

ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO DE TOMATE EM MICROONDAS

LUCIANO ROSSI BILESKY¹; NATANAEL PRUDENTE DE QUEIROZ¹

¹Fatec Capão Bonito - Tecnologia em Agroindústria

luciano.bilesky@fatec.sp.gov.br

Study of Tomato Dehydration Using Microwave Technology

Eixo Tecnológico: *Produção Alimentícia*

Resumo

O estudo aborda o uso de micro-ondas no processo de desidratação de tomates como uma alternativa sustentável e eficiente para o aproveitamento de excedentes agrícolas, destacando os desafios e avanços tecnológicos nesse método. A principal dificuldade na utilização do micro-ondas está na distribuição desuniforme das ondas eletromagnéticas, o que resulta em aquecimento desigual. Contudo, sua aplicação industrial vem crescendo devido à eficiência energética e à redução do tempo de processamento, além de benefícios como o aquecimento uniforme de dentro para fora. No experimento, tomates italianos foram desidratados utilizando um micro-ondas doméstico de 1100 watts, variando a potência entre 1 e 10. Foram registrados o tempo de secagem, a energia consumida e o comportamento do magnetron, considerando os estados ativo e inativo. O consumo de energia foi calculado com base em equações que levam em conta a potência elétrica e o tempo de operação do magnetron. Os resultados mostraram que o tempo de desidratação diminui com o aumento da potência, especialmente entre os níveis 1 e 3, com estabilização a partir do nível 5. A potência 5 demonstrou ser a mais eficiente, combinando menor consumo energético com tempo de secagem adequado. Isso ocorre porque o magnetron permanece ligado o suficiente para manter a temperatura ideal, evitando perdas térmicas substanciais. Conclusivamente, o estudo evidencia que o uso de micro-ondas na desidratação de tomates é uma alternativa prática e econômica, destacando a potência 5 como a mais vantajosa para o equilíbrio entre consumo de energia e tempo de processamento.

Palavras-chave: *Eficiência energética, Secagem de tomates, Otimização de potência.*

Abstract

The study explores the use of microwaves in the dehydration process of tomatoes as a sustainable and efficient alternative for utilizing agricultural surpluses, highlighting the challenges and technological advancements of this method. The main difficulty in using microwaves lies in the uneven distribution of electromagnetic waves, resulting in uneven heating. However, their industrial application is growing due to energy efficiency, reduced processing time, and benefits such as uniform inside-out heating. In the experiment, Italian tomatoes were dehydrated using a 1100-watt domestic microwave, varying the power levels from 1 to 10. The drying time, energy consumption, and magnetron behavior—both active and inactive states—were recorded. Energy consumption was calculated based on equations that consider the electrical power and magnetron operation time. The results showed that drying time decreased with increased power levels, especially between levels 1 and 3, stabilizing from level 5 onwards. Power level 5 proved to be the most efficient, combining lower energy consumption with adequate drying time. This is because the magnetron remains on long enough to maintain the ideal temperature, avoiding substantial thermal losses. In conclusion, the study demonstrates that using microwaves for tomato dehydration is a practical and cost-effective alternative, highlighting power level 5 as the most advantageous for balancing energy consumption and processing time.

Key-words: *Energy efficiency, Tomato drying, Power optimization.*

1. Introdução

Um dos maiores desafios na utilização do aparelho em processos de aquecimento de alimentos, tanto em casos domésticos quanto industriais, é a distribuição uniforme das ondas eletromagnéticas. A distribuição desuniforme vem do fato de que os campos eletromagnéticos são desuniformes, levando à absorção desigual em diferentes áreas do alimento.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

O micro-ondas é amplamente utilizado pela população como um meio para aquecer e pré-aquecer alimentos. A utilização de micro-ondas para processos industriais vem crescendo devido às vantagens únicas que a utilização de micro-ondas proporciona em relação aos outros métodos de aquecimento convencionais [1].

O aparelho eletrodoméstico possui, em sua grande maioria, a frequência de 2,45 GHz. Os micro-ondas possuem restrições na frequência que é utilizada para aquecer alimentos. Tanto os micro-ondas domésticos quanto os industriais possuem essa restrição de empregar 915 MHz a 2450 MHz. Ao contrário de outros métodos ou processos de aquecimento convencionais, o micro-ondas atua aquecendo primeiramente o interior do alimento e, depois, propaga-se para a parte externa [1].

