

## INVESTIGAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO BIOMASSA PARA BIOENERGIA POR MEIO DA ENERGIA SOLAR

Carla D. Machado<sup>1</sup> (IC), Maisa Tonon Bitti Perazzini (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave: Resíduo. Biomassa. Coco. Energia.**

### Introdução

As alterações ambientais têm se tornado ponto de pesquisa para a minimização de impactos negativos, como a busca por novas fontes energéticas, preferencialmente as renováveis, que não tragam impactos negativos, como o petróleo, carvão mineral e o gás natural vem proporcionando ao mundo (Mello et al). Essas energias renováveis representam 45% da matriz energética nacional até 2030, e o Brasil destaca-se no cenário energético mundial devido a abundância de recursos naturais a custos relativamente baixos, o que lhe permite o desenvolvimento das hidrelétricas e a biomassa, por exemplo. Como a energia renovável produzida pelas indústrias é cerca de nove vezes maior que o insumo fóssil utilizado na sua produção, a biomassa torna-se o mais atraente entre os usos comerciais de energia alternativa no mundo (Carmona et al, 2019).

A redução das emissões de carbono é uma das formas para conseguir a redução dos impactos ambientais, e a bioenergia, obtida a partir da biomassa, é uma das alternativas renováveis e promissoras para a atualidade, já que a biomassa pode produzir energia de diversas formas. A energia solar tem se destacado como uma solução sustentável em diversos setores, e um dos seus usos mais promissores é na secagem de biomassa. Esse processo é essencial para melhorar a eficiência de biomassa como fonte de energia (Lourinho, 2012).

A Figura 1 mostra que a casca de coco verde é composta por uma camada externa fibrosa e resistente (mesocarpo), essa estrutura é formada principalmente por celulose (aproximadamente 37,4%), que dá rigidez à estrutura, lignina (aproximadamente 37,2%) responsável pela resistência à decomposição (Corradini, E. et al, 2009), esses componentes são os que conferem à casca resistência mecânica e durabilidade. A camada externa é a casca verde e fibrosa do coco, que protege o interior da fruta (epicarpo). A camada interna (endocarpo) é a camada lenhosa e resistente que envolve a polpa e o líquido, protegendo o interior do coco (Mattos et al, 2011).

Figura 1 - Casca de coco



Fonte: Mattos et al, 2011.

No Brasil, o aumento no consumo urbano de água de coco levou ao crescimento da indústria de bebidas, que passou a comercializar água de coco engarrafada ou em caixinhas. Como resultado, cerca de sete milhões de toneladas de cascas de coco verde começaram a ser descartadas, criando um problema de gerenciamento de resíduos (Miola et al, 2020). A composição da casca, com cerca de 70% de água e fibras resistentes, dificulta seu descarte em aterros sanitários, pois ocupa muito espaço e demora muito tempo para se decompor (Furtado et al, 2012). Porém ainda existe uma escassez significativa de estudos que investiguem o potencial energético e a secagem solar de forma aprofundada da casca de coco verde. Diante disso, o presente trabalho pretende contribuir apresentando dados de caracterização e secagem do coco verde, para que estes possam contribuir para futuros estudos e aplicações para bioenergia.

### Metodologia

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica sobre os tipos de biomassa e suas caracterizações, avaliando os materiais orgânicos mais utilizados para geração de bioenergia, revisou-se dados e observou-se a escassez de estudos na literatura sobre as caracterizações e secagem do resíduo de casca de coco para fins energéticos. Foi então, selecionado o resíduo de casca de coco, Figura 2, obtido em mercados da região de Itajubá-MG.

Figura 2 - Casca de coco



Fonte: Autores, 2024.

Para que houvesse uma secagem eficiente e um melhor manuseio na caracterização foi necessário diminuir o tamanho da amostra, submeteu-se então a amostra úmida a um processo de trituração em um liquidificador (Figura 3).

Figura 3 - Casca de coco triturada úmida



Fonte: Autores, 2024.

