



**EFICIÊNCIA DE SECAGEM DA PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum* L.) EM DOIS
MODELOS DE TERREIRO SUSPENSO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

**DRYING EFFICIENCY OF BLACK PEPPER (*Piper nigrum* L.) IN TWO SUSPENDED
DRYING YARD MODELS IN THE AMAZON REGION**

Michel Lima Vaz de Araújo

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0587-2636>
E-mail: miixxell@hotmail.com

Myrella Katlhen da Cunha de Araujo

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0579-6901>
E-mail: myrellakaraujo@gmail.com

Wesly Prazeres de Oliveira

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil
Orcid link: <https://orcid.org/0009-0007-1240-4124>
E-mail: dtmwesly@gmail.com

Magnun Antonio Penariol da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4375-5783>
E-mail: magnun.penariol@ufra.edu.br

Submetido: 6 jun. 2023.

Aprovado: 24 jul. 2023.

Publicado: 10 ago. 2023.

E-mail para correspondência:

myrellakaraujo@gmail.com

Resumo: A secagem de grãos em terreiro suspenso evita a troca de umidade com o solo e a sua fermentação. Além disso, na secagem suspensa, o uso de materiais alternativos pode baratear e potencializar a eficiência da secagem. O objetivo da pesquisa foi comparar a eficiência de secagem de pimenta-do-reino em dois modelos de terreiro suspenso. Além disso, avaliar o balanço de energia no processo de secagem. O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural da Amazônia, município de Tomé-Açu, Estado do Pará. Foi feita a secagem da pimenta-do-reino em cada modelo de secagem (secagem em terreiro suspenso com uso de tela plástica de sombreamento com malha de 50 % e secagem em terreiro suspenso com uso da manta térmica aluminada), e a avaliação do balanço energético e custo de secagem. A secagem da pimenta-do-reino em terreiro suspenso com manta térmica aluminada foi mais rápida (52h30) e de maior eficiência energética (1012 Wh diário) comparado a secagem em terreiro suspenso com tela sombrite (malha 50 %). Para mais, os custos de implantação não diferiram, pois o custo de implantação por metro quadrado no mercado varejista do município de Tomé-Açu, foi de R\$ 66,55 para o terreiro com manta térmica aluminada, e R\$ 66,57 para o terreiro com tela sombrite (malha 50 %). Dessa forma, materiais alternativos podem oferecer menor custo de implantação para a secagem agrícola.

Palavras-chave: Balanço energético. Custo de implantação. Eficiência energética.

Abstract: Grain drying on a suspended terrace prevents the exchange of moisture with the soil and its fermentation. In addition, in suspended drying, the use of alternative materials can reduce costs and enhance drying efficiency. The objective of the research was to



compare the drying efficiency of black pepper in two models of suspended terrace. Also, evaluate the energy balance in the drying process. The study was carried out at the Federal Rural University of Amazônia, municipality of Tomé-Açu, State of Pará. Black pepper was dried in each drying model (drying on a suspended terrace using a plastic shading screen with a 50% mesh and drying on a suspended terrace using an aluminated thermal blanket), and the balance energy and drying cost. Black pepper drying on a suspended patio with an aluminated thermal blanket was faster (52h30) and more energy efficient (1012 Wh daily) compared to drying on a suspended patio with shading screen (50% mesh). Moreover, the implantation costs did not differ, since the implantation cost per square meter in the retail market of the municipality of Tomé-Açu, was R\$ 66.55 for the patio with aluminized thermal blanket, and R\$ 66.57 for the patio with shading screen (50% mesh). In this way, alternative materials may offer lower implementation costs for agricultural drying.

Keywords: Energy balance. Implementation cost. Energy-efficient.

Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é uma espécie perene e trepadeira originária da Índia, pertencente à família Piperaceae ⁽¹⁾. A cultura é a especiaria mais consumida no mundo, sendo utilizada *in natura*, no preparo de alimentos industrializados, pela indústria farmacêutica, cosmética e de perfumaria ⁽²⁾.