O micro-ondas é constituído em três elementos principais, sendo eles: uma fonte que gera a energia eletromagnética, um dispositivo de transmissão de energia eletromagnética e o objeto a ser aquecido, também conhecido como receptor. O magnetron é responsável pela geração de energia eletromagnética. A energia micro-ondas é constituída por dois tipos de campos, sendo eles o campo elétrico e o magnético, e ocorrem oscilações entre esses dois campos [2].

Dois mecanismos importantes para que ocorra o aquecimento através de micro-ondas são a condução iônica, onde os elétrons presentes no alimento são sujeitos a um campo elétrico. Após o contato dos íons, como eles são aquecidos, na medida em que se aquecem, eles geram energia cinética através de seus movimentos, proporcionando o atrito que faz o alimento se aquecer de dentro para fora. A rotação de dipolos é consequência das oscilações do campo elétrico no alimento, onde eles se alternam sucessivamente 5 bilhões de vezes por segundo, nos micro-ondas com frequência de 2450 MHz. Por meio dessa movimentação, as moléculas geram fricção e, conseqüentemente, liberam o calor que aquece o material. Esse processo tem o nome de processo de aquecimento dielétrico, onde os íons que estão presentes no alimento procuram estar sempre em alinhamento com o campo elétrico que está em oscilação, gerando o calor por intermédio da fricção dos íons. Quando um material é exposto a um micro-ondas, um fator que será fundamental para a eficiência do aquecimento é sua capacidade de propagação das ondas eletromagnéticas [3] [4].

A desidratação de tomates excedentes de safra e com pequenos defeitos utilizando micro-ondas apresenta-se como uma alternativa sustentável e eficiente para ser aplicada em propriedades agrícolas, oferecendo uma opção viável à comercialização de tomates in natura.

Hussein et al. (2023) conduziram um estudo que empregou modelagem por software para analisar as características de qualidade de tomates secos no micro-ondas, utilizando o Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativo (ANFIS) e Redes Neurais Artificiais (ANN). No experimento, foram avaliadas espessuras de fatias de tomate de 4, 6 e 8 mm e potências do micro-ondas de 90, 180 e 360 W, seguindo o design experimental de Taguchi. Os resultados indicaram que as características de qualidade, como teores de licopeno, β -caroteno e ácido ascórbico, variam conforme a espessura e a potência aplicadas.

O processo de desidratação por micro-ondas pode impactar propriedades organolépticas dos vegetais. Os autores de [5] identificaram que fatores como a espessura das fatias e pré-tratamentos (branqueamento com água, ácido ascórbico e metabissulfito de sódio) influenciam significativamente a cor das fatias de tomate desidratado.

As características de secagem de tomates cereja utilizando métodos de micro-ondas e infravermelho mostraram que o tempo de secagem reduziu com o aumento da potência em ambos os métodos. As energias de ativação para os processos foram de 9,4654 kW/kg para micro-ondas e 0,3162 kW/kg para infravermelho [6].

A combinação de secagem por micro-ondas e métodos convectivos reduziu significativamente o tempo necessário para a secagem em comparação ao uso isolado de cada

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

método. A maior eficiência energética e menores tempos de secagem foram alcançados com micro-ondas de 500 W, obtendo-se taxas médias de secagem mais elevadas com maior potência e temperaturas mais altas [4].

A aplicação de micro-ondas na secagem de tomates proporciona maior velocidade e redução no tempo de secagem em relação à secagem por ar quente. O teor de umidade dos tomates durante o processo pôde ser modelado com um modelo exponencial, seguindo o estágio inicial de taxa de secagem até alcançar um teor de umidade de 0,5. Além disso, a irradiação por micro-ondas aumentou o brilho dos tomates em comparação ao ar quente, mantendo uma consistência na mudança de cor independentemente do teor de umidade e da duração do processo. A aplicação de micro-ondas também mostrou ser eficaz no branqueamento, reduzindo o tempo de inativação enzimática e preservando atributos de qualidade, como ácido ascórbico, licopeno e coloração [5].

