

Desenvolvimento de *pellet* ecossustentável a partir da casca de coco verde

Milena Camandaroba Alves^{1,*}, Antonio Martins de Oliveira Junior¹ e Carolina N. Costa Bonfim²

¹Universidade Federal de Sergipe. Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química. Av. Marechal Rondon, S/Nº. Jardim Rosa Elze. São Cristóvão-SE, Brasil (CEP 49100-000). E-mail: milena.alves04@gmail.com.

²Universidade Federal de Sergipe. Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos. Departamento de Engenharia de Pesca e Aquicultura. Av. Marechal Rondon, S/Nº. Jardim Rosa Elze. São Cristóvão-SE, Brasil (CEP 49100-000).

Resumo. A obtenção de produtos e substâncias a partir da biomassa tem encontrado espaço e vem sendo desenvolvida, ainda que muito mais por questões econômicas do que ambientais. Levando em consideração o crescente consumo de água de coco e o descarte de seus resíduos, especialmente ao longo do litoral brasileiro, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver e caracterizar um *pellet* ecossustentável a partir da fibra do coco verde, utilizando como aglutinante o de amido de milho. Foram produzidos e comparados ao *pellet* de 100% pinus (madeira). Para a produção dos *pellets*, foi necessário o desfibramento e corte das fibras de coco verde, sanitizando-as antes de sua secagem no desidratador pardal a 60 °C. Verificou-se também a importância da Trituração e moagem das fibras, para assim realizar a granulometria. As fibras foram submetidas a contato com amido de milho depois foram inseridas na pelletizadora, secas por meio da estufa a 105 °C por 24 h. Com relação aos parâmetros de qualidade, físicos, químicos e térmicos, todos os *pellets* atingiram os valores estipulados pelas normas de padrões internacionais. Com isso foi possível verificar a sua umidade, teor de cinzas, teor voláteis, o seu carbono fixo e a relação da granulometria com a qualidade dos *pellets*. A umidade alcançada pelo *pellet* foi de 13%, atingindo assim o valor determinado pela EMBRAPA. Em relação ao teor volátil, o *pellet* de fibra de coco, apresentou valor de 98,04%, relacionando com ponto de ignição da matéria é melhor que o da madeira. O teor de cinzas apresentado foi de 0,49%, porém o teor de carbono fixo foi inferior aos demais, alcançando apenas 2,51%, apresentando menor poder calorífico que os demais. Assim, pode-se concluir que os *pellets* possuem grande potencial energético e podem ser fontes sustentáveis para o descarte dos resíduos de coco verde produzindo um combustível limpo, seja com baixa emissão de poluentes ou de impactos ambientais.

Recebido
05/12/2021

Aceito
26/08/2022

Publicado
31/08/2022

 Acesso aberto



 ORCID

0000-0001-5236-6600
Milena Camandaroba
Alves

0000-0002-8635-7048
Antonio Martins de
Oliveira Junior

0000-0001-5513-7483
Carolina N. Costa
Bonfim

Palavras-chaves: *Pellet de fibra de coco; Aproveitamento de resíduos; Bioprocessos.*

Abstract. *Development of eco-sustainable pellet from green coconut peel.* Obtaining products and substances from biomass has found space and is being developed, although much more for economic reasons than for environmental reasons. Taking into account the growing consumption of coconut water and the disposal of its residues, especially along the Brazilian coast, this work has as its main objective to develop and characterize an eco-sustainable pellet from the fiber of the green coconut, using corn starch as a binder. They were produced and compared to the pellet of 100% pine (wood). For the production of pellets, it was necessary to shred and cut the green coconut fibers, sanitizing them before drying them in a sparrow dehydrator at 60 °C. It was also verified the importance of crushing and grinding the fibers, to carry out the granulometry. The fibers were subjected to contact with corn starch, then inserted into the pelletizer, dried in an oven at 105 °C for 24 h. About quality, physical, chemical, and thermal parameters, all pellets reached the values stipulated by the norms of international standards. With this it was possible to verify its moisture, ash content, volatile content, its fixed carbon, and the relationship of particle size with the quality of the pellets. The moisture reached by the pellet was 13%, thus reaching the value determined by EMBRAPA. In relation to the volatile content, the coconut fiber pellet presented a value of 98.04%, relating to the matter's ignition point better than that of wood. The ash content presented was 0.49%, but the fixed carbon content was lower than the others, reaching only 2.51%, with lower calorific values than the others. Thus, it can be concluded that pellets have great energy potential and can be a sustainable source for the disposal of green coconut residues, producing a clean fuel, either with low emission of pollutants or environmental impacts.

