Figura 5 – Índices de umidade *dunnii*X *saligna*



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Para análise das propriedades energéticas, pegou uma amostra aleatória, no mês de abril/14. O *eucalyptus dunnii* apontou 36,81% de umidade, poder calorífico superior de 2.925 kcal/kg, e inferior de 2.520 kcal/kg. O *eucalyptus saligna* apresentou valores semelhantes, com índice de umidade de 39,98%, poder calorífico superior de 2.805 kcal/kg, e inferior de 2.390 kcal/kg.

3.4 Cobertura das pilhas

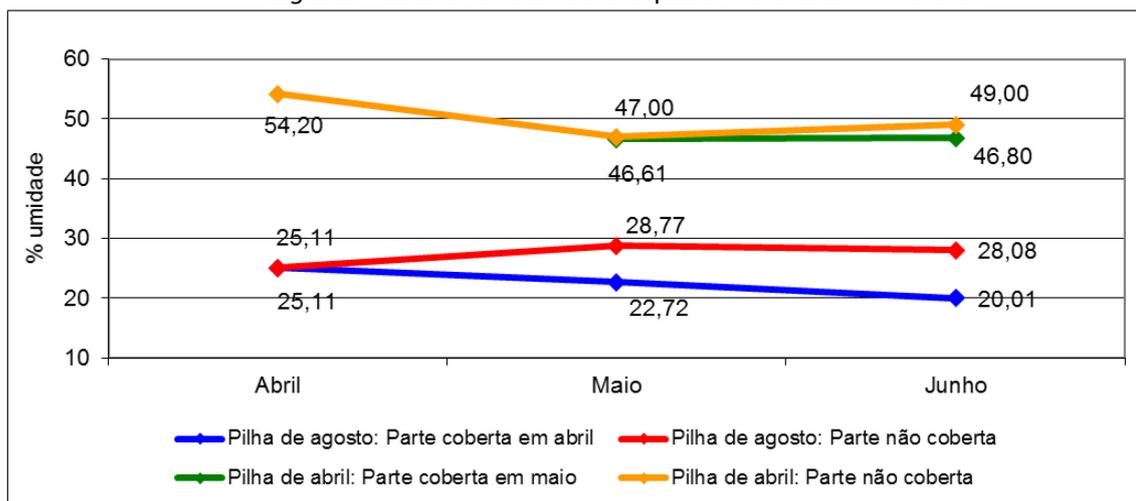
Para investigar os possíveis ganhos que poderão ser obtidos ao se realizar a cobertura das pilhas das lenhas antes dos meses chuvosos e antes de iniciar o inverno, as coberturas das pilhas foram feitas em duas etapas: quando a lenha já estava quase seca; e quando ela estava ainda com umidade alta. Assim, metade da pilha com corte em agosto foi coberta em abril, com umidade média de 25%. Outra pilha, não tão seca, cortada em abril foi coberta em maio, com umidade de 46%. Para cobertura, utilizou-se uma lona de polietileno de 200 micras e na cor branca (figura 6). Ambas as partes, cobertas e descobertas, foram analisadas até o término da pesquisa, obtendo-se resultados distintos, expostos na figura 7.

Figura 6 – Pilha de agosto coberta em abril



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 7 – Índices de umidade nas pilhas cobertas x descobertas



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

3.5 Análise econômica

Foi realizada uma comparação entre as umidades de 42% (média histórica de umidade apresentada pela lenha em anos anteriores) e 30% (índice estipulado pela empresa como meta) e possível de se obter no início da safra (fevereiro) desde que a lenha seja cortada até final de setembro.

Considerando os dados fornecidos pela empresa: poder calorífico de 2.380 kcal/kg para o teor de umidade de 42%; total de lenha gasto de 25.857 m³, com valor de US\$ 21,24/m³; e densidade média de 510 kg/m³, onde se multiplicarmos o total de lenha em m³ x densidade kg/m³ x poder calorífico kcal/kg se obtém 31.385.226.600 kcal os quais foram geradas para suprir a demanda do período.

Fazendo uma simulação com umidades entre 35% e 20%, tomando como base a quantidade de calor obtidas no ano anterior (31.385.226.600 kcal), divide-se esse valor pelo poder calorífico correspondente e sua densidade, encontra-se a quantidade de lenha necessária. Fazendo uma multiplicação da lenha necessária pelo valor base que é US\$ 21,24/m³ se chega ao valor que a empresa deverá desembolsar para cada caso, dependendo do controle de umidade das lenhas que são cortadas e armazenadas. A tabela 3 apresenta as simulações dos valores que a empresa deverá desembolsar dependendo do teor de umidade da pilha de lenhas formada.