A produção de pimenta-do-reino no Brasil tem uma importância significativa na economia agrícola, especialmente na região Norte, onde o clima tropical favorece o cultivo dessa especiaria. Segundo a Embrapa ⁽³⁾, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de pimenta-do-reino, com o Pará sendo o estado líder em produção. Em particular, a cidade de Tomé-Açu tem se destacado na produção dessa especiaria. De acordo com a Agência Pará ⁽⁴⁾, Tomé-Açu é responsável por cerca de 80% da produção de pimenta-do-reino no estado do Pará. A cidade tem investido em tecnologias e práticas sustentáveis para aumentar a produtividade e a qualidade da pimenta-do-reino, como relatado por Silva *et al.* ⁽⁵⁾.

Sobretudo, é importante destacar que a pesquisa foi realizada durante o período de verão amazônico. De acordo com a pesquisa de Silva *et al.* ⁽⁶⁾, o período de verão amazônico é marcado por "chuvas intensas e frequentes, que fornecem uma quantidade significativa de água para a bacia amazônica e influenciam o funcionamento dos ecossistemas locais". Essas chuvas são essenciais para a regulação do clima regional e global, bem como para o sustento da biodiversidade e das atividades humanas que dependem dos recursos naturais da Amazônia.



O período de colheita no Pará, concentra-se nos meses de agosto a novembro. Na fase de pós-colheita, as espigas são debulhadas (retirada dos frutos de seus cachos) e postas para secar ao sol ou em secadores mecânicos ⁽⁷⁾. Essa etapa requer cuidados para manutenção da qualidade do produto, pois apresenta os maiores índices de perdas, especificamente no processo de secagem, que envolve a retirada parcial de água do grão ⁽²⁾.

Na região de Tomé-Açu, Pará, a secagem utiliza fonte de energia solar e eólica, com predomínio da secagem em lona. Todavia, a secagem em terreiro suspenso, apesar de pouco utilizada devido aos custos de implantação pode ser uma alternativa para a região amazônica, quando comparado a secagem em lona, protege os grãos das intempéries e dificulta o acesso de animais ao produto, reduzindo riscos de contaminação ⁽²⁾.

O método de secagem por terreiro suspenso é caracterizado pela disposição dos grãos sobre uma tela de sombreamento com malha, que proporciona a continuidade do processo de secagem mesmo na ausência do sol, já que evita a troca de umidade com o solo e a fermentação devido a ventilação constante por baixo da massa de grãos ⁽⁸⁾.

Contudo, o período de secagem natural da pimenta-do-reino é de 3 a 6 dias, com rendimento final de 30 a 35 % da massa úmida do grão da pimenta-do-reino ⁽⁷⁾. A fim de melhorar a eficiência de secagem em terreiro suspenso, e talvez, reduzir o tempo de secagem, podem ser utilizados materiais alternativos e de baixo custo pensando no pequeno produtor. Dessa forma, a manta de alumínio utilizada na construção civil, cujas propriedades garantem a retenção de calor, poderia influenciar na diminuição do tempo de secagem de grãos de pimenta-do-reino.

Sobretudo, o estudo aborda a análise energética a fim de comprovar a eficiência do material proposto. A análise energética é caracterizada como um instrumento complementar de avaliação de processos produtivos, principalmente no tocante a sustentabilidade ⁽⁸⁾. Nesse sentido, podemos exemplificar os trabalhos de Chojnacka *et al.* ⁽⁹⁾, Portella e Eichelberger ⁽¹⁰⁾ e Wang *et al.* ⁽¹¹⁾, realizados no sentido de conhecer a eficiência de processos de secagem natural e artificial de grãos

Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi comparar a eficiência de secagem de pimenta-do-reino em dois modelos de terreiro suspenso. Além de avaliar o balanço energético e custo de implantação no processo de secagem da massa de pimenta-do-reino ^(12,13,14).



Metodologia

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no Campus Tomé-Açu, estado do Pará, com coordenadas geográficas (02° 25' 08" S, 48° 09' 08" W) e altitude de 45 metros. O experimento foi realizado durante o segundo semestre de 2019, período de verão amazônico.

Foram adquiridos 20 kg de pimenta-do-reino da variedade Cingapura, recém colhidas e debulhadas (retirada dos frutos de seus cachos manualmente). A escolha da variedade foi atribuída a preferência regional.