Keywords: Coconut fiber pellet; Use of waste; Bioprocesses.

Introdução

A obtenção de produtos e substâncias a partir da biomassa tem encontrado espaço e vem sendo desenvolvida, ainda que muito mais por questões econômicas do que ambientais. As cascas de coco, oriundas da palmeira (*Cocos nucifera* L.) verdes são resíduos da agricultura com alto potencial de aproveitamento, mas, infelizmente, com poucas ações implementadas no Brasil. São correntemente designadas aos aterros e vazadouros sendo, como toda matéria orgânica, potencial emissora de metano, e, ainda, contribuindo para que a vida útil desses depósitos seja diminuída. É um resíduo que produz uma fibra com características peculiares que pode, por exemplo, ser usada na formulação de compósitos de grande valor ambiental, como os bioplásticos ou fornecer matéria prima para obtenção de resinas naturais (Passos, 2005; Verma et al., 2016).

Levando em consideração o crescente consumo de água de coco e o descarte de seus resíduos, especialmente ao longo do litoral brasileiro, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um pallet ecossustentável a partir da casca de coco verde.

Atualmente estima-se que a produção anual de coco é de aproximadamente de 1,5 bilhões de unidades, colhidos em uma área de 280 mil hectares, tornando o Brasil é o quarto maior produtor mundial de cocos (Senhoras, 2003a,b; Martins e Jesus Junior, 2011; Martins et al., 2016). A crescente demanda da água de coco (100 a 350 milhões de litros/ano), estimulada pela inclusão de hábitos saudáveis na alimentação da população brasileira, traz consigo o questionamento quanto ao que se deve fazer com o subproduto (cascas), que constituem entre 80% e 85% do peso bruto do fruto (Martins et al., 2016).

Os *pellets* são considerados formas renováveis de energia devido à utilização da biomassa, que consiste na queima de substâncias de origem orgânica para a produção de energia, ocorrendo por meio da combustão das matérias primas de *pellets*. O *pellet* é um combustível limpo, seja com baixa emissão de poluentes ou de impactos ambientais. O seu baixo teor em umidade torna a combustão mais eficiente (ABIB, 2019).

Segundo a *European Technology Platform for Sustainable Chemistry*, as previsões advertem que por volta de 2025, por volta de 30% das matérias-primas para a indústria química serão confeccionadas a partir de fontes renováveis. No Brasil, a biorrefinaria vivenciou um desenvolvimento gradativo nos últimos 15 anos (Martin e Jesus Junior, 2011).

O presente artigo tem como finalidade o desenvolvimento de *pellet* ecosustentável, contribuindo assim para a engenharia de bioprocessos de forma sustentável com o descarte do coco verde, otimizado pelo ciclo de Deming ou PDCA (*Plan, Do, Check and Act = Planejar, Fazer, Verificar e Agir*) (Deming, 1986), desde o seu descarte até a produção de *pellets*, adotando assim como uma alternativa vantajosa esses resíduos. A partir da identificação das condições operacionais, que fornecem uma máxima produtividade ao *pellet*, de fácil manipulação, baixo custo e de forma mais eficaz.

Material e métodos

Os resíduos, cascas de coco verde, foram obtidos a partir do descarte diário de um estabelecimento que comercializa água de coco, localizado no município de São Cristóvão, no Bairro Rosa Elze, e próximo à Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Primeiramente, a casca verde do coco foi retirada com o auxílio de uma faca, separando-se a camada “branca” de fibra do coco (mesocarpo) e a depositando em um recipiente com água para evitar o escurecimento rápido (Figura 1). Após esse processo, cada pedaço do mesocarpo foi separado manualmente, obtendo-se as fibras.



Figura 1. Processo de corte do mesocarpo do coco verde.

Com todo o coco desfibrado, iniciou-se o processo de sanitização, utilizando 0,2% (m/v) do sanitizante Mix Kill Verd. As fibras permaneceram nesta solução durante 15 min e, em seguida, foram lavadas com água filtrada e mantidas em bandejas até o processo de secagem.

Para o processo de secagem, as fibras foram dispostas em bandejas e secas em desidratador Pardal a 60 °C. O processo foi monitorado por um termopar, um termômetro de mercúrio e outro de álcool colorido (Figura 2), e acompanhado o peso de uma amostra em bandeja a cada 15 min, até se manter constante por três pesagens sucessivas.



