

PRODUÇÃO DE *PELLETS* DE CAPIM ELEFANTE (*Pennisetum purpureum Schum*)

Ana Carolina Carvalho¹; Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes¹; Sarah Esther de Lima Costa¹; Renato Vinícius Oliveira Castro²; Rosimeire Cavalcante dos Santos¹;

¹Unidade Acadêmica especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil;

²Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del Rei, Brasil;

kr00ll2000@yahoo.com.br¹; izabelle.rodriguesferreira@gmail.com¹; sarahcostaa@yahoo.com.br¹;
castrorvo@ymail.com²; meire_caico@yahoo.com.br¹;

Resumo: A pelletização de resíduos agrícolas e agroindustriais consiste, na compactação de resíduos agroflorestais, de modo a obter produtos com maior densidade em kg/m³ e densidade energética em kg/m³ superiores às dos resíduos originais. Objetivou-se produzir e avaliar a qualidade de *pellets* a partir dos resíduos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*), sob diferentes tratamentos. Caracterizou-se os resíduos a partir da determinação de umidade, análises químicas imediata e estrutural, poder calorífico superior e poder calorífico útil e densidade a granel. Para produção de *pellets* foram estabelecidos três tratamentos, T1 100% capim, T2 capim sob adição de amido de trigo e T3 capim sob a adição de vapor. A caracterização dos *pellets* deu-se por meio das análises poder calorífico superior e poder calorífico útil, dimensões, densidade a granel, durabilidade, porcentagens de finos, dureza, umidade de equilíbrio higroscópico e densidade energética. Houve, também, a comparação das propriedades dos *pellets* com os valores determinados pela norma europeia. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade, e Cochran para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. Utilizou-se o software R, versão 2.13.1. (R Development Core Team, 2008). Considerando os dados deste estudo, o tratamento T2, Capim + amido, apesar do teor de umidade mais alto, obteve melhores valores nas análises, baixos teores de cinzas e finos, altos para durabilidade mecânica e dureza, conferindo a esse tratamento a melhor avaliação para produção de pellets. Então, concluiu-se que o resíduo de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) mostra-se viável para a produção de pellets, os produtos obtidos foram homogêneos e de fácil manuseio. Sendo uma alternativa viável como fonte de renda para a população do semi-árido. Todos os tratamentos produzidos atendem as especificidades da NORMA EM 14961-6 (DIN, 2012) - NÃO MADEIRA. Por fim, ressalta-se a necessidade de novos estudos com essa biomassa, bem como diferentes tratamentos para produção de pellets.

Palavras-Chave: biomassa, pelletização, potencial energético.

Introdução

A cadeia de produção energética mundial é dependente do petróleo e do carvão mineral. Essas duas fontes vêm dominando o abastecimento da produção de energia a partir da revolução industrial, entre os séculos XVIII e XIX. Já no século XX, iniciou-se a busca por alternativas mais limpas de produção energética que sejam menos ofensivas ao planeta (ALVES, 2014).

O capim-elefante é uma forrageira perene, com alta taxa de crescimento, alta produtividade e os vários estudos com capim-elefante revelaram que a escolha da cultivar se deve a adaptação desta às condições edafo-climáticas e ao seu desempenho produtivo (SILVA et al., 2001). Tal

(83) 3322.3222

contato@conidis.com.br

www.conidis.com.br

adaptação é de suma importância para seu cultivo na região do Semi-Árido, desta forma a sua utilização, além de forrageio, pode ser na produção de pellets com fins energéticos.

A pelletização de resíduos agrícolas e agroindustriais consiste, na compactação de resíduos agrofloretais, de modo a obter produtos com maior densidade em kg/m³ e densidade energética em kg/m³ superiores às dos resíduos originais. A pelletização é um processo de densificação da biomassa com ou sem aditivos com o objetivo de reduzir seu volume, baratear o transporte, facilitar seu uso final, além de aumentar a quantidade de energia por unidade de volume (DIAS et al., 2012; Carvalho et al. 2013).

Com isso, objetivou-se produzir e avaliar a qualidade de *pellets* a partir do aproveitamento dos resíduos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*), sob diferentes tratamentos.

