

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SECADOR SOLAR PORTÁTIL DE BAIXO CUSTO

Mécia Murielle dos Santos Lucena¹, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella²

Resumo: A utilização da energia do Sol para a secagem de alimentos é considerada uma alternativa promissora nos aspectos econômicos e ambientais no atual cenário brasileiro, pois o país possui altos índices de irradiação solar. A partir disso, este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho do protótipo de um secador solar portátil confeccionado com materiais reutilizados e de baixo custo, possui 43cm x 15cm de dimensão, e é construído utilizando madeira, vidro transparente, rolo de alumínio, pregos, tinta preta e tela de alumínio. Neste sentido, visando validar a funcionalidade e usabilidade do protótipo desenvolvido, foram realizados experimentos e análises com a exposição de frutas em espessuras diferentes. Os resultados dos testes realizados mostraram-se positivos, indicando a viabilidade do uso do secador proposto ao apresentar desempenho satisfatório.

Palavras-chave: Secador solar portátil; Baixo custo; Desidratação de alimentos; Energia solar térmica

1. INTRODUÇÃO

A desidratação de alimentos por meio do processo de secagem é considerada uma solução fundamental para preservar produtos alimentares e combater o desperdício [1]. Essa técnica, que envolve a remoção da umidade dos alimentos, é utilizada há séculos na conservação de vegetais, visando aprimorar sua preservação e armazenamento.

A secagem é um método antigo e eficaz de conservação de alimentos, e apresenta diversas vantagens, tais como: inibir o crescimento microbiano, removendo a umidade e reduzindo a degradação dos alimentos. Além disso, os alimentos secos podem ser armazenados por longos períodos sem perder seus nutrientes, ao contrário dos alimentos frescos. Também é importante ressaltar que a secagem não requer sistemas de refrigeração para preservação, o que reduz os custos com equipamentos auxiliares e energia elétrica. Ademais, a secagem de certos alimentos, como abacaxi, banana, tomate e maçã, resulta em uma significativa redução de volume, facilitando o armazenamento e diminuindo os custos de transporte.

Em países desenvolvidos, de toda a energia do Sol utilizada pelas indústrias, 10 a 20% são destinados a secagem de alimentos [2]. A energia solar oferece uma alternativa sustentável e eficaz para a secagem de alimentos, reduzindo a dependência de fontes de energia convencionais podendo ser aplicada tanto diretamente quanto indiretamente, ou seja, como a principal fonte de energia ou como um complemento.

Diante desses problemas, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um secador solar portátil confeccionado usando materiais reutilizados e de baixo custo. O secador solar em estudo será usado para desidratar frutas que, quando desidratadas, podem gerar subprodutos a serem consumidos ou vendidos.

2. SECADOR SOLAR

Segundo [3], os secadores representam dispositivos empregados no processo de desidratação, permitindo a deposição da matéria-prima em ambientes seguros para a execução do procedimento. Além disso, não geram poluentes e demonstram eficiência na conversão da energia solar em energia térmica. [4] destaca que um secador solar eficiente é composto por diversos elementos, que são: um coletor solar para a conversão da energia solar em energia térmica, uma câmara que possibilita a circulação do ar de secagem, um espaço específico para a deposição da matéria-prima e um meio que garanta a troca de calor entre o ar e os materiais depositados.

Normalmente, a classificação dos secadores solares é feita levando em consideração os materiais utilizados em sua construção, o design adotado, o tipo de fonte de calor auxiliar empregado, a exposição dos itens a serem secados à radiação solar, bem como o método de secagem, seja ele passivo ou ativo, entre outros aspectos [5]. A classificação concentra-se na exposição da matéria-prima à radiação solar. A secagem pode ocorrer por exposição direta à radiação solar, na qual os produtos são expostos diretamente à radiação dentro do secador; por exposição indireta, na qual a radiação incide nos produtos depositados em uma câmara; ou por exposição mista, quando o processo de secagem combina tanto a exposição direta quanto a indireta. A Figura 1 ilustra as diferentes classes (ativas e passivas), nos sistemas ativos são integrados ventiladores com a finalidade de direcionar o ar sobre o alimento, enquanto os sistemas passivos o ar circula de maneira natural.

