

QUALIDADE ENERGÉTICA DE CAVACOS DE *Pinus* spp. EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

DOUGLAS EDSON CARVALHO¹, RAMIRO FARIA FRANÇA², FELIPE SCHROEDER³, DIMAS AGOSTINHO DA SILVA⁴

¹Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba - PR, Brasil. douglasedsoncarvalho@gmail.com

²Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba - PR, Brasil. f.f.ramiro@gmail.com

³Engenheiro Florestal. Rua Joseph Strenzel, Vila Nova, CEP 89295-000, Rio Negrinho, SC, Brasil. schroeder.florestal@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba - PR, Brasil. dimas.agostinho.silva@gmail.com

RESUMO: O desempenho energético de biomassas de madeira é uma condição preponderante para sua aplicação em escala industrial. Conhecer as condições de armazenamento que aprimorem seu uso é necessário. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar os parâmetros energéticos do cavaco de madeira de *Pinus* spp.. A metodologia aplicada consistiu na utilização dos seguintes tratamentos: (T1) solo desnudo e sem cobertura; (T2) solo coberto e sem cobertura; (T3) solo coberto e com cobertura. Foram coletados dados climatológicos do local do experimento e avaliados os seguintes parâmetros do material: teor de umidade do cavaco (TU), análise química imediata (AQI), teor de carbono orgânico total (TCO) e poder calorífico útil (PCU). Ao final do experimento o menor valor de teor de umidade foi obtido para o T3 (10%). O armazenamento do material com cobertura foi determinante para este resultado. Foram constatadas reduções no teor de voláteis e aumento no teor de cinzas e no teor de carbono fixo para todos os tratamentos. A estocagem da biomassa isolada do solo e com cobertura (T3) é um procedimento para aprimorar as qualidades energéticas do cavaco atribuindo poder calorífico útil de 4.017 Kcal.kg⁻¹, adequado para o uso na geração de energia.

Palavras-chave: Teor de umidade, teor de carbono, poder calorífico, qualidade da biomassa.

Pinus spp. ENERGY QUALITY OF UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS

ABSTRACT: The energy performance of wood biomass is a major condition for its application on an industrial scale. Knowing the storage conditions that enhance its use is required. This study aimed to characterize the energetic parameters of *Pinus* spp. in different storage methods. The applied methodology consisted of using the following treatments: (T1) bare soil and without cover; (T2) covered and uncovered soil; (T3) Covered and covered ground. Climatological data were collected from the experiment site and the following material parameters were evaluated: chip moisture content, immediate chemical analysis (ICA), total organic carbon content and superior calorific useful (SCU). At the end of the experiment the lowest moisture content value was obtained for T3 (10%). The storage of the covered material was crucial for this result. Reductions in volatile content and increase in ash content and fixed carbon content were observed for all treatments after the time of the experiment. The storage of biomass isolated from the soil and with cover (T3) is a procedure to improve the energetic chip qualities, attributing a useful calorific power of 4.017 Kcal.kg⁻¹, suitable for use in power generation.

Keywords: Moisture content, carbon content, calorific value, biomass quality.

1 INTRODUÇÃO

A diversificação da matriz energética é um desafio mundial, com objetivo de reduzir o uso de combustíveis fósseis, a qual contribui negativamente para o desenvolvimento sustentável. A opção por fontes renováveis eficientes, como solar, eólica e biológica, cada vez mais vem se destacando no cenário internacional e no Brasil não é diferente. Programas de incentivo às fontes alternativas de energia demonstram a relevância do tema para o país, e a biomassa vem se consolidando como melhor opção, principalmente pelo potencial de geração de matéria-prima vegetal, agrícola e florestal.

No Brasil a oferta interna de energia primária tem como principais fontes os combustíveis não renováveis (56,8%), que incluem o petróleo e seus derivados, e dentre estes, o gás natural equivale a aproximadamente 49% do total. Quando se considera as fontes renováveis, a biomassa (cana de açúcar, lenha e carvão vegetal) representa 43,2%, correspondendo com quase 26% na repartição da oferta interna (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

Para favorecer o uso de material renovável, florestal e agrícola, o teor de umidade da biomassa é um parâmetro fundamental, e está associado à qualidade da matéria-prima para a utilização como fonte de energia. A presença de água no material proporciona redução do poder calorífico, pois parte do calor gerado é consumido para evaporação da umidade, sendo esta quantidade de energia não disponibilizada para o sistema (MOREIRA, LIMA & GOULART, 2012). Portanto, recomenda-se a redução da umidade do material antes da utilização como fonte de energia para garantir a eficiência econômica e energética do material utilizado.