Além da trituração com a amostra úmida, para a caracterização realizou-se uma nova trituração com a amostra seca e a separação granulométrica, adquirindo então sub-resíduos, sendo eles o pó, fibra e pó mais fibra.

Realizou-se um teste de secagem em secador solar (Figura 4), onde colocou-se o coco triturado em uma bandeja específica para o funcionamento do secador solar, com uma espessura de 2,5 cm e 510 g. O resíduo ficou das 9 horas até às 17 horas no secador solar com uma velocidade do ar de 1 m/s e mediu-se a massa a cada 30 minutos.

Figura 4 - Secador solar



Fonte: Autores, 2024.

Realizou-se também a secagem do coco verde triturado em secador de leito fixo com diferentes condições, com temperatura de 80°C, velocidade de 1 m/s e 2 m/s, espessura de 4 cm e 2,5 cm e pressão de 0 pascal e 36138 pascal.

Realizou-se picnometria com picnometria tradicional (metodologia 1) e picnometria com a amostra por 24 horas no picnômetro até decantação completa (metodologia 2), teor de cinzas, calorimetria e umidade.

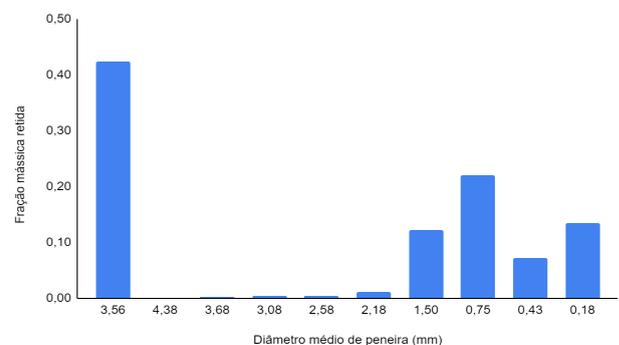
## Resultados e discussão

### Caracterização do resíduo

#### Peneiramento

O diâmetro médio de Sauter obtido foi de 0,69, o que se refere à medida média de partículas ponderada pela área superficial. Partículas menores, como as correspondentes a esse diâmetro, aumentam a área superficial em relação ao volume, facilitando a troca de calor e oxigênio. A Figura 5, nos mostra a distribuição das partículas nas peneiras, de acordo com o diâmetro médio. E como o esperado, a maior parte das partículas ficou na peneira de abertura maior, onde foram retiradas as fibras. Já nas peneiras menores ficou retido o pó em uma menor quantidade quando comparado com a fibra.

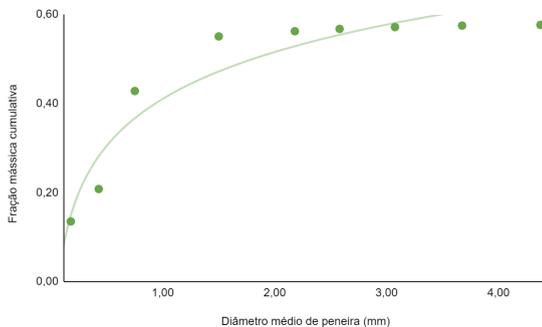
Figura 5 - Distribuição das partículas nas peneiras, de acordo com o diâmetro médio



Fonte: Autores, 2024.

Como pode-se observar na Figura 6 os pontos ficaram um pouco distantes da linha de tendência logarítmica, isso indica desvios na uniformidade do tamanho das partículas. Esses desvios sugerem que as partículas de casca de coco verde têm uma variação maior em relação ao diâmetro médio esperado. Por isso o presente trabalho optou-se por separar e avaliar individualmente cada partícula.

Figura 6 - Tendência logarítmica das distribuições das partículas em relação ao diâmetro médio.



Fonte: Autores, 2024.