A utilização de micro-ondas para a desidratação de alimentos oferece algumas vantagens em relação aos métodos convencionais, sendo elas: a rápida evaporação da água presente no alimento, baixo consumo de energia em relação aos métodos convencionais, preservação dos nutrientes, características sensoriais e características físicas. Esse método de secagem possui desvantagens, como o aquecimento desuniforme em certas áreas do alimento — esse fenômeno acontece com a absorção desigual das ondas eletromagnéticas pelo material — e a desidratação parcial, onde a umidade presente na superfície do alimento evapora rapidamente, dificultando a remoção da água presente no interior do alimento [1].

Este trabalho teve por objetivo a determinação da melhor potência, com o menor consumo de energia, para a desidratação do tomate para a obtenção do tomate seco.

2. Materiais e métodos

Para a determinação do consumo de energia elétrica no processo de desidratação de tomates, foram selecionados tomates do tipo italiano, que foram higienizados e cortados em quatro partes. Em seguida, 100 gramas de amostra foram dispostas em um prato apropriado para uso no micro-ondas de 1100 watts. O processo de secagem foi realizado utilizando diferentes potências do aparelho, correspondentes a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

A cada 60 segundos, sucedeu a pesagem da amostra e a anotação do peso. Esse teste foi feito utilizando todas as potências do micro-ondas, desde a potência 1 até a potência 10. A finalidade desse teste foi observar quanto tempo acabaria levando para o tomate alcançar a sua estabilidade em cada uma das potências.

Foi utilizado um micro-ondas de uso doméstico com 1100 watts de potência, podendo o seu interior comportar até 34 litros.

Para cada potência do micro-ondas, foi medido o tempo em que o magnetron permaneceu ativo e inativo durante um intervalo de 3 minutos. Com base nesses dados, foram calculadas as porcentagens de operação com o magnetron ativo, denominadas "% tempo operando", e sem a atuação do magnetron, denominadas "% tempo vazio".

A corrente elétrica foi aferida utilizando um alicate amperímetro, tanto com o magnetron inativo (i_{vazio}) quanto com o magnetron ($i_{\text{operação}}$). A tensão elétrica (U) foi medida diretamente na tomada do micro-ondas, empregando um multímetro digital.

Com as medições de corrente e tensão, foi possível determinar a potência elétrica do micro-ondas para os dois estados de operação. A potência durante o tempo em que o magnetron esteve inativo foi calculada utilizando a equação 1:

$$P_{\text{vazio}} = U \cdot i_{\text{vazio}} \quad (01)$$

Para a potência durante o tempo em que o magnetron esteve ativo foi calculada pela equação:

$$P_{\text{operação}} = U \cdot i_{\text{operação}} \quad (02)$$

A energia elétrica consumida em cada potência foi calculada considerando o tempo total de desidratação (Δt). Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$E = P \cdot \Delta t \quad (03)$$

Foram aplicados os coeficientes de "% tempo vazio" e "% tempo operando" para determinar o consumo total, dividido entre os dois estados. Para o período em que o magnetron esteve inativo, a energia consumida foi calculada pela equação:

$$E_{\text{vazio}} = P_{\text{vazio}} \cdot \Delta T \cdot (\% \text{ tempo vazio}) \quad (04)$$

Já para o período de operação com o magnetron ativo, utilizou-se a equação:

$$E_{\text{operando}} = P_{\text{operando}} \cdot \Delta T \cdot (\% \text{ tempo operando}) \quad (05)$$

Por fim, o consumo total foi determinado pela soma das energias nos dois estados, conforme a equação:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{vazio}} + E_{\text{operando}} \quad (06)$$

Os cálculos e gráficos foram realizados no software Microsoft Excel, e análises estatísticas foram empregadas para comparar o consumo energético entre as diferentes potências do micro-ondas.

3. Resultados e Discussão

No gráfico da Figura 1, observa-se o tempo de desidratação propiciado em cada uma das potências do micro-ondas. Nota-se que há uma tendência de diminuição do tempo de secagem conforme há o aumento da potência utilizada, principalmente da potência 1 até a potência 3, no qual a curva demonstra-se com maior coeficiência tempo/potência.