A estocagem correta da biomassa contribui para melhores parâmetros qualitativos do material, necessitando uma correta secagem para ganhos significativos em energia (BRAND et al., 2014). Diferentes estudos abordam a qualidade e a eficácia de biomassas estocadas (GRAHAM et al., 2017; BRAND et al., 2016; ALAKOSKI et al.,

2016), enfatizando a atenção necessária quanto ao método adotado.

Os processos de armazenamento podem resultar em perda de qualidade do material, como teor de umidade elevado e poder calorífico baixo, devido às combinações inadequadas do local e ações do ambiente. Além disso, a interação da temperatura e umidade relativa, em condições ideais, intensificam o ataque de organismos biodeterioradores (CARVALHO et al., 2019), alterando as características energéticas da biomassa, através do consumo dos componentes químicos da matéria-prima. Assim, o armazenamento correto consiste em uma fase primordial na cadeia de suprimento de biomassas.

A análise das variáveis climatológicas, do teor de umidade, bem como as características do teor de cinzas, voláteis e carbono fixo apresentam relação direta com o balanço energético do material e o método de armazenamento do material. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo investigar a qualidade de cavaco de *Pinus* spp. em distintas formas de armazenamento usadas no setor de biomassa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi obtido em unidade fabril localizada na região sudoeste do Paraná. Foram processadas toras de *Pinus* spp. em picador industrial, resultando em aproximadamente 9 m³ de cavaco com casca. Posteriormente o material foi carregado e transportado até o local da estocagem.

Foram preparadas nove pilhas de cavacos divididas aleatoriamente no local de estudo, de acordo com os seguintes tratamentos:

- Tratamento 1 (T1): solo desnudo e sem cobertura do material;
- Tratamento 2 (T2): solo coberto e sem cobertura do material;
- Tratamento 3 (T3): solo coberto e cobertura do material com telha de fibrocimento de 6mm, conforme Figura 1.

Figura 1. Métodos de estocagem aplicados a campo em cavacos de *Pinus* spp.

Foram consideradas como testemunha amostras do material sem exposição ao solo e condições ambientais, armazenadas em sala climatizada à temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de umidade relativa.

Para obtenção dos dados climatológicos, temperatura, umidade relativa do ar e níveis pluviométricos no período do experimento foi utilizado o banco de dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (EMOSA) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) distante aproximadamente a 600 m do local de estocagem.

Os parâmetros avaliados relacionados à qualidade do material foram:

- Teor de umidade (conforme norma ASTM D4442-20 da *American Society for Testing and Materials* (2020));
- Análise química imediata (conforme norma ASTM E 870-82 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL, 2019): teor de cinzas, teor de materiais voláteis e teor de carbono fixo;
- Teor de carbono total obtido em analisador elementar de carbono e enxofre LECO *Corporation*, modelo SC-144DR;
- Poder calorífico útil (PCU).

A determinação do poder calorífico superior foi realizada em bomba calorimétrica e posteriormente, os valores foram transformados em poder calorífico inferior (Brito, 1993) utilizando-se um teor de hidrogênio no material fixo de 6%. Para

conversão dos valores em poder calorífico útil, utilizou-se a equação 1, segundo Brito (1993):