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, Minas Gerais. Utilizou-se como matéria prima resíduos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*), doado pelo LAPEM, composto por folhas, caules e, obtidos a partir de plantios instalados em áreas do Departamento de Zootecnia da UFV.

Inicialmente, o material foi triturado em moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma 257 om-52. Em seguida, foi realizado peneiramento do material utilizando-se peneiras n° 16 internacional, com malha de 40 mesh e n° 24 internacional, com malha de 60 mesh, (American Society for Testing and Materials - ASTM, 1982), sendo utilizada a porção retida na peneira de 60 mesh, gerando as partículas.

As partículas de capim elefante foram utilizadas sob três tratamentos, a saber: T1: 100% Capim, T2: além das partículas de Capim, 400g de amido de trigo e T3: Capim sob adição de vapor.

O teor de umidade das partículas foi determinado utilizando-se 3 amostras de cada tratamento, com aproximadamente 0,500 gramas. Estas foram colocadas no aparelho analisador de umidade de infravermelho modelo MB35 Halogen, da marca Ohaus a uma temperatura de 105°C. O referido aparelho é composto por balança de precisão e por uma unidade de secagem por luz halógena, que opera segundo o princípio termogravimétrico para secar as amostras e mensurar até a massa obter valor constante. A umidade do amido também foi mensurada, utilizando-se o mesmo princípio.

A determinação da composição química estrutural foi realizada por meio da determinação dos teores de extrativos totais, realizada em duplicata, conforme a norma TAPPI 204 om-88 TAPPI

(1996). Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). O teor de holocelulose (celulose e hemicelulose) foi obtido pelo somatório dos teores de extrativos e lignina totais, decrescido de 100.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado seguindo-se a norma ABNT NBR 8633 (1984), com a utilização de uma bomba calorimétrica adiabática. Para determinar o Poder Calorífico Útil foi utilizada a seguinte fórmula (1):

$$\text{PCU} = [\text{PCI} \times (1 - \text{U})] - 600\text{U} \quad (1)$$

Sendo:

PCU = Poder Calorífico Útil (kcal/kg);

U = umidade em base seca (%);

PCI = poder calorífico inferior.

A composição química imediata foi determinada de acordo com os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 8112 (1986), utilizando uma mufla, para obtenção dos valores de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

A densidade a granel (kg/m^3) foi obtida de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010), onde utilizou-se um becker com volume de 1L, que foi preenchido com as amostras a serem analisadas, e em seguida procedeu-se a pesagem da massa.

A massa total obtida foi subtraída da massa do Becker e dessa forma obteve-se a massa das amostras, em m^3 . De acordo com a fórmula (2):

$$\text{DG} = \text{M/V} \quad (2)$$

Onde:

DG = densidade a granel (g/m^3)

M = massa inserida no becker (g);

V = volume do becker (m^3).

Para produzir os *pellets* utilizou-se, nos três tratamentos, aproximadamente, 9Kg de partículas de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*). Para o tratamento T2, além das partículas de capim, 400g de amido de trigo que foi previamente misturado às partículas, com o intuito de agir como aglutinante no processo de pelletização.

No T3, a adição de vapor, deu-se durante a alimentação da pelletizadora, não sendo mensurada a quantidade do mesmo.

Para tanto, utilizou-se uma prensa pelletizadora laboratorial com matriz circular horizontal. As dimensões dos canais de compressão da matriz consistiam em diâmetro interno de entrada 7,0 mm e de saída 6,3 mm e 30 mm de comprimento. A temperatura de pelletização variou de 99 a 112°C (Tabela 4) e a velocidade de rotação dos roletes foi de 1500 rpm.

Para a avaliação da qualidade dos *pellets* foram realizadas as análises de Poder Calorífico Superior, Poder Calorífico Útil, Dimensões, Densidade a Granel, Durabilidade, Porcentagens de Finos, Dureza, Umidade de Equilíbrio Higroscópico e Densidade Energética.

O diâmetro (mm) e comprimento (mm) foram obtidos seguindo a norma EN 16127 (DIN, 2010). Para tanto, pesou-se 60 gramas de *pellets* de cada tratamento e mediram-se todas as unidades.