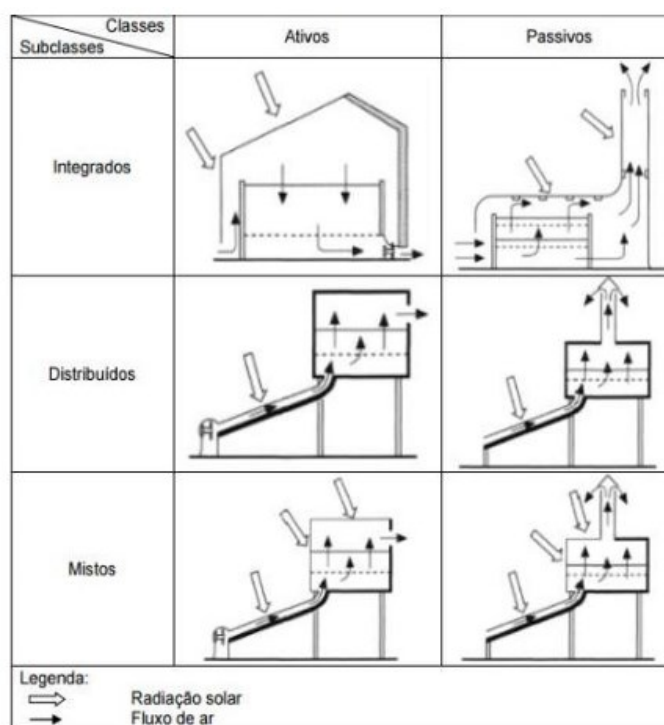


Figura 1 - Classificação dos secadores solares. [6]

A Figura 2 mostra o esquema de um secador de exposição direta e seus principais componentes, no qual opera com circulação natural de ar. Em seu estudo sobre o processo de secagem de frutas, [6] utilizou um secador solar que aproveita a conversão natural do ar e a exposição direta à radiação solar. Nesse contexto, a construção de um secador solar portátil de baixo custo poderia ser uma alternativa viável, visto que além de ser econômico, pode ser uma alternativa eficiente na desidratação de frutas ou outros produtos agrícolas. Além disso, por ser portátil, o secador solar oferece a vantagem de ser facilmente transportado e instalado em diferentes locais conforme a necessidade.

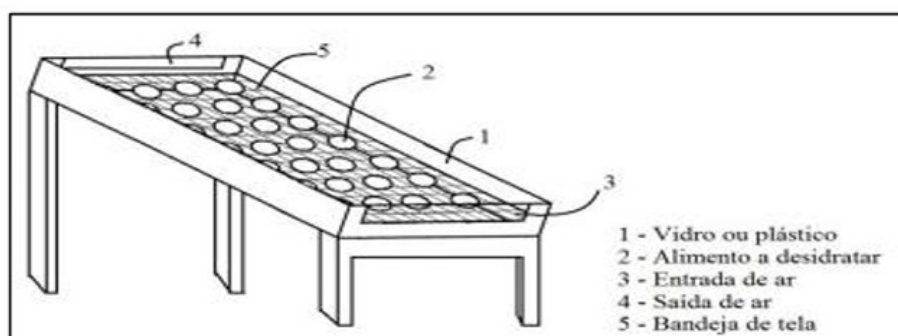


Figura 2 - Esquema de um secador solar de exposição direta. [7]

Conforme ilustrado na Figura 3, no secador solar de exposição indireta, o produto a ser secado é colocado em uma câmara de secagem, onde o calor necessário para o processo de secagem é gerado por um coletor. Esse coletor converte a energia solar em calor. Para garantir a eficiência do processo, o interior da câmara deve ser revestido com uma tinta apropriada, e as paredes devem ser isoladas para evitar perdas de energia.

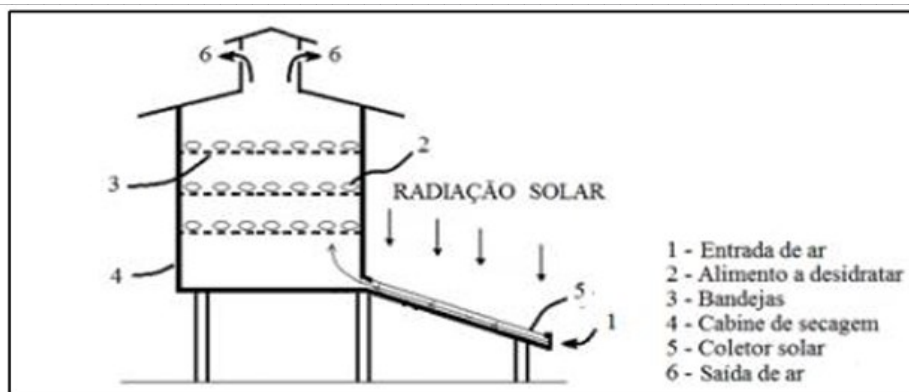


Figura 3 - Esquema de um secador solar de exposição indireta. [7]