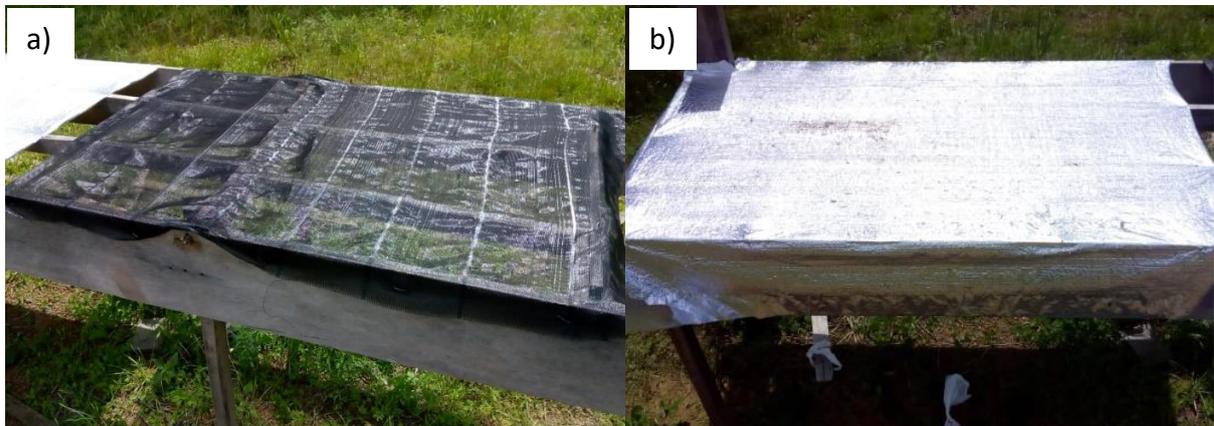
Antes da secagem nos terreiros suspensos, os frutos tiveram sua massa aferida em balança de analítica no laboratório de Engenharia Rural da UFRA, posteriormente, separadas duas subamostras com massa equivalente a 5 kg cada, em recipientes plásticos identificados. As amostras foram levadas aos terreiros suspensos e espalhadas sobre a manta térmica aluminada e sobre a tela sombrite 50 %.

Dessa forma, o delineamento experimental consistiu em dois tratamentos: 1) Modelo de secagem em terreiro suspenso com uso de tela plástica de sombreamento com malha de 50 %, 2) Modelo de secagem em terreiro suspenso com uso da manta térmica aluminada. Com duas repetições de 5 kg e 8 dias de medições da massa dos grãos.

Foram construídos dois terreiros suspensos de madeira, ambos com dimensões: 100 cm de largura, 200 cm de comprimento e 80 cm de altura. Os terreiros receberam uma estrutura de cobertura, composta de uma lona plástica transparente, posicionada a uma altura de 70 cm acima da massa das amostras, a fim de garantir proteção contra intempéries.

Para o primeiro terreiro, o assoalho foi uma tela plástica de sombreamento com malha de 50 %, material comumente utilizado em diversas regiões brasileiras (Figura 1a). No segundo terreiro suspenso, foi utilizado para o assoalho uma manta térmica aluminada simples, empregada em coberturas residenciais para reduzir os efeitos da temperatura em seu interior. A manta foi manualmente perfurada com pregos em toda a extensão de área que entrou em contato com a massa de pimenta-do-reino, para garantir a aeração da amostra (Figura 1b).

Figura 1. a) Modelo de secagem em terreiro suspenso com uso de tela plástica de sombreamento com malha de 50 % b) Modelo de secagem em terreiro suspenso com uso da manta térmica aluminada



Fonte: Dos autores (2019).

O experimento iniciou no dia 21 de agosto de 2019 (15:00h), com grãos frescos em cada terreiro suspenso e revolvimento manual periódico. A cada 03h00 foram retiradas as amostras dos terreiros e levadas ao laboratório para aferir a massa, afim de observar a redução da massa das amostras. Ainda, as amostras eram armazenadas no laboratório durante a noite, sem controle das condições climáticas, como realizado pelo produtor. O parâmetro utilizado para término do experimento foi conforme rege o estudo de Fraife Filho ⁽⁷⁾, quando uma das amostras apresentou massa igual ou inferior a 3,50 kg, correspondendo a 35 % de 10 kg, massa inicial das subamostras.

Os dados coletados foram organizados e analisados a fim de observar qual modelo de terreiro suspenso apresentou maior eficiência no processo de secagem de grãos de pimenta-do-reino, levando em consideração a quantidade de horas de exposição solar e demais condições ambientais.