Tabela 3 – Simulações com diferentes índices de umidade

Safra parâmetro	42%	Simulações			
		35%	30%	25%	20%
Umidade	42%	35%	30%	25%	20%
Densidade kg/m ³	510	491	477	464	450
Poder Calorífico kcal/kg	2.380	2.673	2.881	3.090	3.298
Total de Lenha (m ³)	25.857	23.922	22.824	21.910	21.147
Valor m ³ (US\$)	21,24	21,24	21,24	21,24	21,24
Total Gasto (US\$)	549.202,68	508.103,28	484.781,76	465.368,40	449.162,28
Diferença (m ³)		1.935	3.033	3.947	4.710
Diferença (US\$)		41.099,40	64.420,92	83.834,28	100.040,40
Diferença (%)		7,48%	11,73%	15,26%	18,22%

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Como os índices de umidade de 25% e 20% somente são possíveis com as coberturas das pilhas de lenha, fez-se uma análise de custo/benefício em caso de cobrimento das pilhas (tabela 4). Os rolos de lona utilizados têm 8 metros de largura x 100 metros de comprimento, e um custo de R\$ 1.472,00. Considerando a altura da pilha de dois metros e realizando a cobertura das pilhas apenas na parte superior por completo e parcial na lateral, consegue-se dividir o rolo em 3 partes. Assim, um rolo será suficiente para cobertura de 300 metros lineares de pilha, equivalente a 600 m³, resultando em um custo de R\$ 2,46/m³ de pilha coberta.

Tabela 4 – Análise para cobertura das pilhas

	25%	20%
Tamanho do rolo de lona	8m x 100m	8m x 100m
Custo do rolo de lona (UU\$)	651,47	651,47
Rendimento de um rolo de lona (m ³)	600	600
Custo do m ³ para cobertura (UU\$)	1,09	1,09
Estoque necessário para produção (m ³)	21.910,00	21.147,00
Total Gasto em lonas (UU\$)	23.881,90	23.050,23
Diferença comparada a umidade 30% (UU\$)	19.413,36	35.619,48
Resultado (UU\$)	-4.468,54	12.569,25

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O custo do metro da pilha coberta, se multiplicado pelo estoque necessário para a produção durante a safra (21.147 m³ para 20% de umidade), resulta em um desembolso de R\$ 52.021,62 em lona, não contando a manutenção e estoque para eventuais reposições. Assim, ao utilizar uma lenha com 20% de umidade, quando comparada com 30% de umidade, gera uma economia de R\$ 80.496,00. Comparando esse valor com o gasto de R\$ 52.021,62 necessário para cobrir a pilha, percebe-se que é viável economicamente a cobertura das pilhas. Contudo, a pilha coberta e índice de 25% de umidade, torna-se inviável fazendo a mesma comparação.