Figura 2. Processo de secagem da fibra de coco no desidratador Pardal.

A fibra seca foi triturada em um triturador forrageiro elétrico 2.0 CV bivolt Cid 125 Id-CID, com peneira de 3,0 mm, e armazenada em potes plásticos à temperatura ambiente. Também foi utilizado um macro moinho de facas do tipo Willey, para obter um material mais fino possível (Figura 3).

Os percentuais e divisões granulométricas com diferentes tamanhos de partículas de fibra de coco foram determinados após depositar 100 g de fibras em peneiras de aço inox (Bertel), 20 min de peneiramento em um equipamento agitador eletromagnético de peneiras Bertel utilizando-se peneiras equivalentes a 32, 42, 60, 80 e 115 MESH mais o recipiente coletor final “fundo”, em intensidade oito de vibração (Figura 4). As frações retidas de cada peneira foram pesadas em uma balança digital e o cálculo da quantidade de partículas retidas (R_n) em $g\ 100\ g^{-1}$, durante as 10 vezes que foram realizados os peneiramentos.



Figura 3. Triturador forrageiro elétrico e moinho de facas do tipo Willy.



Figura 4. Agitador eletromagnético de peneiras.

Peletização da matéria-prima

Para os estudos iniciais e avaliação da melhor condição de peletização, as fibras foram submetidas a contato com agentes aglutinantes, goma xantana e amido de milho (Figura 5), depois foram inseridas na pelletizadora, secas por meio da estufa a 105 °C por 24 h.



Figura 5. Fibra de coco antes da adição de amido de milho.

Inicialmente já foi descartada a possibilidade do uso da goma xantana, pois os *pellets* ficaram muito gelatinosos e com isso a compactação não era realizada. Também se verificou que não seria necessário a secagem durante 24 h, visto que com menos tempo a qualidade do *pellet* teve mais vantagens.

A proporção de amido para realização do teste foi feita de duas maneiras: a primeira na proporção 1:2:10 (relação fibra, amido e água) e 1,5:4:10 (relação fibra, amido e água). Após essa mistura, aqueceu-se em uma chapa aquecedora em temperatura média até ser formada uma massa homogênea. Em seguida, inseriu-se toda a massa na pelletizadora (Figura 6).



Figura 6. Chapa aquecedora com os materiais de teste e combinação de tudo na pelletizadora.

Após esse processo, os *pellets* foram depositados em formas de alumínio (Figura 7) e cortados em tamanhos de 3 a 5 cm, seguindo as normas europeias (European Pellet Council, 2015). Logo em seguida foram inseridas na estufa a 105 °C, durante 4 h.



Figura 7. Pellets na estufa.

Caracterização da biomassa

Para se caracterizar os *pellets* de fibra de coco, verificou-se a sua umidade, teor de cinzas, teor voláteis, o seu carbono fixo, a relação da granulometria com a qualidade dos *pellets*, comparado ao *pellet* de 100% pinus (madeira) vendido pela indústria.

Para determinação do teor de umidade das amostras de *pellets* de madeira utilizou-se a norma ABNT NBR 14929:2003 (ABNT, 2003), os *pellets* foram submetidos à desidratação em balança determinadora de umidade (Modelo MOC-63 U, Shimadzu), à temperatura de 105 °C, sendo acompanhada a cinética de pesagem até que o *pellet* apresentasse peso constante. Para cada amostra realizou-se três repetições. O teor de umidade dos *pellets*, foi determinado por meio da massa da amostra em equilíbrio (m_1) e a massa da amostra seca (m_2), seguindo Abud e Narain (2009), que apontam a umidade de equilíbrio, como mostra a Equação 1.

$$\% \text{ TU} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

% TU = porcentagem do teor de umidade;

m_1 = massa da amostra úmida, em gramas; e

m_2 = massa da amostra seca, em gramas.

Para a análise do teor de cinzas dos materiais, foram seguidas as normas TAPPI T 211 om-93. Foram utilizados cadinhos de porcelana anteriormente tarados a 575 °C. Adicionando-se, aproximadamente, $\pm 2,0$ g da amostra categoricamente seca (*pellets* de fibra de coco, *pellet* de madeira e a fibra ao natural), como se observa na Figura 8, onde a

análise foi feita em duplicata, para assim ser realizada uma média sem os dois cadinhos, seguidamente a amostra foi inserida nos cadinhos de porcelana para serem levados à mufla à temperatura de 575 °C num intervalo de 4 h (Camargo, 2019). Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a Equação 2.

$$\%TC_z = \frac{m_c}{m_a} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

%TCz = porcentagem de teor de cinzas;

m_c = massa de cinzas, em gramas; e

m_a = massa da amostra seca.



