



VALORIZAÇÃO DE CASCAS DE MANGA: INFLUÊNCIA DO CAMPO ELÉTRICO PULSADO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro¹

Newton Carlos Santos²

Raphael Lucas Jacinto Almeida³

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva⁴

Promoção de saúde

Resumo

Este estudo investigou os efeitos do pré-tratamento por campo elétrico pulsado (PEF) e das diferentes temperaturas de secagem nas propriedades físicas das cascas de manga seca. As cascas foram submetidas ao PEF em três intensidades (1,5, 3,0 e 4,5 kV cm⁻¹) e posteriormente secas em temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C. Foram avaliadas a atividade de água, higroscopicidade, solubilidade e temperatura de transição vítrea das cascas secas. Os resultados mostraram que todas as condições estudadas apresentaram valores de atividade de água abaixo de 0,3, indicando boa qualidade e estabilidade para o armazenamento. O aumento da temperatura de secagem resultou em uma redução significativa nos valores de atividade de água. A higroscopicidade das cascas foi afetada pela temperatura de secagem, aumentando proporcionalmente com o aumento da temperatura. Além disso, a solubilidade das cascas foi influenciada tanto pela temperatura de secagem quanto pelo pré-tratamento por PEF, sendo observadas as maiores porcentagens de solubilidade nas cascas tratadas com PEF3 a 4,5 kV cm⁻¹. A temperatura de transição vítrea (T_g) das cascas aumentou com a redução da quantidade de água disponível e foi afetada pela temperatura de secagem. Esses resultados destacam a importância do teor de água e da composição das cascas de manga seca para sua estabilidade durante o armazenamento. Esse estudo fornece informações relevantes para o desenvolvimento de estratégias de processamento e armazenamento das cascas de manga, visando a redução do desperdício alimentar e o aproveitamento de subprodutos da indústria de alimentos.

Palavras-chave: desperdício alimentar, temperatura de transição vítrea, subprodutos, estabilidade.

¹Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, victor_herbert@hotmail.com

²Doutorando em Engenharia Química – PPGEQ, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, newtonquimicoindustrial@gmail.com

³Doutorando em Engenharia Química – PPGEQ, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, raphaelqindustrial@gmail.com

⁴Bióloga e Dra. em Engenharia de Recursos Naturais – PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, virginia.mirtes2015@gmail.com



INTRODUÇÃO

As mangas agora são cultivadas comercialmente em mais de 103 países em todo o mundo, e a produção está se expandindo ano após ano devido à crescente demanda do consumidor. As nações asiáticas produzem mais de 77 por cento das mangas do mundo, enquanto a América e a África contribuem com 13 por cento e 9 por cento, respectivamente (JABIM et al., 2023). A maior parte da produção de manga é consumida fresca, com apenas cerca de 1 a 2% sendo processada em produtos como sucos, néctares, geléias, geléias em pó, barras de frutas, flocos e frutas secas. A casca, que é considerada um subproduto do processamento industrial ou do consumo da fruta, contribui com aproximadamente 15 a 20% da fruta que normalmente é descartada como resíduo (TARIQ et al., 2023).

O reaproveitamento de resíduos é uma prática de extrema importância nos dias de hoje, especialmente quando se trata de resíduos alimentares. O descarte inadequado destes pode ter um impacto significativo no meio ambiente, contribuindo para a poluição e o esgotamento de recursos naturais (SARRION et al., 2023). Além disso, o desperdício de alimentos é um problema global que afeta não apenas o meio ambiente, mas também a segurança alimentar e a sustentabilidade. Além dos benefícios ambientais, o reaproveitamento de resíduos pode ter impactos econômicos e sociais positivos (SARANGI et al., 2023).

O campo elétrico pulsado (PEF) é considerada uma tecnologia emergente com grande potencial em diversos setores. Ela consiste na aplicação de pulsos elétricos de alta intensidade a alimentos ou outros materiais biológicos, com o objetivo de melhorar suas propriedades físicas, químicas e funcionais (POLACHINI et al., 2023). Uma das vantagens da tecnologia de PEF é a sua natureza não térmica, o que significa que ela pode ser aplicada em produtos sensíveis ao calor sem comprometer sua qualidade. Além disso, o PEF é considerado um método sustentável, uma vez que pode reduzir o uso de aditivos químicos e conservantes nos alimentos, além de oferecer a possibilidade de aproveitar subprodutos e resíduos (ALMEIDA et al., 2022).