O balanço energético foi realizado de acordo com o estudo de Mello ⁽¹⁵⁾, útil ao mensurar a energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água presente no produto durante o processo de secagem, verificado a partir da equação 1.

$$ET = \frac{EC * (100 - U_f)}{M_i * (U_i - U_f)} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

ET = consumo específico total de energia, kJ kg^{-1} de água evaporada;

EC = energia consumida na secagem (térmica + elétrica), kJ;



Ui = teor de água inicial dos grãos, % b.u.;

Uf = teor de água final dos grãos, % b.u.;

Mi = massa inicial de grãos.

Para obtenção da energia consumida na secagem (EC) foi feita uma associação entre a energia elétrica produzida por um painel solar fotovoltaico, com área igual a área dos terreiros suspensos. Tal energia obtida, correspondeu a quantidade consumida para o processo de secagem.

O painel solar fotovoltaico de referência foi o Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 150 W - Risen RSM36-6-150 P, disponível pela Neosolar ⁽¹⁶⁾, certificado pelo (INMETRO: 001698/2016), com dimensões 1480 x 680 x 30 (mm), área de 1,0064 m², eficiência de 15,15 % e nota "A". Capaz de gerar até 506 Wh dia⁻¹, equivalente a 1821,6 kJ dia⁻¹. Dessa maneira, foi estabelecido: 1kWh = 3600 kJ 1Wh⁻¹ = 3,6 kJ.

Com a relação da energia gerada por hora pelo painel solar, foi conhecido o produto da quantidade de horas de exposição da pimenta-do-reino ao sol, pela quantidade de energia produzida por hora, obtendo a EC (energia consumida na secagem em kJ). Quanto ao teor de água admitido, conforme Alves ⁽²⁾ o teor de água inicial dos grãos após a colheita é de 65 %, e o teor de água final deve ser de 10 a 14 %.

Para verificar os custos para a implantação dos sistemas de secagem de pimenta-do-reino em terreiro suspenso foram anotados os valores gastos na aquisição de materiais para a construção de 1 m² de cada modelo de terreiro, com valor dos materiais proveniente do comércio varejista local. O custo com mão-de-obra foi o valor atual de hora homem de trabalho de um trabalhador rural braçal. Por fim, foi realizada a simulação do custo de implantação de uma área de secagem para receber uma tonelada de pimenta-do-reino fresca, dados aproximados a realidade local amazônica.

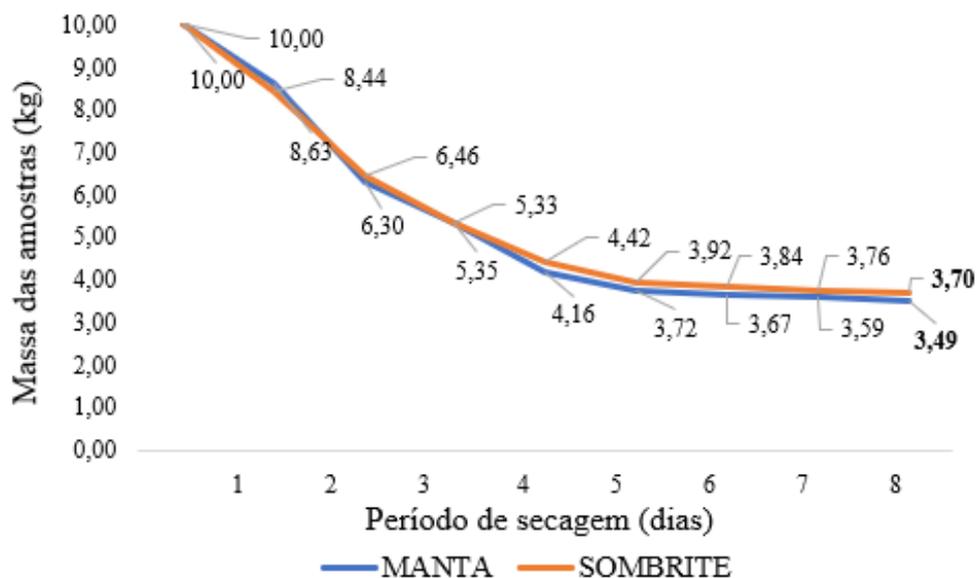
Os dados obtidos foram submetidos ao teste Teste t com nível de significância α de 5 %, utilizando o software SPSS versão 22.0.