Com base na classificação dos secadores solares apresentada anteriormente, o Item 3 abordará os materiais e a metodologia empregados na construção do protótipo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentadas as etapas de construção do protótipo do secador solar, desde a separação dos materiais até a etapa de finalização e teste, conforme ilustrado na Figura 4.

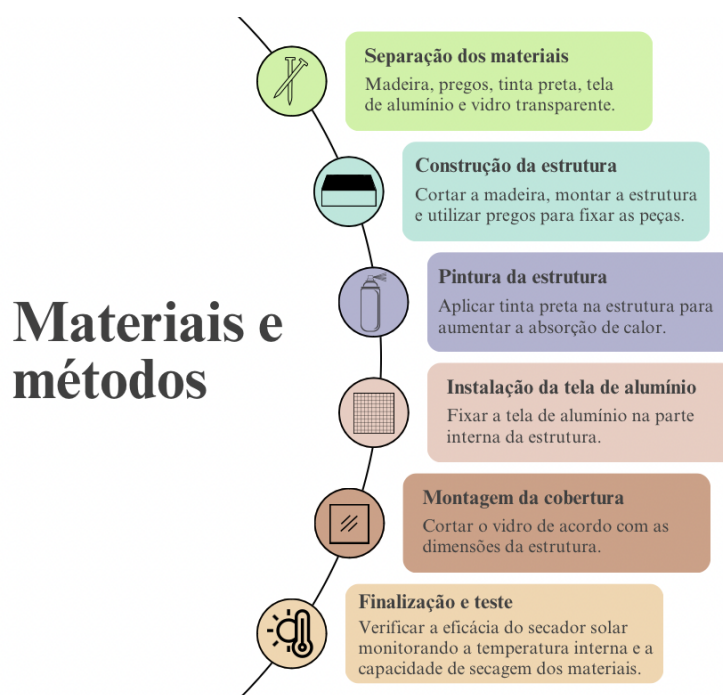


Figura 4 - Etapas da construção do secador solar. (Autoria própria)

Como mostra a Figura 4, a primeira etapa do projeto consiste em realizar a separação dos materiais, que inclui madeira, pregos, tinta preta, cilindro de alumínio, tela de alumínio e vidro transparente. Após a seleção dos materiais, prossegue-se com a construção da estrutura, cortando a madeira e montando-a com pregos para garantir a estabilidade, conforme detalhado no subitem 3.1. A etapa subsequente é a pintura da estrutura, onde a aplicação de tinta preta visa aumentar a absorção de calor. Segue-se a instalação da tela de alumínio na parte interna. Na sequência é realizada a montagem da cobertura cortando o vidro conforme as dimensões da estrutura.

A última etapa foi a de ensaio e validação. Para que o processo de secagem fosse realizado com êxito, os alimentos foram posicionados sobre a tela dentro do secador, garantindo que estivessem distribuídos de forma uniforme para uma secagem homogênea. É essencial monitorar regularmente a temperatura e a umidade dentro do secador para garantir condições ideais de secagem e evitar a deterioração dos alimentos. Além disso, é importante considerar a higienização adequada dos alimentos antes da secagem, bem como a proteção contra insetos e outros contaminantes durante o processo. Dependendo do tipo de alimento e das condições climáticas, o tempo de

secagem pode variar, sendo necessário ajustar a exposição ao sol e a ventilação conforme necessário. Ao final do processo, as frutas devem estar completamente secas e prontas para armazenamento.

3.1. CONSTRUÇÃO DO SECADOR SOLAR

O protótipo desenvolvido possui 43cmx15cm de dimensão e foi confeccionado com materiais reutilizados ou de baixo custo. Foram aproveitadas duas madeiras de pinho descartadas e combinadas com outros materiais reciclados, como o vidro adquirido no setor de reciclagem da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Além disso, a tela de alumínio foi adquirida por R\$14,30 no mercado local, e a estrutura interna da caixa foi pintada com tinta spray fosca de cor preta reaproveitada e utilizada para ajudar na absorção da energia solar.