Figura 8. Pellet de fibra de coco, pellet de madeira e fibra de coco ao natural.

Em seguida, foram realizados os testes de material volátil, onde em um cadinho de porcelana adicionou-se $\pm 1,0$ g do material seco (pellets de fibra de coco, pellet de madeira e a fibra ao natural), que foi aquecido previamente em uma mufla (Figura 9) a $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 3 min, na entrada da mufla e em seguida 10 min no interior dela. Após esta etapa, retirou-se o cadinho da mufla deixando-o resfriar em um dessecador (Figura 10). Em seguida pesou-se o material. O teor de material volátil foi calculado conforme a Equação 3.

$$\%MV = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

%MV = teor do material volátil, em %.

m_1 = massa inicial da amostra, em gramas; e

m_2 = massa final da amostra, em gramas.



Figura 9. Forno mufla utilizado.

Com os resultados do teor de cinzas e do material volátil levados em consideração, foi calculado, através da Equação 4, o teor de carbono fixo dos materiais.

$$\%CF = 100 - (\%MV + \%TCz) \quad (4)$$

Onde:

%CF é o teor de carbono fixo, em %.



Figura 10. Material após a retirada do forno mufla.

Resultados e discussão

Os *pellets* apresentados na Figura 11(a) foram comprados e são feitos de madeira 100% pinus, no item (b) os *pellets* produzidos com fibra de coco com adição de amido de milho vegetal.



Figura 11. (a) e (b). *Pellet* de madeira e *pellet* de fibra de coco produzido.

A partir da produção do *pellet* de fibra de coco, análises imediatas foram realizadas e comparadas ao *pellet* de madeira. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises imediatas dos *pellets* e fibra *in natura*.

| Propriedades | Unidade | <i>Pellet</i> fibra de coco | | <i>Pellet</i> madeira | | <i>Fibra</i> <i>in natura</i> | |
|--------------------------|---------|-----------------------------|-------|-----------------------|---------|-------------------------------|-------|
| Teor de cinzas | % | 0,4902 | 0,498 | 0 | 0 | 0 | 0,488 |
| Teor de material volátil | % | 97 | 98,04 | 89,3805 | 91,5094 | 94 | 93,14 |
| Carbono fixo | % | 2,510 | 1,463 | 10,619 | 7,991 | 6,000 | 6,375 |

Segundo Dias et al. (2012) o percentual de cinzas dos materiais em geral durante a combustão deve apresentar valores inferiores a 4%, observa-se que neste quesito todos os *pellets* apresentaram valores desejáveis. Os materiais com alto teores de cinzas necessitam de queima mais lenta, ou seja, necessitam de um tempo maior dentro do queimador utilizado.

Em geral, os *pellets* de madeira apresentam altos teores de voláteis, de acordo com Brito e Barrichello (1982). Logo, o *pellet* de fibra de coco, apresentou valor maior, e isso quer dizer que o ponto de ignição da matéria é melhor.

O poder calorífico tem uma relação direta com o teor de carbono fixo. Desta forma, o que se espera é que elevados teores de carbono fixo implique em maiores poderes caloríficos, logo, pode-se observar que os *pellets* de madeira possuem maiores valores.