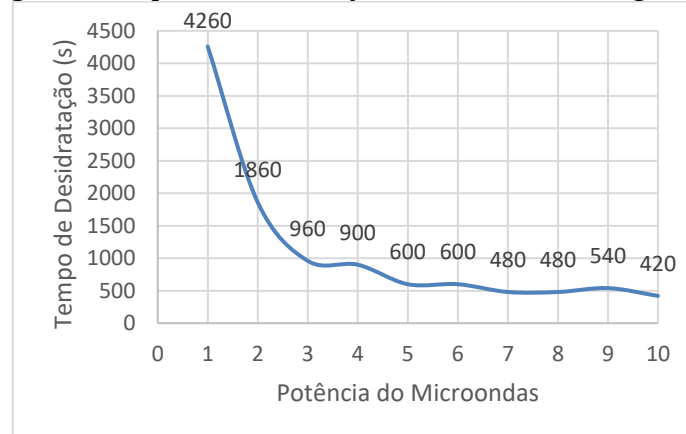
Nas potências 3 e 4, observa-se uma tendência de estabilidade da curva com um decréscimo de tempo bastante reduzido quando comparado no intervalo da potência 1 a potência 3.

Da potência 5 a potência 10, podemos considerar um, intervalo de estabilidade devido ao menor decréscimo de tempo com o aumento da potência. A vendo uma diferença de 3.840 segundos de tempo de desidratação das potências 1 até a potência 10.

A potência selecionada no micro-ondas de 1 a 10, não configura o aumento real da potência elétrica do equipamento, mas sim o aumento do tempo de funcionamento do magnetron, como pode ser observado no gráfico da Figura 2.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

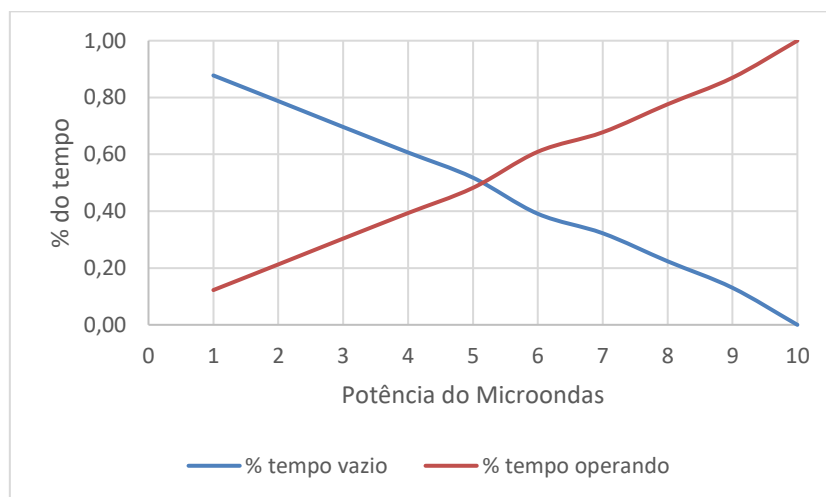
Fig. 1 - Tempo de desidratação dos tomates em segundos.



Fonte: (Autor, 2024)

Na Figura 2 é possível observar a porcentagem do tempo em que o micro-ondas operou com o magnetron ativo e inativo, e ao avaliar a figura ilustrada observa-se que conforme o número da potência aumenta, respectivamente, aumenta o tempo do magnetron no estado ativo. A porcentagem de tempo aumenta 0,10% a mais do que na potência anterior. É possível verificar que na potência 1 o micro-ondas funciona com 10% da sua potência e a potência 10 com 100%.

Fig. 2 - Porcentagem do tempo em relação a potência.



Fonte: (Autor, 2024)

A Figura 3, apresenta a energia elétrica consumida em joules (J) para todas as potências do micro-ondas. Observa-se que o consumo de energia na potência 1 foi a maior em relação as outras potências, e a potência 5 a menor.

Quando se relaciona o tempo de desidratação e a energia elétrica consumida, a potência do micro-ondas que se demonstra com maior vantagem é a potência 5, pois está dentro de uma faixa de tempo de estabilidade e com menor consumo de energia elétrica.