### Picnometria, calorimetria, teor de cinzas

Os resultados da picnometria, calorimetria e teor de cinzas estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Massas específicas, calor específico e teor de cinzas do coco verde

	Pó	Casca	Fibra	Pó + Fibra
<b>Massa específica [g/mL] - Metodologia 1</b>	1,9198	0,6945	0,807	1,8246
<b>Massa específica [g/mL] - Metodologia 2</b>	0,8047	-	-	0,622
<b>Calor específico (cal/g°C)</b>	0,0561	0,2376	0,0593	0,0772
<b>Teor de cinzas (%)</b>	2,2632	5,1669	4,6098	-

Fonte: Autores, 2024.

O bom desempenho de biomassas como combustível sólido é associado a valores elevados da massa específica em termos de eficiência energética. Materiais mais densos contêm mais massa e, portanto, mais energia por unidade de volume, o que resulta em uma queima mais lenta, maior densidade energética, menor espaço de armazenamento e menor custo de transporte (Mello et al 2011).

Uma biomassa com calor específico mais baixo aquece e queima mais rapidamente, o que significa que libera energia calorífica mais rapidamente durante o processo de combustão, além de ser mais fácil de incendiar e manter uma chama constante, resultando em uma combustão mais completa e eficiente (Rodrigues, 2022). Isso é importante para minimizar a formação de resíduos não queimados, como fuligem, e maximizar a produção de calor útil. O pó, a casca e pó contendo fibra apresentaram valores de calor específico próximos do estudo feito por Mello et al (2011) para a casca do coco

verde. A fibra foi o que se mostrou de maior valor e o mais próximo da madeira seca que possui calor específico correspondente a 1,39 KJ/kg.K, conforme relatado por Peixoto et al, (1986).

O teor de cinzas é um fator importante a ser considerado ao selecionar e utilizar biomassa para bioenergia. Em muitos casos, é desejável minimizar o teor de cinzas para otimizar a eficiência da combustão e minimizar os impactos ambientais. Esse parâmetro constitui a parte inorgânica remanescente no combustível sólido, após sua completa combustão.

O fato da casca de coco verde ter teor de cinzas variando entre 1% a 5%, dependendo da sua classificação, significa que quase toda a sua massa é convertida em energia, tornando-a uma biomassa de alta eficiência energética com menos resíduos e problemas de manutenção. Canilha et al, 2007 exibiu valores de 1,61% de cinzas para o bagaço de cana.

### Umidade

A umidade do coco verde é elevada, com valores médios de 91,3323% para a casca mais escurecida e 90,6405% para a casca mais clara. Isso indica que ele possui uma quantidade elevada de água, afetando diretamente seu potencial como fonte de energia, uma vez que o poder calorífico de biomassa úmida é significativamente menor. A energia é consumida primeiro para evaporar a água, antes de começar a queimar a matéria orgânica, tornando o processo ineficiente. Biomassa com alta umidade pode causar problemas como dificuldade na ignição, formação de cinzas e incrustações no equipamento de queima (Pereira et al, 2014). A combustão direta de um material com umidade elevada seria ineficiente, liberando pouco calor e aumentando a emissão de poluentes devido à queima incompleta (Embrapa, 2016). Essa porcentagem de água na biomassa mostra que é necessário um processo de secagem dessa biomassa antes de usá-la como fonte energética.

### Teste de secagem em secador solar

Durante um processo de secagem de 8 horas para 510 g de amostra, a umidade inicial do coco era de 88,5% e a final era de 36,6% (Tabela 2). Isso mostra que o secador solar utilizado necessita de mais de um dia de secagem para que chegue na porcentagem de até 14% recomendada (Pereira et al, 2014), isso porque o secador solar precisa do sol para que haja a secagem e como a secagem foi feita em grande quantidade de resíduo o tempo de 8 horas não foi suficiente.