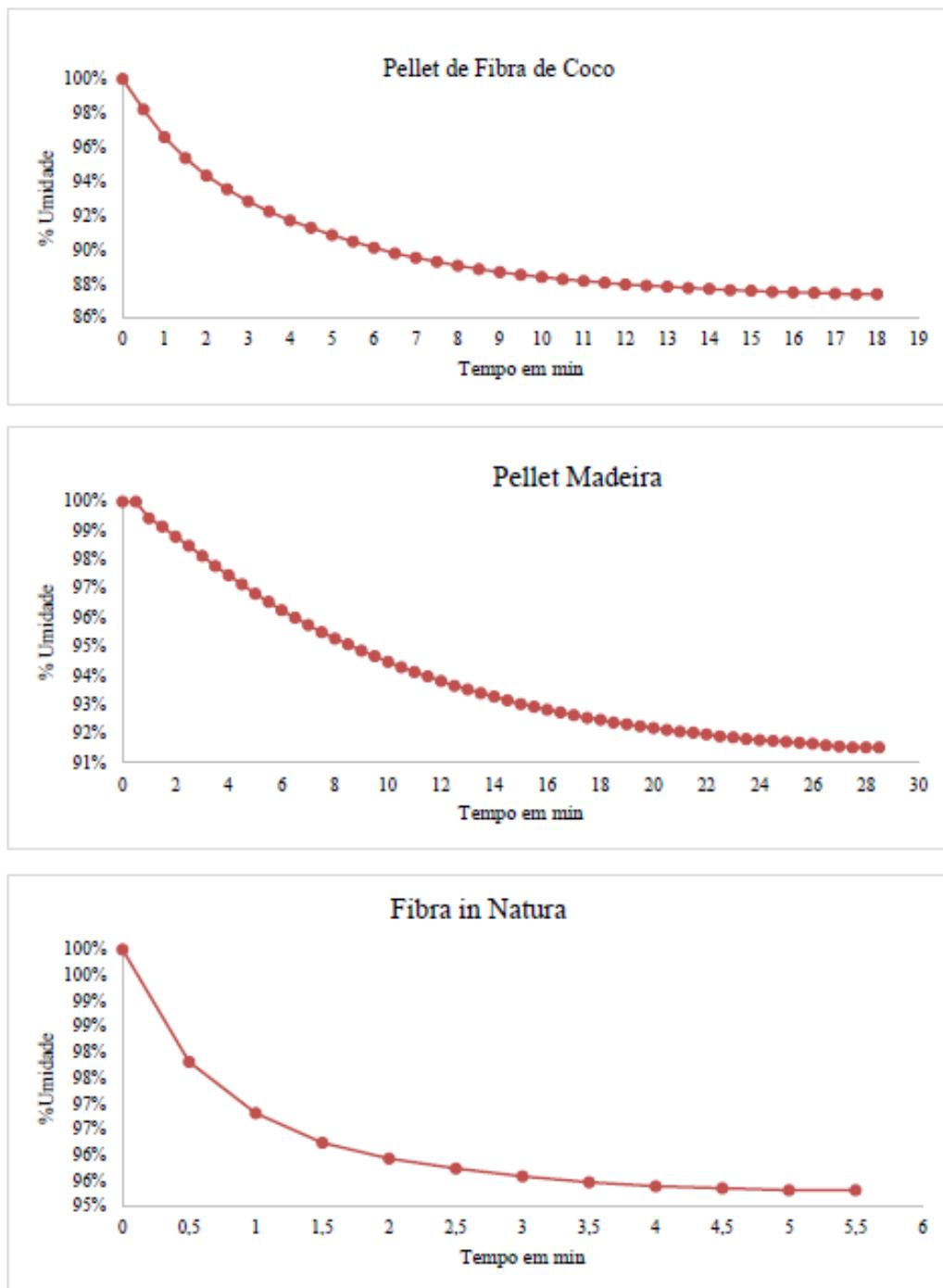


Figura 11. Curvas de secagem dos materiais testados.

Quanto ao teor de umidade dos *pellets* produzidos, observa-se (Tabela 2) que todos atingiram este parâmetro de qualidade, já que, de acordo com a Magalhães et al. (2016), o teor de umidade ideal está entre 5%-15%, porém para os parâmetros internacionais, que possui grande rigor neste critério, o valor desejável para este parâmetro é menor que 12% de umidade.

Tabela 2. Resultados das análises da umidade dos materiais.

| Material | Teor de umidade (%) | Massa inicial (g) | Massa retida (g) |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| P. Fibra de coco | 13% | 3,0140 | 0,3800 |
| P. Madeira | 8% | 3,1540 | 0,2670 |
| Fibra <i>in natura</i> | 5% | 2,6040 | 0,1220 |

Em relação à granulometria, a Tabela 3 apresenta os rendimentos, em porcentagem mássica, alcançados para cada faixa de granulometria. Observou-se que os maiores rendimentos ocorreram nas duas faixas de menores granulometrias, ou seja, entre 0,212 mm e 0,425 mm (19,9%) e inferiores a 0,212 mm (56,7%), totalizando 76,6%. A predominância dessas granulometrias decorre das características físicas e químicas da fibra e das condições de moagem.