Adicionalmente, foi colocada sobre a estrutura uma cobertura de vidro transparente com 4 mm de espessura, para maximizar a troca de calor. Foi colocada uma tela feita de alumínio para suspender as frutas. Optou-se por fixar uma tela de nylon suspensa nas entradas e saídas de ar nas laterais, para evitar a entrada de insetos, que foram realizadas com o uso de uma furadeira. Por fim, o protótipo foi colocado sobre um suporte de madeira reciclada, embora outras opções possam ser utilizadas para melhorar a ergonomia durante o manuseio e evitar a presença de insetos rastejantes. As figuras 5 e 6 mostram o protótipo com suas dimensões e sua montagem completa, respectivamente.

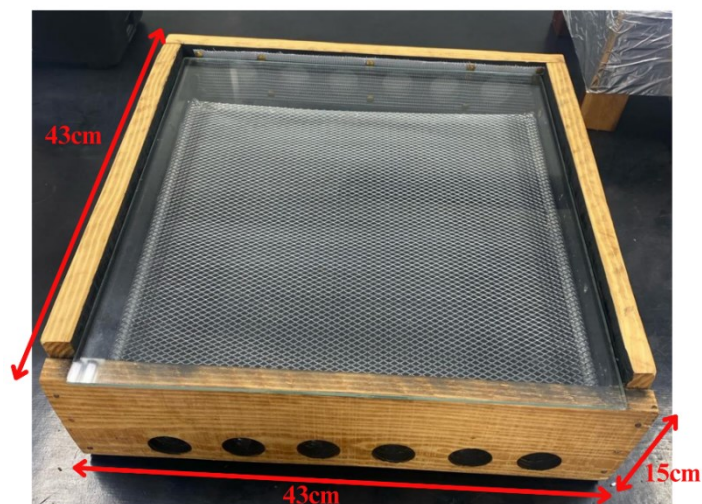


Figura 5 - Dimensões do secador solar reciclável. (Autoria Própria)
Entrada de ar

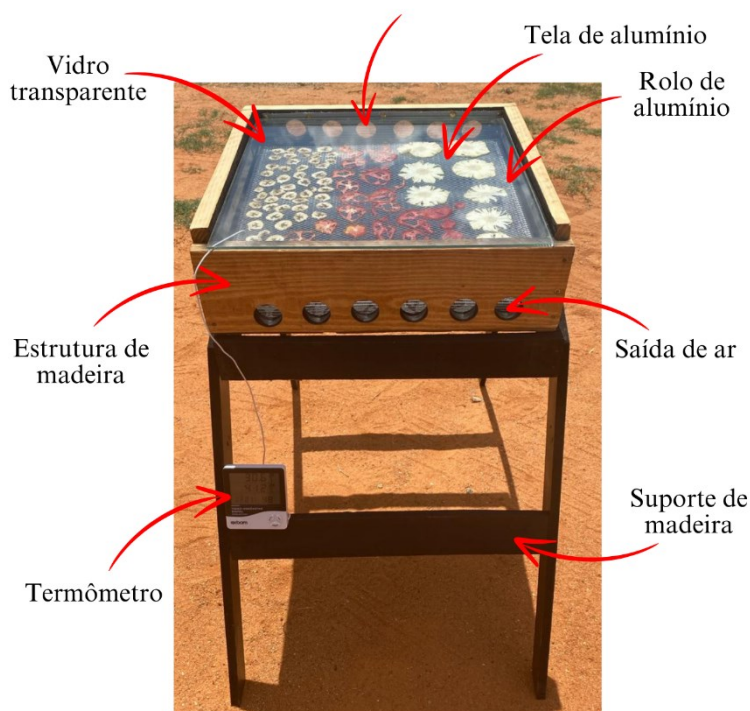


Figura 6 - Montagem completa do secador solar proposto. (Autoria própria)

3.2. COLETA DE DADOS

Com o objetivo de avaliar o desempenho do secador solar portátil, foram realizados dois experimentos próximos ao Laboratório de Engenharia I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, situado na cidade de Mossoró-RN. Esses experimentos foram conduzidos em uma área aberta, exposta diretamente ao sol durante todo o dia e com boa ventilação.