4 CONCLUSÃO

Com o presente estudo concluiu-se que o melhor período para realizar o corte de *eucalyptus* objetivando o máximo rendimento da lenha, quando utilizada para a queima em caldeiras, é até o final do mês de setembro, pois assim as pilhas terão, no mínimo, cinco meses de exposição aos meses de verão. Comprovou-se que este é o período de maior perda no teor de umidade, atingindo índices de 30% de umidade, com economia financeira de 11,73% devido a redução em 3.033 m³ de lenha utilizada para suprir a demanda. Já com a cobertura das pilhas, antes dos meses chuvosos e antes de iniciar o inverno, consegue-se reduzir a umidade para até 20%. Ao analisar custo/benefício percebe-se que, mesmo gastando para cobrir as pilhas, ainda é vantajoso economicamente. Mas a comparação do custo da cobertura para pilhas com índice de umidade de 25% mostrou não ser viável financeiramente. Observou-se também que as características do poder calorífico dos *eucalyptus dunnii* e *saligna* não apresentam diferenças consideráveis, porém o tipo *dunnii* possui características de absorção de umidade maior que o tipo *saligna*, ou seja, uma vez perdida a umidade, o tipo *dunnii* pode recuperá-la com mais facilidade.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.
- BRONDANI, Gilvano Ebling *et al.* Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*. **Acta Scientiarum – Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 169-178, 2012.
- BRUDER, Edson Marcelo; REZENDE, Marcos Antonio; COSTA, Vladimir Eliodoro. Densidade de eucalyptus sp. próxima a umidade de equilíbrio estimado pelo método de imersão. **Energ. Agric.**, v. 31, n. 1, p. 38-47, 2016.
- BRAND, Martha Andreia. **Qualidade da biomassa Florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- CABRAL, Osvaldo M. R. *et al.* Fluxes of CO₂ above a plantation of eucalyptus in southeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 1, p. 49-59, 2011.
- CHICHORRO, Jose Franklim *et al.* Custos e índices econômicos de povoamentos de eucalipto do Programa Produtor Florestal no Espírito Santo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 447-456, 2017.
- HÄMÄLÄINEN, Sari; NÄYHÄ, Annukka; PESONEN, Hanna-Leena. Forest biorefineries – A business opportunity for the Finnish forest cluster. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 16, p. 1884-1891, 2011.
- INTERNATIONAL ENERGY ASSOCIATION. **Energy statistics manual**. [2005]. Paris: International Energy Association. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-statistics-manual.html>. Acesso em: 18 out. 2016.
- JOVANOVIC, Tom; ARNOLD, Roger; BOOTH, Tevor. Determining the climatic suitability of eucalyptus dunnii for plantations in Australia, China and Central and South America. **New Forests**, v. 19, n. 3, p. 215-226, 2000.
- KEIPI, Tiina *et al.* The effect of torrefaction on the chlorine content and heating value of eight woody biomass samples. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 232-239, 2014.
- KUMAR, Ritesh *et al.* Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of eucalyptus hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1339-1344, 2011.
- LESTANDER, Torbjörn A.; RHÉN, Christofer. Multivariate NIR spectroscopy models for moisture, ash and calorific content in biofuels using bi-orthogonal partial least squares regression. **Analyst**, v. 130, n. 8, p. 1182-1189, 2005.
- LLORENTE, M.J. Fernández; GARCIA, J. E. Carrasco. Suitability of thermochemical corrections for determining gross calorific value in biomass. **Thermochim Acta**, v. 468, n. 1-2, p. 101-107, 2008.
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MONTES, Carmen Sotelo *et al.* Calorific value of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* wood: Relationships with tree growth, wood density and rainfall gradients in the West African Sahel. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 346-353, 2011.
- MUNALULA, Francis; MEINCKEN, Martina. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 415-420, 2009.
- NICHOLS, J. Doland *et al.* Subtropical eucalypt plantations in eastern Australia. **Australian Forestry**, v. 73, p. 53-62, 2010.

PATEL, Shagufta U. *et al.* Estimation of gross calorific value of coals using artificial neural networks. **Fuel**, v. 86, n. 3, p. 334-344, 2007.

PEREIRA, José Carlos Duarte *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. [2000]. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc38.pdf>. Acesso em: 18 out. 2016.

PEREIRA, Matheus Perdigão de Castro Freitas *et al.* Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 36, n. 87, p. 269-275, 2016.

POHLMANN, Juliana G *et al.* Combustion of eucalyptus charcoals and coals of similar volatile yields aiming at blast furnace injection in a CO₂ mitigation environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 1-11, 2016.

PURSE, John G.; RICHARDSON, Keith F. Short rotation single stem tree crops for energy in the UK—an examination with Eucalyptus. **Aspects of Applied Biology**, v. 65, p. 1-8, 2001.

ROCHA, Márcio Pereira. TRUGILHO, Paulo Fernando. Qualidade de madeira serrada de eucalyptus dunnii em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 314-321, 2006.

ROUSSET, Patrick *et al.* LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 1647-1653, 2011.

SALGADO, André Augusto Rodrigues; MAGALHÃES JÚNIOR, Anatónio. Impactos da silvicultura de eucalipto no aumento das taxas de turbidez das águas fluviais: o caso de mananciais de abastecimento público de Caeté/MG. **Revista Geografias**, v. 2, n. 1, p. 47-57, 2006.

SEVERO, Elias Taylor Durgante *et al.* Effect of steam thermal treatment on the drying process of eucalyptus dunnii variables. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 637-645, 2013.

SILVA, Paulo Henrique Muller; BOUILLET, Jean-Pierre; PAULA, Rinaldo Cesar. Assessing the invasive potential of commercial Eucalyptus species in Brazil: Germination and early establishment. **Forest Ecology and Management**, v. 374, p. 129-135, 2016.

TOLMASQUIM, Maurício T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos - CEBRAP**, v. 79, p. 47-69, 2007.

WENNERSTEN, Ronald; SUN, Qie; LI, Hailong The future potential for carbon capture and storage in climate change mitigation e an overview from perspectives of technology, economy and risk. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 724-736, 2015.

YIN, Robert. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2015.