Resultados e Discussões

Os resultados não revelaram diferenças significativas na perda de massa entre os dois modelos de secagem (Figura 2). Isso está de acordo com pesquisas anteriores que também investigaram métodos de secagem suspensa de produtos agrícolas ^(17,8).

No primeiro dia, a amostra seca sobre a manta térmica aluminada apresentou uma redução de 13,68% da massa de grãos, enquanto a amostra seca sobre a tela de sombreamento com malha de 50% apresentou uma redução de 15,78%. Após oito dias, o terreiro suspenso com manta térmica aluminada apresentou uma redução de 34,92% da massa inicial, enquanto o terreiro suspenso com tela sombrite 50% apresentou uma redução de 37,01% da massa inicial. Esses resultados indicam que a perda de massa continua progressiva ao longo do tempo, independente do modelo de secagem utilizado (Figura 2).

Figura 2. Perda de massa das amostras de secagem suspensa com manta térmica laminada e secagem suspensa com tela sombrite 50%



Fonte: Dos autores (2019).

Os resultados obtidos neste estudo estão em concordância com as pesquisas anteriores que também investigaram métodos de secagem suspensa de produtos agrícolas. Fraife Filho ⁽⁷⁾ observou que o período de secagem da pimenta-do-reino por exposição ao sol



pode variar de 3 a 6 dias. No entanto, neste experimento, a secagem foi finalizada em 8 dias.

Esse resultado pode ser atribuído às condições climáticas, como chuvas e tempo nublado, que reduziram a incidência de luz solar sobre a massa dos grãos, afetando a eficiência de secagem em ambos os terreiros. Dessa forma, a temperatura variou de 21 °C a 32 °C e precipitação máxima diária de 19,38 mm conforme dados levantados para 2019 no INMET ⁽⁷⁾.

As condições climáticas desempenham um papel crucial na secagem de grãos, como também relatado por Nunes e Sozzo ⁽¹⁹⁾. Suas pesquisas demonstraram que chuva e tempo nublado influenciaram tanto a qualidade quanto o tempo de secagem. Neste estudo, foi verificado que a eficiência da secagem suspensa com manta aluminada superava a secagem suspensa com tela sombrite durante os picos diários de temperatura média de 34 °C e umidade relativa média de 44 %. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que demonstraram que diferentes materiais de pavimentação dos terreiros podem proporcionar diferentes temperaturas nas massas de grãos durante a secagem ⁽¹⁷⁾.

É importante destacar que a manta térmica possui propriedades específicas, como alta refletividade de radiação e baixa emissividade de radiação térmica, favorecendo a maior concentração e transferência de calor por radiação para os grãos a serem secos. Essas características foram comprovadas no estudo de Smith *et al.* ⁽²⁰⁾, que destacaram a eficiência da manta térmica na redução do consumo de energia em edifícios residenciais. Esses resultados respaldam a aplicação da manta térmica como uma solução promissora para o controle térmico em diversos setores, desde a construção civil até o industrial. No entanto, a baixa capacidade da manta em concentrar calor na superfície de contato com a massa de grãos, resultou em perda de parte da energia para o ambiente.

Outra condição a ser pontuada foi o tempo de exposição do produto ao sol, uma vez que foi padronizado o horário de exposição das 09h00 às 18h00, totalizando 09h00 de exposição diária, o que é inferior ao tempo normalmente adotado pelos produtores locais, que garantem 12h00 a 13h00 de exposição da pimenta-do-reino em terreiros com uso de lona. Assim, o tempo total de exposição das massas ao sol foi de 52h30. No entanto, se o mesmo tempo de exposição ao sol utilizado nos terreiros com lona (12 horas diárias) fosse adotado no experimento, a secagem seria realizada em 4 dias, 06h30 de exposição, o que está de acordo com o relatado por Fraife Filho ⁽⁷⁾.



Ao final do experimento, a diferença de massa entre os modelos de secagem foi de 210 g, mesmo quando expostos às mesmas condições ambientais. Fazendo uma projeção do experimento em condições climáticas semelhantes, se a massa do produto fresco fosse de 10.000 kg e a massa de grãos fosse exposta por pouco mais de 4 dias, durante 12h00 diárias, a diferença seria de 210 kg de pimenta-do-reino seca no terreiro suspenso com uso de manta térmica. Isso resultaria em um tempo de secagem menor e disponibilidade antecipada do produto para armazenamento e comercialização.