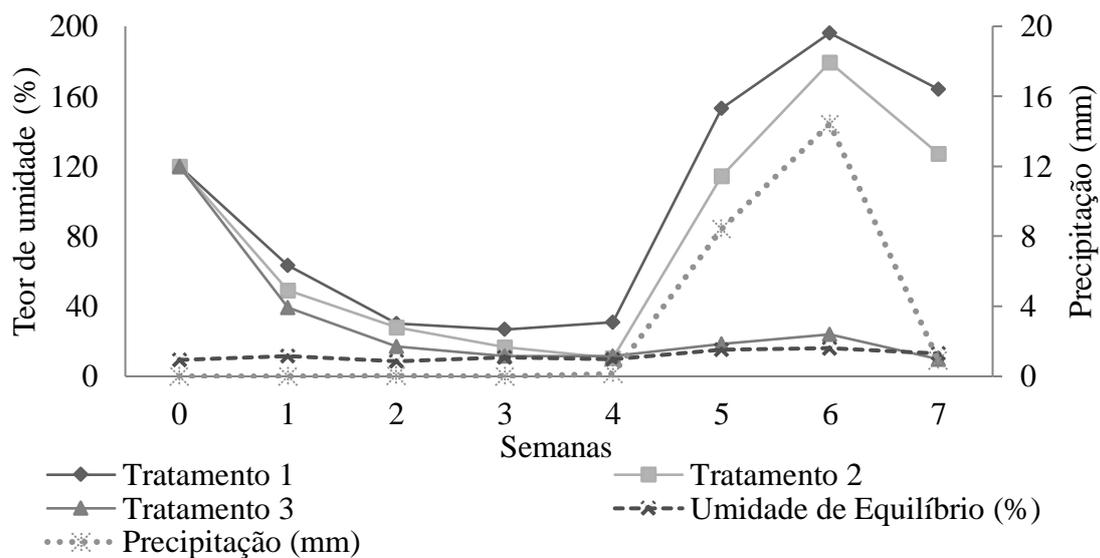
$$\text{PCU} = \text{PCI} \times \frac{100 - U}{100} - 6 \times U \quad (1)$$

Em que: PCU = poder calorífico útil (Kcal.kg^{-1}); PCI = poder calorífico inferior (Kcal.kg^{-1}) U = teor de umidade da madeira % (base úmida).

Foram coletadas, semanalmente, amostras das pilhas para elaboração da curva de secagem do material. Após sete semanas foram novamente avaliados os parâmetros qualitativos de cada tratamento. Foi realizada análise estatística com a aplicação de ANOVA (Análise de Variância) e a comparação múltipla de médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos destacam que o T3 proporcionou o melhor comportamento em termos de balanço energético com redução do teor de umidade evitando o reumidescimento, estando de acordo com o valor máximo indicado por Wu, Schott & Lodewijks (2011) para queima direta do material, que é de aproximadamente 20%. Valores acima deste percentual amortizam o calor da combustão, a temperatura da câmara de queima e dos gases de escape. Em contrapartida os demais tratamentos apresentaram ganhos de umidade em função de chuva ocorrida no período e não apresentarem cobertura para proteção do material (Figura 2).

Figura 2. Variações do teor de umidade de cada tratamento, umidade de equilíbrio e precipitação

O T3 apresentou um teor de umidade, ao final do experimento, de aproximadamente 10%, muito próximo a umidade de equilíbrio local, que no período do experimento foi de 12%, com valores mínimos e máximos de 9% e 16%, respectivamente. As amostras dos tratamentos T1 e T2 apresentaram grande alteração no teor de umidade após ocorrência de chuva, elevando consideravelmente a umidade do material (Figura 2). Tais fatos evidenciam que a cobertura proporcionou proteção ao material mantendo a condição de umidade constante durante os períodos de precipitação.

O aumento da umidade, devido à exposição do material, não é desejado em escala industrial, afetando negativamente a qualidade da matéria-prima para geração de energia, já que a quantidade de água presente é inversamente proporcional ao valor do poder calorífico. A redução de umidade é uma alteração desejada e positiva, pois aumenta o poder calorífico líquido do material, como também sua densidade energética e, conseqüentemente, reduz o custo de energia da unidade de transporte (KRIGSTIN et al., 2016).

A redução do teor de umidade é fundamental para uma cadeia de transporte otimizada, tornando o uso de biomassa competitivo no mercado (SOSA et al., 2015). Desta forma, a condição observada em T3, com menor quantidade de água por unidade de volume, atende a este pressuposto, ideal para a

logística deste tipo de biomassa, reduzindo a massa, logo, reduzindo os custos de transporte deste tipo de material (FRANÇA, CARVALHO & SCHROEDER, 2018). Os comportamentos observados nos tratamentos T1 e T2 ilustram perfeitamente a influência das condições climáticas e do armazenamento inadequado do material. Em T1, o material em contato com o solo e sem cobertura apresentou o teor de umidade mais elevado durante o período de exposição. O T2 apresentou comportamento semelhante, e após a ocorrência de chuvas, o teor de umidade elevou-se exponencialmente para os dois tratamentos, chegando a 164% e 127% para T1 e T2, respectivamente.