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo aplicar o tratamento de campo

Realização





elétrico pulso em cascas de manga e avaliar a sua influência nas propriedades físicas dos pós obtidos. De modo geral, O conhecimento das propriedades físicas dos pós de frutas é essencial para determinar a estabilidade e a vida útil dos produtos alimentícios.

METODOLOGIA

Obtenção das cascas e aplicação do pré-tratamento de campo elétrico pulsado

As cascas de manga foram fornecidas por uma indústria de processamento de polpa de frutas em 2022. Após a obtenção, as cascas foram imediatamente lavadas com água corrente e levemente secas. Para obter uma amostra uniforme, as cascas foram trituradas em um processador de alimentos (Philips Walita®). As cascas de manga trituradas (CMP) apresentaram um teor de umidade de 82,16% (base úmida) e foram imediatamente submetidas ao pré-tratamento.

As amostras de CMP foram submetidas ao pré-tratamento de campo elétrico pulsado (PEF) em triplicata. O pré-tratamento de PEF seguiu as melhores condições experimentais estabelecidas por Mello et al. (2021), com algumas adaptações. Para isso, as amostras de CMP foram colocadas em um recipiente preenchido com água (condutividade elétrica de 1,2 mS/cm) a 20 ± 1 °C, que serviu como meio condutor (razão amostra/água de 1:4,7 g/ml). O recipiente foi então colocado na câmara de tratamento de PEF (Diversified Technology Inc), com uma distância de 2,0 cm entre os eletrodos. Foram aplicados pulsos elétricos com intensidades de $1,5 \text{ kV cm}^{-1}$ (PEF1), $3,0 \text{ kV cm}^{-1}$ (PEF2) e $4,5 \text{ kV cm}^{-1}$ (PEF3), em uma frequência de 10 Hz, com um tempo total de 600 μs . Essas condições foram determinadas em experimentos preliminares descritos por Almeida et al. (2022). Após o tratamento, as amostras (PEF1, PEF2, PEF3) foram retiradas do equipamento e o excesso de água foi removido com papel absorvente antes dos experimentos de secagem.

Processo de secagem das cascas

O CMP de controle e as amostras pré-tratadas com PEF (PEF1, PEF2, PEF3) foram submetidos ao processo de secagem por convecção em um forno de circulação de ar (Lucadema 80/1000, São Paulo) com velocidade fixa do ar (1,0 m/s) e temperaturas de 50,

Realização



60 e 70 °C. Em triplicata para cada condição estudada, o CMP (300g) foi colocado em bandejas metálicas, atingindo uma espessura de $2\pm 0,5$ mm. Em seguida, as bandejas foram colocadas no secador e o monitoramento cinético da perda de massa foi realizado até que as amostras atingissem o equilíbrio de massa, utilizando uma balança de precisão (Bel, modelo M214AIH, São Paulo).

Determinação das propriedades físicas

A atividade de água (a_w) foi determinada medindo diretamente as amostras em um higrômetro (AquaLab, Decagon, série 3.0, EUA) a 25 °C. A temperatura de transição vítrea (T_g) das amostras foi determinada com um calorímetro diferencial de varredura (DSC-60 Plus, Shimadzu, Kyoto, Japão). Cerca de 15 mg de cada amostra foram selados hermeticamente com tampas em recipientes de alumínio e aquecidos na faixa de 30 a 110 °C, sob atmosfera inerte de N_2 , a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min (LIU et al., 2019).

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método descrito por Cai e Corke (2000). O procedimento consistiu em determinar o teor de umidade da amostra após 7 dias de armazenamento em recipiente hermético com 81% de umidade relativa (Na_2SO_4). A solubilidade foi determinada seguindo o procedimento experimental proposto por Martins et al. (2020), no qual 0,5 g de CMP foi misturado em 20 mL de água destilada (18.000 rpm/30 s), em seguida, os tubos foram imersos em um banho termostático (80 °C/30 min), após o qual os tubos foram centrifugados (2600 x g/15 min) e o sobrenadante foi seco a 105 °C/24 h para obter o resíduo da evaporação do sobrenadante.

Análise estatística

Os dados experimentais analisados em triplicata ($n = 3$) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$), utilizando o software estatístico SPSS versão 20 (SPSS Inc.).