A densidade a granel (kg/m^3) foi obtida de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010). A taxa de compactação foi calculada dividindo-se a densidade a granel dos *pellets* pela densidade a granel do material.

A durabilidade mecânica e a porcentagem de finos (partículas menores que 3,15 mm) foram determinadas utilizando-se o equipamento Ligno-Tester, Holmen® (Figura 7), de acordo com a norma DIN EN 15210-1 (Deutsches Institut Für Normung, 2010) e instruções do equipamento. As amostras de *pellets* são ventiladas por meio de um jato de ar que simula a destruição natural dos *pellets* durante o transporte e manuseio, em uma câmara com formato de pirâmide quadrangular invertida.

Para a determinação da porcentagem de finos, o fluxo de ar tinha pressão de 30 milésimos de bar (mbar) e duração de 30 segundos. Posteriormente, as amostras sem finos foram submetidas a outro fluxo de ar controlado (70 mbar) durante 60 segundos para determinação da durabilidade mecânica.

A dureza ou resistência ao esmagamento foi determinada pelo ensaio de compressão diametral do *pellet* em um durômetro manual com escala de 0 a 100 kg, da marca Amandus Kahl. Um *pellet*, por vez, foi inserido no durômetro e foi aplicada carga crescente, até fratura da amostra. Então, fez-se a leitura da carga máxima, em kg, que um *pellet* pode suportar antes de rachar.

A umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) dos *pellets* foi determinada após as amostras de biomassas serem acondicionados em câmara climática, sob temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65% até atingirem massa constante.

A densidade energética dos *pellets* foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil pela densidade a granel dos *pellets*, sendo apresentada em MJ/m³.

O experimento foi analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos: T1 100% capim, T2 capim + adição de amido de trigo e T3 capim sob a adição de vapor.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade, e Cochran para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%.

Utilizou-se o software R, versão 2.13.1. (R Development Core Team, 2008)

Resultados e discussão

Os resultados para as análises de umidade, poder calorífico útil e análise química imediata do material utilizado para a produção dos pellets estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de umidade, poder calorífico útil, poder calorífico superior e análise química imediata do material utilizado para a produção dos pellets

Propriedades	Biomassa	
	Capim	Amido
UBS (%)*	12,79 b	14,70 a
Poder Calorífico Útil (Kcal/Kg)	3594,5 a	3430,3 b
Voláteis (%)	73,56 b	98,03 a
Cinzas (%)	11,45 a	0,07 b
Carbono Fixo (%)	15,00 a	1,90 b

Umidade em base seca. Mesmas letras entre linhas para uma mesma variável, não diferem significativamente pelo teste Tukey (p=0,05).

Para uma melhor qualidade de pellets, a umidade da matéria-prima para produção deve estar entre 8,0 a 12,0%, caso a umidade se encontre abaixo desse intervalo há uma maior dificuldade para a transferência de calor, ocorrendo, conseqüentemente, a plastificação da lignina e no caso de estar acima do intervalo, o diâmetro e o comprimento não são estáveis (OBERNBERGER; THEK, 2010).

De acordo com os resultados, houve diferenças significativas do poder calorífico útil entre o Capim e o amido usados para a produção dos pellets.

Também, observa-se que o teor de materiais voláteis do Amido foi superior, diferindo estatisticamente do Capim. Sendo tais materiais responsáveis para liberação rápida de energia, quanto maior o seu teor de maior a velocidade de queima na fase gasosa (CARROL, 2012).

O teor de cinzas do Capim foi muito superior ao observado para o amido, logo, não se espera um aumento desta variável nos pellets com adição do amido, visto que baixos teores de cinzas na biomassa têm pouca influência direta no processo de pelletização, já o valor de cinzas do Capim, por ser superior a 10% irá causar desgaste dos roletes e da matriz de pelletização, diminuindo, assim, a vida útil do equipamento (OBERNBERGER; THEK, 2010), sendo assim, o valor do teor de cinzas do capim não está na margem de aceitação.

O teor de Carbono fixo do Capim foi maior ao observado no amido, provavelmente devido a composição química estrutural de tal biomassa. Dessa forma o carbono fixo segue uma relação indireta com o teor de voláteis, quanto maior o teor de voláteis, menor o teor de carbono fixo.