As condições de proteção, o tempo de armazenamento, a espécie e a forma da biomassa influenciam significativamente as características da biomassa ou do material armazenado para fins energéticos (KRIGSTIN et al., 2016; HOFMANN et al., 2018). De fato, ocorre uma perda de massa simultaneamente à perda de umidade, porém as oscilações de umidade no material não são desejadas, uma vez que aumentam as chances de alterações químicas do material, além de facilitar a incidência de agentes biodeterioradores, os quais consomem dos constituintes da madeira, resultando em perda da eficiência energética do material.

Através da correlação entre umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e temperatura com os teores de umidade de cada

tratamento (Tabela 1), percebe-se que os fatores umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica apresentaram correlação forte e positiva em relação ao teor de umidade das amostras expostas em T1 e T2. Ou seja, quanto mais elevado estes fatores, maior será o teor de

umidade do material. Já a temperatura do ar apresentou correlação inversamente proporcional, logo, quando esta variável aumenta, o teor de umidade da biomassa reduz, para os tratamentos T1 e T2.

Tabela 1. Matriz de correlação linear de Pearson entre os teores de umidade dos tratamentos (T1; T2; T3) e das variáveis climatológicas: umidade relativa do ar (U.R.), precipitação e temperatura do ar

	T1	T2	T3	U. R.	Precipitação	Temperatura
T1	1					
T2	0,9804	1				
T3	0,1428	0,2765	1			
U. R.	0,8243	0,7386	-0,2715	1		
Precipitação	0,7365	0,7283	-0,1697	0,7988	1	
Temperatura	-0,5065	-0,4361	0,0356	-0,7141	-0,6474	1

Observa-se que as variáveis apresentam baixa correlação com o teor de umidade do T3, o que indica que a forma de armazenamento do material isola o cavaco dos efeitos da umidade relativa do ar, de possíveis precipitações e da temperatura do ar. Os pesquisadores Pari et al. (2013), verificaram em seu estudo que a umidade relativa e a precipitação pluviométrica não apresentaram efeito significativo na secagem ao ar de cavacos de *Populus* spp., entretanto, a temperatura do ar apresentou influência

positiva sobre a secagem. Já Erber, Kanzian & Stampfer (2012) avaliaram a secagem de *Pinus sylvestris*, e identificaram a umidade relativa do ar como fator com maior interferência no teor de umidade, seguido da temperatura do ar e precipitação.

Com relação à análise química imediata, observou-se que os teores de cinzas dos tratamentos apresentaram resultados superiores ao material da testemunha, diferenciando-se estatisticamente (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química imediata e carbono total do cavaco de *Pinus* spp. natural (testemunha) e estocado em diferentes métodos

Tratamentos	Teor de Cinzas (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Carbono total (%)
Testemunha	0,35 a (26,29)	81,8 a (0,09)	17,85 a (0,67)	45,96 (0,58)
T1	0,69 b (17,20)	79,88 b (0,29)	19,43 b (1,42)	46,05 (0,31)
T2	0,83 b (13,75)	80,27 b (0,81)	18,9 b (4,01)	46,00 (0,79)
T3	0,67 b (5,62)	79,84 b (1,05)	19,49 b (4,10)	46,41 (0,54)
Valor de F	12,99*	8,53*	5,32*	1,83 ^{ns}

* Significativo a 95% de nível de confiança. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{ns} não significativo. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão (%).

O aumento do teor de cinza observado nos tratamentos é ocasionado pela exposição do material ao tempo e as condições de armazenamento, os quais causam contaminação da biomassa por outros constituintes minerais presentes no solo e no ar

e este valor pode chegar até 15% (BRAND, 2010). Deste modo, os tratamentos não isolaram completamente o material dos contaminantes, elevando o teor de cinzas, não sendo interessante do ponto de vista energético, pois altas quantidades de cinzas

reduzem o poder calorífico (OLIVEIRA et al., 2017), além de incrustar nos elementos metálicos dos queimadores e causar corrosões (LIU et al., 2014).