O Experimento 1 e o Experimento 2 ocorreram ao longo de 3 horas. O primeiro, no dia 09/01/2024, das 09h03min às 12h05min e o segundo, no dia 29/02/2024, das 09h13min às 12h13min. Para a coleta de dados, foram utilizados alguns equipamentos e materiais, tais como um medidor digital de energia solar, esse instrumento registra a intensidade da radiação solar ao longo do dia; um termômetro digital que é utilizado para monitorar a temperatura interna e externa do secador, isso é importante para entender como a temperatura afeta o processo de secagem; uma balança digital utilizada para mensurar a massa das frutas que estão sendo desidratadas, o que permite acompanhar a perda de água durante o processo.

O tempo de exposição dos alimentos ao Sol foi registrado em cada experimento, pois ajuda a determinar o tempo necessário para atingir a desidratação desejada. São coletadas amostras das frutas tanto na entrada quanto na saída do secador solar, permitindo comparar a eficiência da secagem ao longo do processo.

Com base nos dados coletados, é possível calcular o desempenho do secador solar portátil, e isso envolve avaliar a relação entre a energia solar absorvida e a quantidade de água removida dos alimentos. A Equação 1 foi utilizada para calcular o percentual de água removido das frutas, com base nos dados de massa de água coletados. Os resultados obtidos devem ser compatíveis com a classificação de frutas secas ou desidratadas, conforme estipulado pela Resolução CNNPA nº 12, da ANVISA [8], que estabelece um limite de 25% para o teor de água nos alimentos para eles serem considerados secos ou desidratados.

$$Pu = \frac{(Mi - Mf) * 100}{Mi} \quad (1)$$

Onde: Pu é a perda de massa de água em porcentagem, Mi é a massa inicial da fruta (g) e Mf é a massa final da fruta (g).

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Nesta seção são mostrados os experimentos realizados com o objetivo de validar a funcionalidade e usabilidade do protótipo em condições reais de uso. Sendo assim, a subseção 4.1 e 4.2 mostram as análises realizadas nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Ao final da subseção, é realizada uma comparação dos resultados da secagem das frutas entre esses dois experimentos.

4.1. EXPERIMENTO 1

O Experimento 1 foi realizado no dia 09/01/2024, das 09h03min às 12h05min, em condições climáticas favoráveis, caracterizadas por céu limpo e ventos estáveis. Durante a análise, foram realizadas medições de massa das frutas, irradiância solar e temperatura do ar de entrada e saída antes e após sua exposição ao Sol, visando monitorar o processo de secagem das frutas e obter dados em intervalos semelhantes aos utilizados em estudos anteriores, [9].

Inicialmente, as frutas foram cuidadosamente higienizadas em água com vinagre e cortadas em fatias uniformes, com aproximadamente 5mm de espessura, e pesadas em uma balança digital. Então, estas fatias foram dispostas de maneira homogênea sobre a tela de alumínio dentro do secador solar. Ao longo do experimento, as frutas (abacaxi, banana, tomate) foram expostas à radiação solar por um período total de 3 horas consecutivas, para redução do teor de água. Após a conclusão do experimento, as frutas foram retiradas do secador, pesadas novamente e armazenadas em um recipiente fechado. Os dados referentes às medições de massa antes e após a exposição solar, temperatura e irradiância solar estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados coletados do experimento 1.

Data	Horário	Massa (g)			Temperatura °C		Irradiação (W/m²)
		Abacaxi	Banana	Tomate	Interna	Externa	
09/01/2024	09:03	109	57	90	30.8	32.4	1051
09/01/2024	12:05	33	10	12	33.1	42.1	1508

Fonte: (Autoria própria)

Como já mencionado, geralmente, frutas secas ou dessecadas apresentam cerca de 25% da massa da fruta fresca em suas propriedades físico-químicas, o que corresponde a uma redução de 100% da massa inicial para 25%. Após

3 horas de experimento, o abacaxi, a banana e o tomate apresentaram uma perda de massa de aproximadamente 70%, 82,46% e 86,67%, respectivamente, resultando em um teor de umidade de 30,3%, 17,54% e 13,33%, na devida ordem. O abacaxi, devido à espessura do corte, não atingiu os 75% de perda de massa. Com isso, será necessária a realização de um segundo experimento, com espessura de 4mm, para obter o resultado desejado. A Figura 7 mostra a aparência inicial e final das frutas após o experimento.