Tabela 2 - Umidade inicial e final da casca do coco

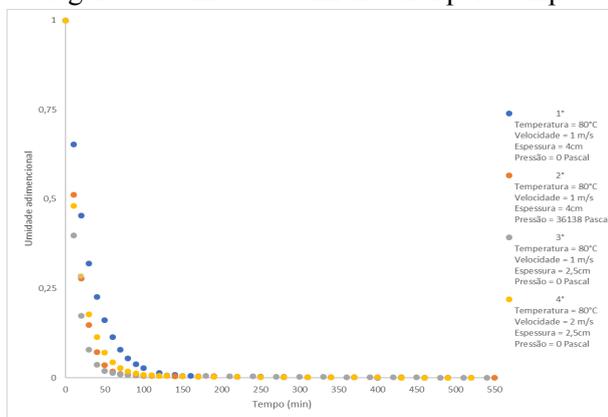
Umidade inicial (%)	Umidade final (%)
88,5	36,6

Fonte: Autores, 2024.

### Secagem do resíduo no secador de leito fixo

A Figura 7 apresenta a cinética de secagem da casca de coco verde em um secador de leito fixo para diferentes condições operacionais. Dados obtidos mostraram que a espessura teve maior impacto na secagem da casca de coco verde em relação a velocidade do ar.

Figura 7 - Umidade adimensional pelo tempo



Fonte: Autores, 2024.

### Conclusões

Com base na revisão bibliográfica realizada neste trabalho pode-se concluir que a grande demanda e circularização dos produtos obtidos pelo coco verde geram grandes quantidades de resíduos, fazendo necessário a busca por um destino ambientalmente correto para esses resíduos. O pré tratamento da casca de coco verde proporcionou a obtenção de sub-resíduos com características e comportamento distintos.

A umidade elevada mostrou a necessidade de realizar a secagem desse resíduo para aplicações posteriores. O tempo de secagem para o material durante a secagem solar não foi suficiente para a quantidade de amostra que foi exposta, isso indica que é necessário mais de um dia de secagem ou que seja menor a quantidade de amostra. Já a secagem em leito fixo mostrou que a espessura teve maior impacto na secagem. Não é possível comparar a secagem solar com a de leito fixo pois a quantidade de amostra que cada secador suporta é diferente.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos sub-resíduos da casca de coco verde foram satisfatórios, e pode-se constatar que a casca de

coco verde apresenta possível potencial energético para bioenergia, já que suas propriedades, tais como, massa específica, teor de cinzas e calor específico tiveram resultados promissores quando comparados com outras biomassas já utilizadas para geração de bioenergia.

### Agradecimentos

Agradeço a orientadora Máisa Tonon Bitti Perazzini por sua dedicação e tutoria, também à Universidade Federal de Itajubá, a FAPEMIG pela oportunidade da bolsa de Iniciação Científica e pelo financiamento do projeto (APQ-02488-21), EDITAL N° 001/2021 – Demanda Universal.

### Referências

- Canilha, L. et al. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar in natura, extraído com etanol ou ciclohexano/etanol. 21 set. 2007.
- Carmona, B. D. S.; Kassai, J. R. A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7. 24 jul. 2019.
- Corradini, e. et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. Revista brasileira de fruticultura, 2009.
- Embrapa; Uso da Biomassa para a Geração de Energia. 2016.
- Furtado, C. F. do C.; Gadelha, M. A. C. Os impactos ambientais do consumo do coco verde na Praia do Futuro em Fortaleza-CE. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012.
- Lourinho, G. Avaliação do potencial energético em biomassa do alto Alentejo. 1 nov. 2012.
- Mattos, A. L. A. et al; Beneficiamento da casca de coco verde. Fortaleza: Embrapa agroindústria tropical, 2011.
- Mello, F. S. B.; Tannous, K. Aproveitamento da casca do coco verde para geração de energia – caracterização e fluidodinâmica. Campinas: UNICAMP. 2011
- Miola, B.; et al. Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2020.
- Peixoto, R. A.; Amaral, L. J. Otimização energética de caldeiras a lenha através da pré secagem de cavacos utilizando gases efluentes da combustão. 28 nov. 1986.
- Pereira V. P.; et al. Caracterização física térmica de biomassa local. 2014.
- Rodrigues P. P. O.; Modelagem numérica do tratamento térmico de biomassa. 2022.