Tabela 3. Rendimentos obtidos em cada faixa granulométrica.

| Especificação da peneira (mm) | Rendimento |
|-------------------------------|------------|
| $x > 1,0$ | 7,30% |
| $0,425 < x < 0,600$ | 14,3% |
| $0,212 < x < 0,425$ | 19,9% |
| Base < 0,212 | 56,7% |
| Total | 98,159% |

A fibra de menor granulometria, como esperado, apresentou a maior compactação na coluna, o que facilita o processo de formação do *pellet*. No processo de moagem e de separação das partículas observou-se uma perda de mais de quase 2% da massa inicial, considerada aceitável, já que a poeira gerada pela moagem, assim como pequenas partículas que são perdidas durante a manipulação do material são esperadas.

Conclusões

De acordo com os resultados alcançados no estudo, os *pellets* de fibra de coco atingiram os parâmetros de qualidade determinados internacionalmente. O percentual de cinzas dos materiais apresentou valores inferiores a 4%, o que nos mostra que o *pellet* apresenta queima mais lenta em relação aos demais.

Em relação ao teor volátil, o *pellet* de fibra de coco, apresentou valor maior que os demais e isso quer dizer que o ponto de ignição da matéria é melhor. Observamos também que poder calorífico tem uma relação direta com o teor de carbono fixo. Desta forma, o que se espera é que elevados teores de carbono fixo implique em maiores poderes caloríficos, logo, pode-se observar que os *pellets* de madeira possuem maiores valores e os *pellets* de fibra de coco acabam perdendo carbono quando misturado à fibra com o amido de milho.

Quanto ao teor de umidade, os resultados foram satisfatórios. Os *pellets* de fibra de coco atingiram o valor determinado pela EMBRAPA (Magalhães et al., 2016), porém, para padrões internacionais (European Pellet Council, 2015), ficou apenas 1% acima do permitido, o que é considerado um valor irrisório.

O processo de granulometria mostrou a importância de a fibra passar por um processo de moagem diversas vezes, em razão de que quanto menor for as partículas de fibra, melhor será a sua compactação e formação dos *pellets*. As fibras de maiores

dimensões não foram utilizadas por falta de equipamentos apropriados para uma maior Trituração.

Recomenda-se, em estudos futuros, um maior reaproveitamento de toda a fibra, tentando o máximo possível a sua Trituração. Já no contexto das análises para verificar a efetividade dos *pellets* faz-se necessária a realização de testes de durabilidade mecânica e análises termogravimétrica, seguindo as instruções normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- ABIB - Associação Brasileira das Indústrias Biomassa, *Pellets e Briquetes. Análise da biomassa e pellets no Brasil e internacional*. Curitiba: ABIB, 2019.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14929 - Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- Abud, A. K. S.; Narain, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- Brito, J. O.; Barrichelo, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. Anais do II Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, São Paulo, p. 101-137, 1982.
- Camargo, B. S. **Desenvolvimento de pellets provenientes de madeira e finos de carvão vegetal**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. (Dissertação de mestrado).
- Deming, W. E. **Out of the crisis**. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986.
- Dias, J. M. C. S.; Santos, D. T.; Braga, M.; Onoyama, M. M.; Miranda, C. H. B.; Barbosa, P. F. D.; Rocha, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: EMBRAPA Agroenergia, 2012.
- European Pellet Council. **Manual EN plus, parte 3 - Requisitos de qualidade de pellets**. Bélgica. v. 3.0, agosto de 2015.
- Magalhães, W. L. E.; Matos, M.; Rodrigues, L. F. **Método para a produção de pellets de ração animal com nanofibras de celulose**. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. (Comunicado Técnico, 391).
- Martins, A. P.; Silva, P. L. R.; Watanabe, T.; Borelli, C.; Marciano, J. P. P.; Sanches, R. A. O problema do pós-consumo do coco no Brasil: alternativas e sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 1, p. 44-57, 2016. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v7n1.2016.16566>
- Martins, C. R.; Jesus Junior, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. (Documentos, 164).

Passos, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. (Tese de doutorado).

Senhoras, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial de coco.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003. (Monografia de graduação).

Senhoras, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia industrial do coco:** transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes. 2003. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003. (Dissertação de mestrado).

Verma, D.; Jain, S.; Zhang, X.; Gope, P. **Green approaches to biocomposite materials science and engineering.** Hershey: IGI Global, 2016. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0424-5>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.