Na tabela 2 a seguir são apresentados os valores médios das propriedades dos pellets em função dos tratamentos e a comparação com a norma europeia.

Tabela 2. Valores médios das propriedades dos pellets e a comparação com os valores estabelecidos pela norma EN 14961-6 (DIN, 2012)

Propriedades	T1 (100%Cap)	T2 (CapAmido)	T3 (CapVapor)	Pellets não madeira EN 14961-6 (DIN, 2012)
PCU (Kcal/kg)	3425,1 b	3218,0 c	3479,7 a	≥ 14,1
Diâmetro (mm)	5,9 b	5,9 b	6,1 a	6 ± 1
Comprimento (mm)	19,6 b	21,0 a	19,9 ab	≤ 40
Densidade a granel (Kg/m ³)	709,0 a	686,9 a	691,6 a	≥ 600
Durabilidade mecânica (%)	95,8 b	98,7 a	98,0 a	≥ 97,5
Finos (%)	0,12 a	0,03 b	0,05 b	≤ 2
Dureza (Kg)	16,0 b	18,9 a	17,8 a	-
Densidade Energética (MJ/kg)	10175,0 a	9261,2 a	10081,8 a	-

Médias seguidas de mesma letra, na linha, para cada variável, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p=0,05%).

Em relação ao poder calorífico útil (PCU) das partículas, houve diferença estatística entre os tratamentos, sendo os pellets produzidos com o aditivo de amido os que obtiveram os menores

valores, podendo considerar a relação inversamente proporcional com a umidade. Segundo Pereira (2014), observou-se a influência da umidade no PCU.

O T3 apresentou maiores valores de diâmetro entre todos os tratamentos, sendo que nos tratamentos T1 e T2 não diferiram entre si. Por sua vez, em relação ao comprimento, os tratamentos T1 e T2 diferiram entre si, mas o T3 não teve diferença comparando-o aos tratamentos T1 e T2. Então com base nos valores obtidos tanto pra diâmetro quanto pra comprimento os pellets estão de acordo com as exigências da norma. Tais propriedades são importantes porque para o melhor funcionamento de fornalhas de pequena escala e equipamentos automáticos de aquecimento, as dimensões e formas dos pellets devem ser homogêneas (NARRA et al., 2010). Assim, a padronização das dimensões dos pellets otimiza a escolha e o dimensionamento das instalações de alimentação e das fornalhas (OBERNBERGER; THEK, 2010).

Apesar do tratamento T1 apresentar maior valor de densidade dos pellets, o mesmo não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Segundo Obernberger e Thek (2010) quanto maior for a densidade a granel dos pellets maior será a sua densidade energética e, conseqüentemente, sua massa transportada ou armazenada num container, de forma a minimizar custos de transporte e armazenamento.

Geralmente, a densidade a granel de resíduos agrícolas e gramíneas podem variar entre 80 a 150 kg.m³ e a densidade a granel da madeira, em cavacos ou serragem, de 150 a 250 kg.m³ (TUMULURU et al., 2011). Mas observa-se, nesse trabalho, que a densidade a granel foi superior a 600 kg.m³ para todos os materiais avaliados. Portanto, os valores obtidos não são condizentes com os valores encontrados pelos referidos autores, mostrando-se bem superior ao mesmo. Mas apesar de apresentarem valores superiores aos encontrados na literatura, a densidade a granel de todos os tratamentos de pellets estão de acordo com as exigências da norma DIN EN 14588.

Para Carroll (2012) a durabilidade mecânica é o principal parâmetro para descrever a qualidade física de biocombustíveis sólidos densificados, como os pellets. E pode-se observar que os três tratamentos apresentaram valores estatisticamente semelhantes, onde todos atenderam as especificações da norma DIN EN 14588, por serem maior que 97,5%.

Os finos, por sua vez, são partículas diminutas, inferiores a 3,15 mm, gerados pelo atrito entre os pellets. Sua presença indesejável, uma vez que se for acima do valor máximo estipulado, pode causar explosões em silos de armazenamento (TUMULURU et al., 2011), além de riscos à saúde. Nesse caso, na porcentagem de finos, apenas o T1 apresentou valor diferente

estatisticamente dos demais tratamentos, no entanto, todos estão condizentes com a norma DIN EN 14588.