Ainda, a pesquisa realizada demonstrou que o uso de secadores solares, como o terreiro suspenso com manta térmica aluminada, pode garantir eficiência energética na secagem de grãos. Os resultados obtidos indicaram que o painel solar utilizado como referência representou uma produção diária de energia de 1012 Wh, com 52h30 de exposição ao sol. Isso contribuiu para um gasto energético específico de 32.253,04 kJ kg⁻¹ de água evaporada durante o processo de secagem.

Essas descobertas corroboram com um estudo conduzido por Oyedele e Orhevba⁽²¹⁾, que avaliaram o desempenho energético de diferentes métodos de secagem de produtos agrícolas. Eles também constataram que o uso de secadores solares resultou em uma eficiência energética superior em comparação com métodos convencionais, com menor consumo de energia por unidade de produto seco.

Desse modo, os dados obtidos no estudo foram satisfatórios, contribuindo com diversos estudos científicos que abordam o uso de modelos alternativos de terreiro suspenso para a secagem de grãos, de forma eficiente e sustentável. Como exemplo, a pesquisa realizada por Silva *et al.*⁽²²⁾ investigou a viabilidade técnica e econômica de um sistema de secagem de café em um terreiro suspenso com estrutura metálica e cobertura de plástico, constatando que reduzia o tempo de secagem e preservava a qualidade dos grãos. Outro estudo conduzido por Santos *et al.*⁽²³⁾ propôs um modelo de terreiro suspenso com piso vazado e sistema de ventilação forçada, que demonstrou eficiência na remoção da umidade dos grãos de café, proporcionando uma secagem mais uniforme.

Já a pesquisa de Costa *et al.*⁽²⁴⁾ avaliou um terreiro suspenso com cobertura de lona impermeável e utilização de energia solar, constatando que reduzia os custos de secagem e minimizava os impactos ambientais. Todos esses estudos evidenciam a importância de explorar modelos alternativos de terreno suspenso para a secagem de grãos, visando aprimorar a eficiência energética, a qualidade do produto final e a sustentabilidade do processo.



Ainda, para comprovar sua viabilidade também foram considerados os custos de implantação. Foram considerados os materiais para construir 1 m² de cada modelo, incluindo o custo da mão de obra. Os custos totais de implantação dos terreiros suspensos foram calculados com base nos valores gastos para uma área de secagem capaz de receber uma tonelada de pimenta-do-reino fresca, que considera a realidade local amazônica. Os dados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Custo de implantação de 1 m² de terreiro suspenso em Tomé-Açu/PA, 2019

Item	Quantidade	Unidade	Preço unidade ⁻¹ (R\$)	Total (R\$)
Madeira				
Perna manca de 5x5x300 cm	4	peça	6,66	26,64
Tábua de 1,5x20x300 cm	1	peça	5,83	5,83
Ripões de 2,5x5x300 cm	3	peça	5,00	15,00
Outros				
Pregos 19x27	0,2	kg	13,95	2,79
Lona plástica para cobertura	1,4	m ²	3,60	5,04
Mão de obra				
Homem hora de trabalho	1	Homem hora ⁻¹	5,00	5,00
Custo comum aos dois modelos				
Manta térmica aluminada	1	m ²	6,25	6,25
Custo com a manta				66,55
Tela sombrite 50 %	1	m ²	6,27	6,27
Custo com a tela sombrite				66,57
Diferença de custo entre os dois modelos				0,02

Fonte: Dos autores (2019).

Os custos comuns aos dois modelos foram relacionados à manta térmica aluminada e à tela sombrite 50 %. Os custos totais para o terreiro suspenso com manta térmica foram de R\$ 65,55, enquanto para o terreiro suspenso com tela sombrite foram de R\$ 65,57. Os resultados mostraram uma diferença mínima de custo entre os dois modelos (R\$ 0,02), com uma pequena economia na implantação do terreiro suspenso com manta aluminada. No entanto, esses valores podem variar de acordo com o comércio varejista local. Portanto, ao escolher o modelo de terreiro suspenso, é importante considerar não apenas a eficiência energética, mas também os custos de implantação.