Os valores superiores do teor de cinzas após exposição estão de acordo com os resultados de Acquah et al. (2015) os quais encontraram aumentos de 0,9% no teor de cinzas de material exposto ao tempo. Já o teor de cinzas da amostra testemunha está na faixa obtida por Brand et al. (2014), que analisaram biomassa de *Pinus* spp. com casca, e obtiveram variações entre 0,31% a 0,45% no estudo com tempo de estocagem de seis meses. Em contrapartida, Jacinto et al. (2017) obtiveram teor de cinzas de 0,46% em maravalha de *Pinus* spp. sem casca, superior ao valor da testemunha do presente estudo. Tais resultados indicam que há contaminação da biomassa, porém que esta varia em função do tipo, tempo e condicionantes de armazenamento do material.

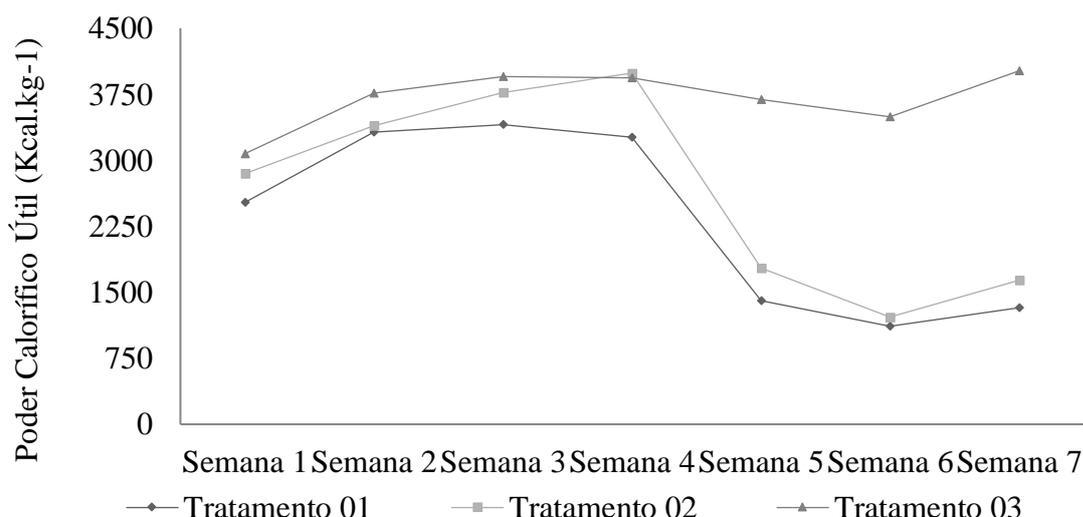
Para o teor de voláteis e teor de carbono fixo, foram observados resultados estatisticamente diferentes entre as amostras. O teor de voláteis apresentou valores inferiores nos tratamentos em relação à testemunha. Tal fato pode ser explicado por processos físicos (CHU et al., 2019), em especial, a redução da umidade do material na fase inicial de armazenamento e conseqüentemente maior taxa de liberação de tais teores, o que resulta em valores inferiores de materiais voláteis para liberação após sete semanas.

Os teores de voláteis foram inferiores aos obtidos por Moraes et al. (2019) em resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, assim como os encontrados por Souza e Vale (2016), que obtiveram teor de voláteis de 84,92% e 14,89% de carbono fixo

em *Pinus* spp. Em contrapartida, os valores médios de carbono fixo deste estudo são semelhantes aos descritos por Moraes et al. (2019) e superiores ao valor médio de 11,5% obtida por Amorim et al. (2015) na avaliação de biomassa de *Pinus* spp.. As referidas diferenças são atribuídas ao tipo de material, idade e condição de armazenagem.