O T1 diferiu dos demais tratamentos estatisticamente quando relacionou-se a dureza e apesar da mesma não ser uma propriedade normatizada para pellets, o teste fornece uma medida rápida da resistência mecânica e pode auxiliar no ajuste do processo, a fim de melhorar a qualidade do produto final, dessa forma, sendo importante para a produção de pellets (ZAMORANO et al., 2011; PEREIRA, 2014). Ainda de acordo com estes autores, a dureza simula a compressão devido ao peso dos próprios pellets durante o armazenamento ou esmagamento em uma rosca transportadora.

Observa-se que os pellets produzidos não apresentaram diferenças estatísticas quanto a densidade energética, e isso se deve a densidade a granel dos tratamentos. Quanto maior for a densidade a granel dos pellets mais elevada é sua densidade energética e maior será a massa transportada ou armazenada num container ou silo de volume fixo (OBERNBERGER; THEK, 2010; CARROLL; PEREIRA 2014). Ainda, Obernberger e Thek (2010) citam que a capacidade requerida para transporte e armazenamento é reduzida com o aumento da densidade de energética.

Entretanto os Pellets com maior densidade energética são desejáveis porque liberam, durante a sua queima, maior quantidade de energia por unidade volumétrica, ou seja, a quantidade de energia transportada ou armazenada em um mesmo volume é aumentada quando tem-se pellets com maiores densidades energéticas (PEREIRA, 2014).

Por tanto, apesar de algumas ressalvas estatísticas, os pellets atendem a todas especificidades da norma EN 14961-6 (DIN, 2012) para pellets não-madeira.

Conclusões

De acordo com os parâmetros avaliados, a biomassa do Capim Elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) mostra-se viável para a produção de pellets, os produtos obtidos foram homogêneos e de fácil manuseio. Sendo uma alternativa viável como fonte de renda para a população do semi-árido.

Considerando os dados deste estudo, o tratamento T2, Capim + amido, apesar do teor de umidade mais alto, obteve melhores valores nas análises, baixos teores de cinzas e finos, altos para durabilidade mecânica e dureza, conferindo a esse tratamento a melhor avaliação para produção de pellets.

Todos os tratamentos produzidos atendem as especificidades da NORMA EM 14961-6

(DIN, 2012) - NÃO MADEIRA.

Por fim, ressalta-se a necessidade de novos estudos com essa biomassa, bem como diferentes tratamentos para produção de pellets.

Referências

CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; SOUZA, M. M. Produção de pellets de madeira. In. SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria – cana-de-açúcar e espécies florestais**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2013.

CARROLL, J. P.; FINNAN, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. **Biosystems Engineering**, v. 112, n. 2, p. 151-159, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 14588 - **Terminology, definitions and descriptions**. Berlim, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 14774-2 - **Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method**. Alemanha, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 14961-2 **Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use**. Alemanha, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 14961-6 - **Solid biofuels – Fuel specifications and classes - Part 6: Wood pellets for non-industrial use**. Alemanha, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 15103 - **Solid biofuels - Determination of bulk density**. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 15210-1 - **Solid biofuels -Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets**. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN EN 16127 - **Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets**. Alemanha, 2012.

DIAS, J.J.M. **Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas**. Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Lisboa, 2002. 112p.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. The Pellet Handbook-The production and thermal utilisation of biomass pellets. **Earthscan**. ISBN 978-1-84407-631-4, 2010.

PEREIRA, B. L. C. Propriedades de pellets: biomassas, aditivos e tratamento térmico. 2014. 73f. **Dissertação** (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2014.

R Development Core Team (2008) **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria

SANTOS, E. A. dos; SILVA, D. S. da; QUEIROZ FILHO, J. L. de. Aspectos produtivos do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cv. Roxo no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Sociedade Brasileira de Zootecnia, v. 30, n. 1, p. 31-36, 2001.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI test methods**. Atlanta, 1998. 46 p.

TUMULURU, J. S. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. **Biosystems Engineering**, v. 119, p. 44-57, 2014.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.