Figura 7. Experimento 1 - Antes e depois da secagem dos alimentos. (Autoria própria)

4.2. EXPERIMENTO 2

Com o intuito de investigar a influência da espessura das fatias, o segundo experimento utilizou o abacaxi, com uma massa inicial de 100 gramas, também cortadas manualmente com o auxílio de uma faca de cozinha, em espessuras de 4mm. O objetivo deste experimento era observar o tempo necessário para a secagem do abacaxi com uma espessura reduzida. Este novo ensaio foi realizado pouco mais de um mês após o ensaio anterior, ou seja, no dia 29/02/2024. As condições verificadas no local se mostravam um céu limpo, com algumas nuvens esparsas. Os dados referentes à massa, temperatura e irradiação solar medidas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados coletados do experimento 2.

Data	Horário	Massa (g)	Temperatura °C		Irradiação (W/m ²)
		Abacaxi	Interna	Externa	
29/02/2024	09:03	100	30,5	30,0	1241
29/02/2024	12:05	23	39,4	31,4	1579

Fonte: (Autoria própria)

Dessa vez, o resultado foi satisfatório para o abacaxi. Registrou uma redução percentual na massa inicial de aproximadamente 23% ao final do experimento, após as 3 horas de secagem. A aparência inicial e final do abacaxi após o experimento pode ser observada na Figura 8.

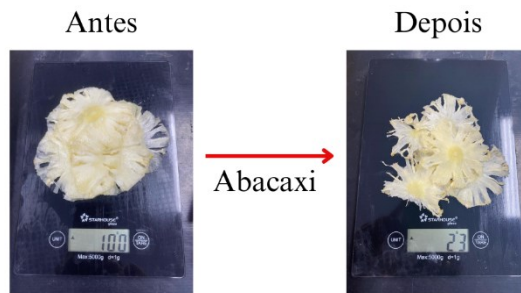


Figura 8. Experimento 2 - Antes e depois da secagem dos alimentos. (Autoria própria)

Finalizando os experimentos e ao comparar os resultados da secagem das frutas neste estudo, observa-se uma diferença significativa entre o experimento 1 e o experimento 2. No experimento 1, onde as frutas foram fatiadas com espessura de 5mm, a massa final do abacaxi foi maior em comparação ao experimento 2, no qual as frutas foram cortadas com uma espessura de 4mm. Isso destaca a influência da espessura do corte no processo de secagem. A massa úmida do abacaxi, banana e tomate após atingir os 75%, é representada no Gráfico 1.

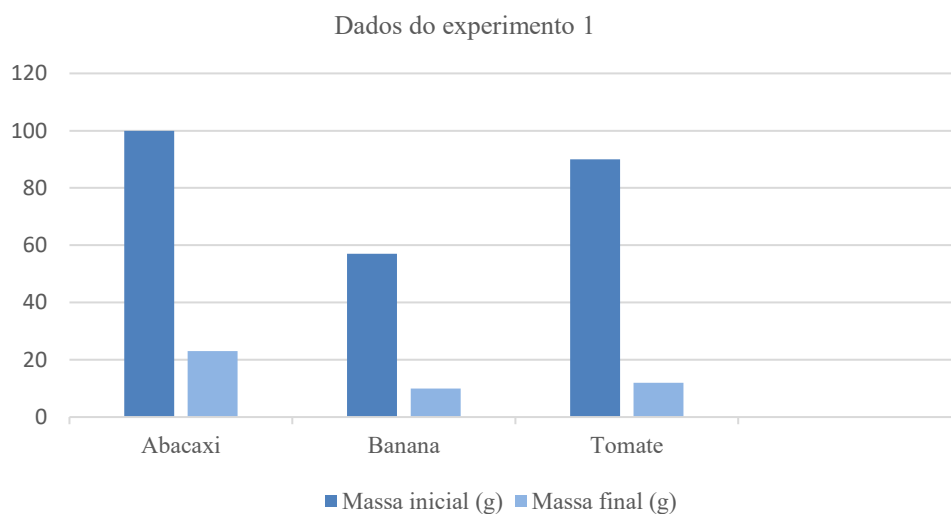


Gráfico 1. Experimento 1 e 2 - Massa úmida das frutas após 3 horas de exposição. (Autoria própria)

A Tabela 3 apresenta o percentual de água removido das frutas após a realização dos experimentos, calculado usando a Equação 1.