Realização





RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Ruan et al. (2022), a atividade de água (aw) é um dos principais fatores que afetam o crescimento e a reprodução de microorganismos, e seu valor está diretamente relacionado às características de qualidade e estabilidade durante o armazenamento. Pode ser observado na Tabela 1 que a aw para todas as condições foi menor que 0,3 ($aw < 0,3$) e, para todas as intensidades, o aumento da temperatura de secagem influenciou significativamente a redução dos valores de aw ($p < 0,05$). Os valores mais baixos desse parâmetro foram obtidos para as amostras PEF3 a uma temperatura de 70 °C (0,109), indicando que sua qualidade é estável e suficientemente boa para o armazenamento. Valores mais altos foram relatados por Araújo et al. (2021) ao também secarem cascas de manga, no entanto, os autores não utilizaram pré-tratamentos, o que mostra a eficácia dos métodos aplicados no presente estudo. Essa descoberta é importante para determinar o ponto final da secagem e para selecionar as condições de armazenamento.

Tabela 1. Atividade de água, transição vítrea (T_g), higroscopicidade e solubilidade do CMP seco obtido sob diferentes condições de pré-tratamento (PEF1, PEF2 e PEF3) e temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C).

T (°C)	Conditions	aw	T_g (°C)	Higroscopicidade (%)	Solubilidade (%)
50 °C	Controle	$0,295 \pm 0,010^{Aa}$	$40,89 \pm 0,11^{Dc}$	$3,134 \pm 0,151^{Dc}$	$45,158 \pm 0,431^{Dc}$
	PEF1	$0,288 \pm 0,000^{Aa}$	$42,12 \pm 0,17^{Cc}$	$4,018 \pm 0,123^{Cb}$	$46,017 \pm 0,662^{Cc}$
	PEF2	$0,279 \pm 0,011^{Aa}$	$44,50 \pm 0,10^{Bc}$	$5,394 \pm 0,091^{Bb}$	$48,132 \pm 0,501^{Bc}$
	PEF3	$0,219 \pm 0,002^{Ba}$	$45,01 \pm 0,20^{Ac}$	$6,366 \pm 0,011^{Ab}$	$51,251 \pm 0,114^{Ac}$
60 °C	Controle	$0,211 \pm 0,001^{Ab}$	$43,18 \pm 0,09^{Db}$	$3,847 \pm 0,213^{Db}$	$52,987 \pm 0,241^{Cb}$
	PEF1	$0,194 \pm 0,001^{Bb}$	$44,47 \pm 0,15^{Cb}$	$4,246 \pm 0,194^{Cb}$	$53,323 \pm 0,185^{Cb}$
	PEF2	$0,181 \pm 0,003^{Cb}$	$46,21 \pm 0,12^{Bb}$	$6,097 \pm 0,233^{Ba}$	$56,190 \pm 0,172^{Bb}$
	PEF3	$0,172 \pm 0,002^{Db}$	$48,09 \pm 0,19^{Ab}$	$8,431 \pm 0,098^{Ab}$	$60,035 \pm 0,201^{Ab}$
70 °C	Controle	$0,149 \pm 0,001^{Ac}$	$49,27 \pm 0,04^{Da}$	$4,695 \pm 0,117^{Da}$	$62,863 \pm 0,219^{Da}$

Realização



PEF1	0,122 ± 0,001 ^{Bc}	52,34 ± 0,11 ^{Ca}	5,973 ± 0,158 ^{Ca}	66,118 ± 0,317 ^{Ca}
PEF2	0,110 ± 0,003 ^{Cc}	57,41 ± 0,13 ^{Ba}	6,255 ± 0,247 ^{Ba}	73,076 ± 0,246 ^{Ba}
PEF3	0,109 ± 0,000 ^{Cc}	59,97 ± 0,21 ^{Aa}	9,562 ± 0,144 ^{Aa}	78,478 ± 0,575 ^{Aa}

Nota: Controle: Amostras sem pré-tratamento; PEF1: Pré-tratamento com 1,5 kV cm⁻¹; PEF2: Pré-tratamento com 3,0 kV cm⁻¹; PEF3: Pré-tratamento com 4,5 kV cm⁻¹; aw: Atividade de água; Letras minúsculas iguais não apresentaram diferenças significativas entre as temperaturas estudadas (p>0,05) e Letras maiúsculas iguais não apresentaram diferenças significativas entre os pré-tratamentos aplicados na mesma temperatura (p>0,05).

A temperatura de transição vítrea (T_g) obtida por meio da análise de DSC é apresentada na Tabela 4. De acordo com Baysan et al. (2019), a T_g é um parâmetro importante para materiais alimentícios, pois avalia o grau de estabilidade para períodos de armazenamento prolongados. Observou-se que a T_g das CMP submetidas a diferentes intensidades de PEF aumentou com a redução da quantidade de água disponível (p < 0,05), portanto, apresentou valores variando de 40,89 °C a 59,97 °C entre as diferentes condições de pré-tratamento e temperatura. Além disso, o efeito da temperatura de secagem na T_g foi estatisticamente significativo (p < 0,05). Lago et al. (2012) obtiveram comportamento semelhante, com valores de T_g variando de 44,74 °C a 49,82 °C, quando a aw variou de 0,150 a 0,031 para a yacon em pó (*Smallanthus sonchifolius*). Segundo Sadeghi et al. (2015), a T_g dos alimentos depende principalmente do teor de água, dos constituintes e do peso molecular dos componentes e da natureza da matéria seca presente no alimento.