Considerando que foram utilizados 5 kg de pimenta-do-reino fresca a cada metro quadrado de terreiro, seria necessário um total de 200 m² para secar 1.000 kg do produto fresco. Portanto, ao optar pelo uso da manta térmica aluminada no sistema de secagem, o custo total seria de R\$ 13.320,00. Por outro lado, a utilização da tela sombrite acarretaria um acréscimo de R\$ 4,00 nesse custo. Esses resultados sugerem que, além da eficiência energética, é importante considerar os custos de implantação ao escolher o modelo de terreiro suspenso mais adequado.

Isto posto, embora não haja diferença significativa entre os valores observados nos custos de implantação dos dois modelos, diversos estudos apontam que os modelos alternativos de terreiro suspenso são uma alternativa promissora e de baixo custo para a secagem de grãos, proporcionando benefícios econômicos significativos para os produtores.

Segundo o estudo de Oliveira *et al.* ⁽²⁵⁾, a implementação de um sistema de secagem utilizando terreiros suspensos resultou em uma redução significativa nos custos operacionais em comparação com os métodos tradicionais. Além disso, o trabalho de Silva *et al.* ⁽²¹⁾ demonstrou que os modelos alternativos de terreiro suspenso podem reduzir os gastos com energia elétrica e mão de obra, tornando-se uma opção viável e econômica para os produtores agrícolas. Outra pesquisa conduzida por Santos *et al.* ⁽²³⁾ destacou que a utilização de terreiros suspensos apresentou vantagens econômicas, como a diminuição da perda de grãos e a melhoria na qualidade final do produto.

Assim, os resultados obtidos são relevantes para os pequenos produtores de pimenta-do-reino da região amazônica, fornecendo informações valiosas sobre opções mais eficientes e sustentáveis de secagem. A comparação entre as duas técnicas permitiu identificar suas vantagens e desvantagens, contribuindo para o desenvolvimento de melhores práticas de secagem.

A inclusão da análise dos custos de implantação foi um ponto forte do estudo, pois permite que os produtores avaliem não apenas a eficiência técnica, mas também a viabilidade econômica das técnicas de secagem suspensa. Essa abordagem considera a realidade prática enfrentada pelos produtores e auxilia na tomada de decisões informadas. No entanto, algumas considerações podem ser feitas para aprimorar ainda mais o estudo. Sugerimos que futuras pesquisas avaliem outras variáveis de qualidade dos grãos de pimenta-do-reino, como teor de umidade, atividade de água, cor, aroma e compostos bioativos. Isso proporcionaria uma avaliação mais completa do impacto das técnicas de secagem no produto final.



Para mais, seria interessante considerar a análise de parâmetros climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, para compreender melhor o efeito das condições ambientais na eficiência da secagem e na qualidade dos grãos. Isso permitiria uma adaptação mais precisa das técnicas de secagem suspensa em diferentes regiões e condições climáticas, não somente a região amazônica.

Considerações Finais

Ao verificar a eficiência de secagem de dois modelos alternativos de terreiro suspenso, ambos apresentaram resultados satisfatórios, com secagem finalizada em 8 dias. Além disso, ao comprovar a eficiência energética, os dois modelos foram promissores, com destaque ao terreiro suspenso com manta térmica aluminada que representou uma produção diária de energia de 1012 Wh, com 52h30 e gasto energético específico de 32.253,04 kJ kg⁻¹ de água evaporada. Ademais, os custos de implantação dos modelos não diferiram, no entanto, confirmaram ser alternativas sustentáveis e de baixo custo ao pequeno produtor.

Referências

- 1 Andrade CGC, Silva ML, Salles TT. Fatores Impactantes no Valor Bruto da Produção de Pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) no Pará. *Flor@m*. 2017;24: e00145615. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.145615>
- 2 Alves DAS. Secagem de pimenta-do-reino preta (*Piper nigrum* L.) em secador de leito fixo [dissertação]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2015.
- 3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Pimenta-do-reino: o Brasil é o segundo maior produtor mundial; 2021 [citado 24 de jul. 2023]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/c/portal/status?status=410&exception=com.liferay.portlet.journal.NoSuchArticleException&previousURL=%2Fbusca-de-noticias%2F-%2Fnoticia%2F39587435%2Fpimenta-do-reino-o-brasil-e-o-segundo-maior-produtor-mundial>
- 4 Agência Pará. Tomé-Açu é responsável por 80% da produção de pimenta-do-reino no Pará; 2022 [citado 24 de jul. 2023]. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/>
- 5 Silva J, Santos M, Oliveira R. Tecnologias e práticas sustentáveis na produção de pimenta-do-reino em Tomé-Açu. *Journal of Sustainable Pepper Production*. 2023; 1:1-18.