Os resultados de carbono fixo dos tratamentos foram superiores às amostras da testemunha, o que confere ao material maior tempo de combustão em sistemas de queima (SPANHOL et al., 2015). Entretanto, os valores de cinzas de tais tratamentos associados ao teor de umidade do material comprometem a eficiência energética (BRAND, 2010). O poder calorífico superior está relacionado à constituição química do material, com maior correlação positiva ao teor de carbono fixo, conforme constatado por Soares et al. (2014) e Brand et al. (2014). No presente trabalho, a variação não significativa do teor de carbono fixo da biomassa dos tratamentos, leva a uma manutenção dos valores do poder calorífico superior, afetado diretamente pelos tratamentos em relação à testemunha.

Quanto à determinação do teor de carbono total do material, não houve diferença entre a testemunha e os tratamentos, ao fim do período avaliado. Para este parâmetro, o valor médio das amostras foi de aproximadamente 46%, semelhante a espécies consideradas energéticas, como *Mimosa scabrella*, *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus* spp. (MARTINS et al., 2017; SILVA et al., 2015; SANQUETTA et al., 2014). Contudo, observamos que o T1 apresentou valores de PCU inferiores durante o período de armazenamento, semelhante aos resultados obtidos no T2 (Figura 3).

Figura 3. Variações do poder calorífico útil de cada tratamento em função do tempo.

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram oscilações de PCU em função da variação do teor de umidade do material, o que não ocorreu no T3, o qual teve um comportamento energético mais homogêneo e superior em relação aos demais. O desempenho obtido do PCU para o T3 é o ideal para biomassas em geral, maximizando o aproveitamento energético, padronizando a quantidade de biomassa necessária em abastecimento industrial, proporcionando maior rendimento e, conseqüentemente, minimizando os custos produtivos em plantas industriais.

A indicação para plantas de cogeração energética é de PCU mínimo de 1.900 Kcal.kg⁻¹ (Brand et al., 2014), logo, a biomassa estocada no T3 apresenta condições de desempenho energético adequado ao uso, diferentemente das amostras estocadas em T1 e T2, as quais necessitam da redução do teor de umidade para utilização mais eficiente.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou as influências do procedimento de estocagem de cavaco de *Pinus* spp. na qualidade energética do material. Foi observado que os métodos de estocagem interferem na qualidade da biomassa, causando alterações nos parâmetros da química imediata do material.

Esta pesquisa mostrou que a utilização de cobertura sobre a pilha de cavacos reduz e mantém o teor de umidade do material a níveis equilibrados com o ambiente, proporcionando ganhos energéticos comprovados através da determinação do poder calorífico útil, que se apresenta dentro dos valores mínimos para utilização para geração de energia.

Desta forma a estocagem da biomassa isolada do solo e com cobertura é uma ferramenta útil para aprimorar as qualidades energéticas do cavaco, além de auxiliar na redução dos custos e na logística da biomassa.

5 AGRADECIMENTOS

À empresa Araupel S.A. por fornecer material para realização deste estudo.

6 REFERÊNCIAS

ACQUAH, G. E.; KRIGSTIN, S. G.; WETZEL, S.; COOPER, P.; CORMIER, D. Heterogeneity of forest harvest residue from eastern Ontario biomass harvests. **Forest Products Journal**, Texas, v. 66, n. 3, p.164-175, 2015. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00098.

ALAKOSKI, E.; JÄMSEN, M.; AGAR, D.; TAMPIO, E.; WIHERSAARI, M. From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 376-383, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. **D4442 – 20**: Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. West Conshohocken: ASTM, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. **E870 – 82**: Standard test methods for analysis of wood fuels. West Conshohocken: ASTM, 2019.

AMORIM, F. S.; RIBEIRO, M. X.; PROTÁSIO, T. P.; BORGES, C. H. A.; COSTA, R. M. C. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Paraíba, v. 10, n. 4, p. 34-41, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i4.3779.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* maiden na qualidade do combustível para geração de energia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 175-183, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000100017

BRAND, M. A.; LACERDA, S. R.; OLIVEIRA, J.; LOPES, G. P. R. D.; CASAGRANDE, N. B. Storage of caatinga forest biomass to improve the quality of wood for energy. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 7, p. 1178-1184, 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20130959.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SBF: SBEF. 1993. p. 603-607.

CARVALHO, D. E.; JUÍZO, C. G. F.; FRANÇA, M. C.; LOIOLA, P. L.; ROCHA, M. P. Effect of thermal modification in the natural resistance of *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* woods. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 1, p. 1-7, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i1a5606.