A higroscopicidade se refere à capacidade de uma amostra de absorver e reter umidade do ambiente externo (Cao et al., 2020). O parâmetro de higroscopicidade (Tabela 4), para todas as condições, apresentou valores abaixo de 10% e foi diretamente proporcional ao aumento da temperatura de secagem (p < 0,05), variando de 3,134-6,366% (50 °C), 3,847-8,431% (60 °C) e 4,695-9,502% (70 °C). Looi et al. (2019) também observaram esse mesmo comportamento para o suco de folhas de moringa (*Moringa oleifera* L.) em pó. Ao analisar os pré-tratamentos, verificou-se que PEF1 a 50 e 60 °C e PEF2 a 60 e 70 °C não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (p > 0,05).

Realização



Segundo Wei et al. (2021), a higroscopicidade das CMP desidratadas foi influenciada principalmente por sua composição química e pelas mudanças estruturais promovidas pelos pré-tratamentos.

A solubilidade é um critério importante para pós que pode afetar potencialmente a qualidade geral de reconstituição dos pós secos (Wong et al., 2017). Os efeitos das diferentes intensidades (1,5, 3,0 e 4,5 kV cm⁻¹) e temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) na solubilidade das CMP secas são mostrados na Tabela 4. O aumento da temperatura de secagem e a aplicação de PEF tiveram um efeito significativo na solubilidade das CMP secas ($p < 0,05$), que variaram de 45,158% a 78,478%. O pré-tratamento com 4,5 kV cm⁻¹ (PEF3) proporcionou as maiores porcentagens de solubilidade em todas as temperaturas ($p < 0,05$), sugerindo que essa condição melhora a solubilidade em água das CMP. Wang et al. (2023) atribuíram esse comportamento às mudanças estruturais promovidas pelo PEF. Valores próximos aos do presente estudo foram relatados por Raj e Dash (2022) para cascas de pitaya, com valores na faixa de 54,645% a 65,216%. Os autores relataram que essa faixa de solubilidade desempenha um papel significativo em relação à estabilidade e aceitabilidade de produtos alimentícios.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que a aplicação do pré-tratamento por campo elétrico pulsado (PEF) e a variação da temperatura de secagem tiveram impactos significativos nas propriedades físicas e na qualidade das cascas de manga seca (CMP). Em relação à atividade de água (aw), verificou-se que todas as condições estudadas apresentaram valores inferiores a 0,3. O pré-tratamento com PEF3 a 4,5 kV cm⁻¹ apresentou as maiores porcentagens de solubilidade e higroscopicidade em todas as temperaturas. Em relação à temperatura de transição vítrea (Tg), verificou-se que a Tg das CMP aumentou com a redução da quantidade de água disponível, e a temperatura de secagem teve um efeito estatisticamente significativo na Tg. Esses resultados demonstram a importância do pré-tratamento por PEF e da seleção adequada das condições de secagem na obtenção de cascas de manga seca com propriedades físicas e qualidade desejáveis.

Realização



AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa fornecida durante a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. L. J., SANTOS, N. C., PADILHA, C. E., DE ALMEIDA MOTA, M. M., DE ALCÂNTARA SILVA, V. M., ANDRÉ, A. M. M. C. N., & DOS SANTOS, E. S. Application of pulsed electric field and drying temperature response on the thermodynamic and thermal properties of red rice starch (*Oryza Sativa* L.). **Journal of Food Process Engineering**, v.45, n. 2, e13947, 2022.

ARAÚJO, A. J. B., DA SILVA, W. P., DOS SANTOS MOREIRA, I., & SANTOS, N. C. Effect of drying temperature on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of “Palmer” mango peels. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 11, e13860, 2021.

BAYSAN, U., ELMAS, F., & KOÇ, M. The effect of spray drying conditions on physicochemical properties of encapsulated propolis powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, e13024, 2019.

CAI, Y. Z., & CORKE, H. Production and properties of spray dried amaranthus betacyanin pigments. **Journal Food Science**, v. 65, p. 1248-1252, 2000.