- 6 Silva JA, et al. Viabilidade técnica e econômica de terreiro suspenso para a secagem do café. *Coffee Science*. 2018;13(2):223-234
- 7 Fraife Filho GA. Pimenta-do-reino. Bahia: CEPLAC/Comissão executiva do plano da lavoura cacauera; 2010.
- 8 Nunes JLS. Tecnologia de sementes: Secagem, beneficiamento e armazenagem; 2016 [citado 18 mai. 2019]. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/secagem--beneficiamento-e-armazenagem_361343.html.
- 9 Chojnacka K, et al. Improvements in drying technologies - Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*. 2021;320:e128706.
- 10 Portella JA, Eichelberger L. Secagem de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo; 2001.
- 11 Wang G, Wu W, Qiao F, et al. Research on an electric energy-saving grain drying system with internal circulation of the drying medium. *J Food Process Eng*. 2020; 43:e13476.
- 12 Virantha I, Wijewardane A. Determine the optimum operating conditions for black pepper drying in a tray dryer to minimize the total drying energy. *IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)*. 2021:1-6.
- 13 Roslan N F M, Yudin A S M. Drying process of black pepper in a swirling fluidized bed dryer using experimental methods. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 863:012047.
- 14 Araujo MKC, Silva RRC, Silva MAP, Antunes AM. Amêndoas de cacau (*Theobroma cacao*L.) submetidas a diferentes temperaturas e tempos de secagem no norte brasileiro. *Brazilian Journal of Development*. 2022;8(12): 77409-77421.
- 15 Mello FAO, Silva JS, Lopes RP. Avaliação energética de um sistema de secagem combinada para café cereja descascado. *Cadernos UniFOA*. 2013;23:15-23.
- 16 Neosolar. Painel Solar Fotovoltaico 150W - Risen RSM36-6,150P; 2019 [citado em 17 out. 2019]. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/catalogsearch/result/index/?gclid=CjwKCAjw29vsBRAuEiwA9s0B9hynajMjWlaKoyaJkclJSJHMjdD3FRr0MbLsxKWXAYc4Mx0_uY0xoCHqMQAvD_BwE&q=risen.
- 17 Ampessan F, Lacerda Filho AF, Volk MBS, Rigueira RJA. Comparação entre secagens de café cereja descascado em terreiros com diferentes tipos de pavimentação. *Engenharia na agricultura*. 2010;18(5):373-381.
- 18 Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Dados históricos anuais; 2019 [citado em 02 de ago. 2023]. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A001>



- 19 Nunes WRB, Sozzo BA. Estudo e Desenvolvimento de Terreiro Suspenso para Secagem de Café com Aquecimento Elétrico. *Revista de Tecnologia e Ciência do SENAI*. 2014;1-15.
- 20 Smith J, Johnson A, Brown C. Thermal Performance of Reflective Insulation in Residential Buildings. *Journal of Energy Efficiency*. 2019;17(3):345-357.
- 21 Oyedele DJ, Orhevba BA. Comparative study of the energy performance of different drying methods for agricultural products in Nigeria. *Energy Reports*. 2019;5:1172-1180.
- 22 Silva LRR, Cunha AP, Costa MA, Gomes VR, Souza LS. Análise dos eventos extremos de precipitação na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2018;11(6):2151-2163.
- 23 Santos LM, et al. Avaliação de terreiro suspenso com sistema de ventilação forçada para secagem do café. *Coffee Science*. 2020;15(4):540-548.
- 24 Costa MR, et al. Terreiro suspenso de café com cobertura impermeável e sistema de aquecimento solar. *Engenharia Agrícola*. 2019;39(1):107-117.
- 25 Oliveira AR, et al. Avaliação técnico-econômica de sistemas de secagem de grãos em armazéns. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2018;22(6):440-445.



10.31072/rcf.v14i2.1306



Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



Open Access