

## ARTIGO TÉCNICO

# TECNOLOGIA DE AQUECIMENTO ÔHMICO APLICADA AO SUCO DE MANGA: FUNDAMENTOS, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E IMPACTO NA QUALIDADE

**Autores:** Thiphanie R S W Houessinon<sup>1</sup>, Dagan Akoua Marina Agnonsou<sup>2</sup>, Stefany Cristiny F da S Gadêlha<sup>3</sup>, Geovana Rocha Plácido<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde

Autor para correspondência (email): [thiphaniehouessinon@gmail.com](mailto:thiphaniehouessinon@gmail.com)  
[dagan.agnonsou@estudante.ifgoiano.edu.br](mailto:dagan.agnonsou@estudante.ifgoiano.edu.br)



## DESTAQUE

*O aquecimento ôhmico, ao gerar calor pelo efeito Joule, melhora a eficiência energética e preserva melhor os compostos bioativos do suco de manga frente aos métodos clássicos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento térmico permanece um dos processos mais importantes da indústria agroalimentar para garantir a segurança microbiológica e prolongar a vida útil dos produtos. No entanto, as técnicas convencionais apresentam uma desvantagem significativa, pois podem promover a degradação de compostos fenólicos e flavonoides, reduzindo seu teor nos alimentos e comprometendo parte de sua qualidade nutricional (Jiang et al., 2023). Diante dessas limitações, o aquecimento ôhmico (AO) surge como uma alternativa inovadora. Seu princípio baseia-se na passagem de corrente elétrica alternada através do alimento, convertendo energia elétrica em calor

diretamente no interior do produto pelo efeito Joule. Esse modo de aquecimento volumétrico oferece taxas de aquecimento mais elevadas, melhor homogeneidade térmica e maior preservação dos compostos bioativos (Alkanan *et al.*, 2021). A condutividade elétrica do alimento, influenciada pela temperatura, pelo teor de sólidos solúveis e pela composição iônica, constitui o parâmetro-chave que governa a eficiência do processo.

O suco de manga (*Mangifera indica* L.), rico em carotenoides, ácido ascórbico, polifenóis e flavonoides, exemplifica os desafios associados ao processamento térmico, devido à sua sensibilidade à degradação desses compostos. O aquecimento ôhmico, assim como a técnica combinada de aquecimento ôhmico-sonicação (AOS), constitui alternativa promissora à pasteurização convencional. A presente revisão propõe uma síntese dos fundamentos do processo, de sua eficiência energética e de seus efeitos sobre a qualidade do suco de manga.

## 2. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

### 2.1 Fundamentos e eficiência energética do aquecimento ôhmico.

O aquecimento ôhmico (AO) baseia-se na lei de Joule ( $Q = I^2Rt$ ), onde uma corrente alternada gera calor diretamente na massa do alimento devido à sua resistência elétrica. No suco de manga, os íons facilitam a condução, garantindo um aquecimento volumétrico homogêneo que elimina gradientes térmicos e previne o superaquecimento localizado, preservando a qualidade (Palaniappan; Sastry, 1991; Sakr; Liu, 2014; Alkanan *et al.*, 2021). Kurniawan *et al.* (2024) evidenciaram as vantagens do AO frente ao aquecimento convencional (AC) em purê de manga (Tabela 1).

**Tabela 1 - Comparação do desempenho energético entre o aquecimento ôhmico e o aquecimento convencional (purê de manga).**

Parametro	Valor
Eficiencia energética- AO	78 %
Eficiencia energética- convencional	4 %
Tempo de aquecimento- AO	555 s
Tempo de aquecimento- convencional	1500 s
Potencia elétrica- AO	224,59 W
Potencia eletrica- convencional	1730,2 W

Fonte: Adaptado de Kurniawan *et al.* (2024)

O AO apresenta uma eficiência quase 20 vezes maior e reduz o tempo de processo em cerca de 3 vezes, aumentando a capacidade produtiva e reduzindo o custo por ciclo.

### 2.2 Impacto no perfil fitoquímico

Abdelmaksoud *et al.* (2022) compararam cinco tecnologias no suco de manga NFC: sonicação (S), aquecimento convencional (AC), termossonicação (TS), AO e aquecimento ôhmico-sonicação (AOS) (Quadro 1).