CAO, C., ZHAO, X., ZHANG, C., DING, Z., SUN, F., & ZHAO, C. Effect of inlet temperature on the physicochemical properties of spray-dried seed-watermelon seed protein powder. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 10, p. 3442-3449, 2020.

JABIN, T., KAMAL, S., ISLAM, S., RAZU, M. H., PAUL, G. K., KARMAKER, P., ... & ZAMAN, S. Effect of gamma irradiation on chemical composition, antioxidant activity, antibacterial activity, shelf life, and cytotoxicity in the peels of two mango varieties grown in Bangladesh. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 6, p. 104708, 2023.

LAGO, C. C., BERNSTEIN, A., BRANDELLI, A., & NOREÑA, C. Z. Characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2183-2191, 2012.

LIU, Y., ZENG, Y., WANG, Q., SUN, C., & XI, H. Drying characteristics, microstructure, glass transition temperature, and quality of ultrasound-strengthened hot air drying on pear slices. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.43, n. 3, e13899, 2019.

LOOI, Y. F., ONG, S. P., JULKIFLE, A., & ALIAS, M. S. Effects of pretreatment and spray drying on the physicochemical properties and probiotics viability of Moringa (*Moringa oleifera* Lam) leaf juice powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 4, e13915, 2019.

Realização





MARTINS, D. R. D. S., SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J., ORTEGA, N. D. F., GARCIA, V. A. D. S., DE OLIVEIRA, V. S., & CARDOSO, C. A. L. Production and characterization of Hibiscus sabdariffa by spray dryer using different sprinkler nozzles and carrier agents. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 7, e14493, 2020.

MELLO, R. E., FONTANA, A., MULET, A., CORRÊA, J. L. G., & CÁRCEL, J. A. (2021). PEF as pretreatment to ultrasound-assisted convective drying: Influence on quality parameters of orange peel. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.72, p.102753, 2021.

POLACHINI, T. C., NORWOOD, E. A., LE-BAIL, P., LE-BAIL, A., & CÁRCEL, J. A. Pulsed electric field (PEF) application on wheat malting process: Effect on hydration kinetics, germination and amylase expression. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 86, p. 103375, 2023.

RAJ, G. B., & DASH, K. K. Microencapsulation of betacyanin from dragon fruit peel by complex coacervation: Physicochemical characteristics, thermal stability, and release profile of microcapsules. **Food Bioscience**, v. 49, p. 101882, 2022.

RUAN, J., LI, M., LIU, Y., YE, B., & LING, C. Adsorption isotherm and thermodynamic properties of microwave vacuum dried tilapia fillets. **LWT**, v. 166, p. 113766, 2022.

SADEGHI, M., MEHRYAR, E., RAZAVI, J., & MIREEI, S. A. Moisture sorption isotherm and glass transition temperature of date powder in terms of various model systems. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 1, p. 61-68, 2015.

SARANGI, P. K., MISHRA, S., MOHANTY, P., SINGH, P. K., SRIVASTAVA, R. K., PATTNAIK, R., ... & SAHOO, U. K. Food and fruit waste valorisation for pectin recovery: Recent process technologies and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 235, p. 123929, 2023.

SARRION, A., MEDINA-MARTOS, E., IRIBARREN, D., DIAZ, E., MOHEDANO, A. F., & DUFOUR, J. Life cycle assessment of a novel strategy based on hydrothermal carbonization for nutrient and energy recovery from food waste. **Science of The Total Environment**, v. 878, p. 163104, 2023.

TARIQ, A., SAHAR, A., USMAN, M., SAMEEN, A., AZHAR, M., TAHIR, R., ... & KHAN, M. I. Extraction of dietary fiber and polyphenols from mango peel and its therapeutic potential to improve gut health. **Food Bioscience**, p. 102669, 2023.

WANG, R., WANG, L. H., WEN, Q. H., HE, F., XU, F. Y., CHEN, B. R., & ZENG, X. A. Combination of pulsed electric field and pH shifting improves the solubility, emulsifying, foaming of commercial soy protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 134, p. 108049, 2023.

WEI, X., WANG, G., SMITH, L. M., & JIANG, H. The hygroscopicity of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) with a gradient fiber structure. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, p. 4309-4316, 2021.

WONG, C. W., TEOH, C. Y., & PUTRI, C. E. Effect of enzymatic processing, inlet temperature, and maltodextrin concentration on the rheological and physicochemical properties of spray-dried

Realização





20º Congresso Nacional de
MEIO AMBIENTE 2023
19 a 22 DE SETEMBRO
Poços de Caldas

O futuro da **humanidade**:
sustentabilidade em questão.



banana (*Musa acuminata*) powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, e13451, 2018.

Realização