CHU, D.; ZHANG, X.; MU, J.; AVRAMIDIS, S.; XUE, L.; LI, Y. A greener approach to byproducts from the production of heat-treated poplar wood: Analysis of volatile organic compound emissions and antimicrobial activities of its condensate. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 521-527, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.163.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**. Relatório Síntese: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

- ERBER, G.; KANZIAN, C.; STAMPFER, K. Predicting moisture content in a pine logwood pile for energy purposes. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 46, n. 4, p. 555-567, 2012. DOI: 10.14214/sf.910.
- FRANÇA, R. R.; CARVALHO, D. E.; SCHROEDER, F. Avaliação de diferentes métodos de estocagem de cavacos de pinus spp. e sua relação com os custos de transportes. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA, 2018, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Grupo FRG, 2018. p. 777-777.
- GRAHAM, S.; EASTWICK, C.; SNAPE, C.; QUICK, W. Mechanical degradation of biomass wood pellets during long term stockpile storage. **Fuel Processing Technology**, v. 160, p. 143-151, 2017. DOI: 10.1016/j.fuproc.2017.02.017.
- HOFMANN, N.; MENDEL, T.; SCHULMEYER, F.; KUPTZ, D.; BORCHERT, H.; HARTMANN, H. Drying effects and dry matter losses during seasonal storage of spruce wood chips under practical conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 111, p. 196-205, 2018. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.03.022.
- JACINTO, R. C.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; SOUZA, D. L.; SILVA, M. V. Utilização de resíduos da cadeia produtiva do pinhão para a produção de pellets para geração de energia. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 353-363, 2017. DOI: 10.5380/ufpr.v47i3.52080.
- KRIGSTIN, S.; WETZEL, S. A review of mechanisms responsible for changes to stored woody biomass fuels. **Fuel**, v. 175, p. 75-86, 2016. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.02.014
- LIU, Z. J.; FEI, B. H.; JIANG, Z. H.; CAI, Z. Y.; LIU, X. E. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 48, n. 5, p. 903-917, 2014. DOI: 10.1007/s00226-014-0648-x.
- MARTINS, A. P. M.; CARVALHO, R. R.; ANDRADE, C.; SANQUETTA, C. R. Comparação de métodos de quantificação de carbono em Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Biofix Scientific Journal**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 16-21, 2017. DOI: 10.5380/biofix.v2i1.50329.
- MORAES, M. D. A.; SANTOS, J. H.; LIMA, P. A. F.; CONEGLIAN, A.; SOUSA JUNIOR, A. D.; CANTO, J. L.; SETTE JUNIOR, C. R. Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 42, n. 2, p. 520-527, 2019. DOI: 10.19084/rca.17170.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. **Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. (Comunicado Técnico, 293).
- OLIVEIRA, L. H.; BARBOSA, P. V. G.; LIMA, P. A. F.; YAMAJI, F. M.; SETTE JUNIOR, C. R. Aproveitamento de resíduos madeireiros de *Pinus* sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017. DOI: 10.19084/RCA17010.
- PARI, L.; CIVITARESE, V.; GIUDICE, A.; ASSIRELLI, A.; SPINELLI, R.; SANTANGELO, E. Influence of chipping device and storage method on the quality of SRC poplar biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 51, p.169-176, 2013. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.01.019.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; SIMON, A.; PSCHEIDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 361-370, 2014.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S. P. C.; PICCOLO, M. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 135-146, 2015.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; 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. DOI: 10.1590/S0100-67622014000300017.

SOSA, A.; ACUNA, M.; MCDONNELL, K.; DEVLIN, G. Controlling moisture content and truck configurations to model and optimize biomass supply chain logistics in Ireland. **Applied Energy**, v. 137, p. 338-351, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.10.018.

SOUZA, F.; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.88.879.

SPANHOL, A.; NONES, D. L.; KUMABE, F. J. B.; BRAND, M. A. Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 833-844, 2015. DOI: 10.5380/rf.v45i4.37950.

WU, M. R.; SCHOTT, D. L.; LODEWIJKS, G. Physical properties of solid biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2093-2105, 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.02.020.