**Quadro 1 – Perfil fitoquímico do suco de manga NFC segundo o tratamento aplicado.**

Tratamento	Ác.ascórbico (mg/100 mL)	Carotenoides (µg/100 g)	Antioxidantes (%)	Fenólicos (mg/100 mL)
Suco fresco	23,39	9 688	65,57	32,36
Sonicação (S)	21,05	9 912	68,74	35,97
Aquecimento ôhmico-sonicação (AOS)	20,75	9 120	64,37	34,36
Aquecimento ôhmico (AO)	20,37	8 809	61,62	33,63
Termossonicação (TS)	19,96	8 662	63,74	34,06
Aquecimento convencional (AC)	18,93	7 963	59,97	33,48

Fonte: Adaptado de Abdelmaksoud *et al.* (2022).

AOS proporcionou a melhor retenção de carotenoides e flavonoides (21,14 mg/100 mL) entre os tratamentos térmicos. O teor de ácido ascórbico seguiu a ordem S > AOS > AO > TS > AC, confirmando que a combinação do ultrassom com o AO reduz o tempo de exposição térmica e limita a degradação oxidativa. O AC apresentou as maiores perdas.

### 2.3 Inativação enzimática e estabilidade microbiológica

Abdelmaksoud *et al.* (2022) constataram que o AO e o AOS inativaram 100% da PPO, contra 89% do AC e 90% da TS. Para a PME, a inibição seguiu: AOS (96,5%) > AO (94,9%) > TS (92,5%) > AC (88,5%); a S isolada obteve apenas 71%.

Quanto ao armazenamento, Priyadarshini *et al.* (2023) avaliaram a polpa de manga (10°Brix) processada por AO (20 V/cm, 75°C) e AC (90°C, 7 min). O AC sem conservantes excedeu os limites da FSSAI aos 30 dias. Já o AO com conservantes manteve, aos 90 dias (4 °C), contagens de 214 UFC/mL (bactérias) e 17 UFC/mL (bolors/leveduras), devido à homogeneidade do aquecimento volumétrico.

### 2.4 Implicações industriais para processamento de suco de manga

Para polpa de manga, recomendam-se campos de 15 a V/cm e 70 a 80 °C. A condutividade elétrica deve ser monitorada ajustando-se os sólidos solúveis. O sistema contínuo via bombeamento facilita a integração a linhas existentes. A eficiência energética do AO 70–80% supera amplamente o aquecimento elétrico indireto (<10%), reduzindo custos e a pegada ambiental. Contudo, a tecnologia exige alto investimento inicial (geradores, eletrodos, sistemas CIP), validação da uniformidade térmica face a variações de viscosidade e atenção aos aspectos regulatórios.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquecimento ôhmico apresenta potencial para a pasteurização de suco de manga, proporcionando aquecimento rápido e uniforme, com redução do tempo de processamento e melhor preservação de compostos bioativos. A combinação com ultrassom favorece a retenção de carotenoides, flavonoides e ácido ascórbico, além de aumentar a inativação de enzimas como PPO e PME. Esses efeitos contribuem para a manutenção da qualidade nutricional e sensorial do produto, tornando a tecnologia uma alternativa promissora aos métodos convencionais de pasteurização. Para aplicação industrial, os parâmetros operacionais devem ser ajustados conforme as características da matéria-prima, garantindo qualidade e segurança do produto. Além disso, a adoção dessa tecnologia pode contribuir para maior eficiência energética e produtividade no processamento. Estudos futuros devem avaliar a viabilidade econômica e otimizar as condições de processamento em diferentes cultivares de manga.

### REFERÊNCIAS

ABEDELMAKSOU, T. G. *et al.* Positive influences of ohmicsonication on phytochemical profile and storage stability of not-from-concentrate mango juice. *Molecules, Food Processing and Health: Novel Insights and Applications* Basel, v. 27, n. 6, p. 1-16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27061986>.

ALKANAN, Z. T. *et al.* Ohmic heating in the food industry: developments in concepts and applications during 2013–2020, *Applied Sciences*, Basel, v. 11, n. 6, p. 1-24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11062507>.

JIANG, Z. *et al.* Effects of thermal processing on transformation of polyphenols and flavor quality. *Current Opinion in Food Science*, v. 51, p. 101014, 2023., <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101014>.

KURNIAWAN, Y. *et al.* Comparative analysis of the performance of the thermal pasteurization system using the ohmic heating method with an electric heater on mango puree. *International Journal of Applied Technology Research*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 43-52, 2024. DOI: <https://doi.org/10.35313/ijatr.v5i1.146>.

PRIYADARSHINI, A. *et al.* Ascertaining optimal ohmic-heating characteristics for preserving mango (*Mangifera indica* L.) pulp through analysis of physicochemical properties and hurdles effect. **Food Chemistry Advances**, [S. l.], v. 3, p. 100458, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100458>.