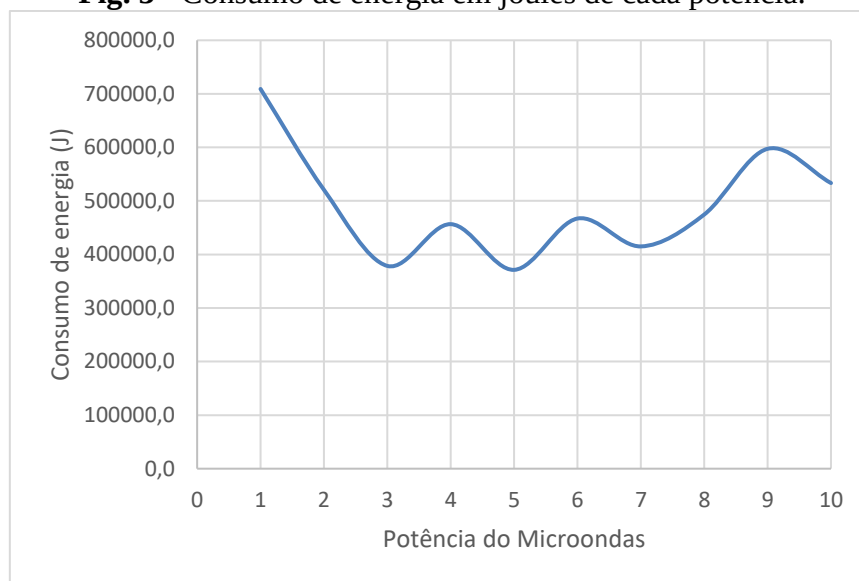
A hipótese para que a potência 5 seja a mais vantajosa é que, nesta faixa, o tempo em que o magnetron permanece ligado é o suficiente para aquecer o tomate na sua temperatura de

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

desidratação e enquanto ele permanece desligado, neste intervalo de tempo, não há perda de energia térmica substancial para resfriar a matéria de prima, de forma que mantém ela na temperatura constante de desidratação com o mínimo de energia necessária.

Os resultados desse trabalho não são absolutos pois os resultados podem variar dependendo da marca, matérias e o tempo de fabricação do micro-ondas podem causar variáveis na coleta de dados em outros experimentos, foi avaliado a metodologia aplicada no experimento para a confirmação da viabilidade dos testes.

Fig. 3 - Consumo de energia em joules de cada potência.



Fonte: (Autor, 2024)

4. Considerações finais

Conclui-se que, no presente estudo, a potência 5 foi identificada como a mais eficiente em termos de consumo de energia quando comparada às demais potências avaliadas. Essa condição apresentou o menor gasto energético durante o processo de desidratação dos tomates, demonstrando ser a mais adequada para alcançar os objetivos propostos. Observou-se que, sob essa potência, o tempo necessário para que a desidratação atingisse um estado de equilíbrio, ou seja, quando a perda de umidade se estabilizou, foi de 600 segundos. Esse resultado indica que a potência 5 não apenas reduz o consumo energético, mas também garante um tempo de processamento adequado, tornando-se uma alternativa promissora para aplicações práticas, especialmente em contextos que buscam eficiência e sustentabilidade no uso de micro-ondas para desidratação de alimentos.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos a CPRJI e ao CPS.

Referências

- [1] RAYMUNDO, L. M, Estudo de Aquecimento via Micro-ondas. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Bacharel em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2023.
- [2] DOMINGOS, G. Determinação das Propriedades Físico-Químicas de Chips de Batatas-Doce Desidratados por Micro-ondas a Vácuo. **Bacharel** em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis. 2018.
- [3] JUNIOR, P. S. S. Secagem de Folhas de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* RADDI.) com Aquecimento por Micro-ondas: Avaliação da Retenção de Cor e Qualidade dos Extratos Etanólicos. **Dissertação**. Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de São Carlos Centro de Ciencia Exatas e de Tecnologia de Progama de Pós-graduação em Engenharia Química. São Carlos. 2023.
- [4] Oliveira, V. C.; Viera, É. N. R. Micro-ondas Aplicadas em Produtos de Origem Vegetal – Uma Revisão. In: Medeiros. C. O.; Mianes. C. M. (Org.). **Produção Animal e Vegetação: Inovações e Atualidades** – V. 2. E-Book. Rio de Janeiro: Agron Food Academy, 2022. P 741-750. DOI: <https://doi.org/10.53934/9786585062039>. ISBN: 978-65-85062-03-9
- [5] HUSSEIN, J.B., OKE, M.O., AGBOOLA, F.F. et al. Application of soft-computational models for the prediction of some quality traits of microwave-dried tomato slices. Model. **Earth Syst. Environ.** 9, 567–584 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01506-3>
- [6] KIPCAK, A. S., & DOYMAZ, I. (2020). Microwave and infrared drying kinetics and energy consumption of cherry tomatoes. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly 2020** Volume 26, Issue 2, Pages: 203-212