Tabela 3 - Percentual da perda de água da massa das frutas.

Frutas	Experimento 1	Experimento 2
Abacaxi	70%	77%
Banana	82%	82%
Maçã	*	84%
Tomate	86%	*

Fonte: (Autoria própria)

Nota: * Nesse experimento não ocorreu o teste

5. CONCLUSÃO

Os resultados dos testes realizados evidenciaram a viabilidade do uso do secador construído a partir de materiais reutilizados. Ambos os experimentos apresentaram um bom desempenho, demonstrando que em apenas 3 horas de secagem das frutas, a perda percentual de massa de água já havia ultrapassado os 75% necessários para a classificação das frutas como secas, porém o abacaxi obteve melhor desempenho quando a espessura foi diminuída para 4mm. Vale destacar que o secador solar não demanda custos adicionais com energia elétrica da rede, sendo ideal para áreas rurais afastadas, onde o acesso à rede elétrica pode ser limitado ou inexistente, especialmente em regiões de clima semiárido, como a cidade de Mossoró, local onde foi realizado os testes, e região.

Dessa forma, o secador solar portátil de baixo custo representa uma alternativa eficaz para conservar alimentos e prolongar sua vida útil. A acessibilidade desse tipo de secador pode garantir renda e emprego para comunidades carentes, ao mesmo tempo em que gera subprodutos, como o abacaxi, tomate e a banana, que podem ser utilizados como matéria-prima em diversas receitas, ampliando as possibilidades de aproveitamento dos alimentos.

Para futuros trabalhos, recomenda-se dividir os dias de experimento de acordo com os percentuais de água das frutas e verificar o desempenho, testar com alimentos com menor percentual de água e maior espessura, e menor percentual de água e espessura maior, além de aprimorar ainda mais o design do secador para aumentar sua portabilidade e facilidade de manuseio. Isso pode incluir a adição de rodas ou alças para facilitar o transporte, ou a criação de um design modular que possa ser facilmente montado e desmontado. Além disso, seria interessante explorar a possibilidade de incorporar um sistema de controle de temperatura para otimizar ainda mais o processo de secagem. Também recomenda-se realizar testes com diferentes tipos de alimentos para analisar o desempenho atingido. Isso poderia incluir a secagem de legumes, ervas, carnes e até mesmo grãos.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos de caso em comunidades rurais para avaliar o impacto do secador na geração de renda e emprego, bem como na redução do desperdício de alimentos. Isso ajudaria a demonstrar o custo-benefício do secador solar portátil.

REFERÊNCIAS

- [1] GASPAR, I., RAMALHO, R., & MUTEIA, H. (2017). O desperdício alimentar em Portugal: Qual o papel do Nutricionista? *Acta* <https://doi.org/10.21011/apn.2017.1107> Portuguesa de Nutrição, 11, 42–45.
- [2] MUJUMDAR, A. S. (2012). *Modern drying technology. 4: Energy savings*. Wiley-VCH.
- [3] COSTA, J. B. S. Obtenção e caracterização de farinha de frutas e vegetais através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- [4] TABORDA, D. M. Uso de energia solar para o aquecimento do ar em secadores de grãos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de São João del Rei. São João del Rei, p.74, 2017.
- [5] LINGAYAT, A., BALIJEPALLI, R., CHANDRAMOHAN, V. P. Applications of solar energy based drying technologies in various industries – A review. *Solar Energy*. n.229, p 52-68, 2021.
- [6] NUNES, A. G., SALES, A. Q., MARTINS, R. C. G., GRILO, M. B. Secador solar usado na secagem de banana. *Brazilian Journals of Business*. Curitiba, v. 1, n. 4, dezembro, 2019
- [7] SILVA, T. S. Estudo de um secador solar fabricado a partir de sucata de tambor depolietileno. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, p.87, 2013.
- [8] ANVISA, Resolução - CNNPA nº 12. 1978. Disponível em: Acesso em: 20 jan. 2024.
- [9] LIMA, Keliany da Silva. Secador solar de baixo custo no semiárido potiguar: análise do desempenho. 2017.2. 11p. Artigo (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2018.