

## INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO TRATAMENTO DE ALIMENTOS COM DIÓXIDO DE CARBONO

### RESUMO

O Dióxido de Carbono de Alta Pressão (AP-CO<sub>2</sub>) é uma tecnologia emergente não térmica que tem sido investigada recentemente devido à crescente demanda do consumidor por alimentos de alta qualidade. Como ainda não é tão bem estabelecida quanto o tratamento térmico convencional, alguns estudos de estabilização de alimentos com AP-CO<sub>2</sub> alcançaram resultados díspares entre si. Dessa forma, nesse trabalho são apresentados dados da literatura que permitem avaliar os efeitos da pressão como uma das variáveis do tratamento com AP-CO<sub>2</sub>. Em geral, observou-se que enzimas e microrganismos apresentam particulares resistências à pressão de tratamento, que podem variar ainda mais com a mudança dos componentes da matriz e da fonte do microrganismo ou enzima. Embora a pressão influencie no aumento da solubilidade, que muitas vezes contribui para uma inativação mais eficiente, é possível que seu efeito seja limitado devido à capacidade de saturação do CO<sub>2</sub> no meio. Nesse sentido, como as variações nos resultados esperados para o tratamento podem ser mais drásticas ou mais brandas e ainda devem ser avaliadas individualmente, são necessários mais estudos para compreensão global dos efeitos da pressão em tratamentos com AP-CO<sub>2</sub>.

### INTRODUÇÃO

Acompanhando a crescente demanda do consumidor por alimentos com frescor, menos aditivos, e vida útil satisfatória, o desenvolvimento de tecnologias não convencionais de processamento tem sido um dos desafios do setor nos últimos anos. Dentre elas, o Dióxido de Carbono de Alta Pressão (AP-CO<sub>2</sub>), seja o tratamento com a substância abaixo ou acima do ponto crítico, tem sido alvo de investigações devido a sua alta disponibilidade na atmosfera, ser geralmente reconhecido como seguro (GRAS), e facilmente removido da matriz por despressurização ou degaseificação. Além disso, o estado supercrítico do CO<sub>2</sub> pode ser alcançado a condições brandas de temperatura e pressão (32,2 °C e 7,38 MPa), de forma que seus efeitos tendem a ser menos agressivos para substâncias de interesse no alimento como: vitaminas, antioxidantes e pigmentos (Silva et al., 2018).

De modo geral, os efeitos estabilizadores provocados pelo AP-CO<sub>2</sub> podem ser atribuídos a alguns fatores, tais como: danos à camada fosfolipídica e, conseqüentemente, a membrana celular; ao aumento da fluidez e permeabilidade da membrana devido à interações hidrofóbicas; a redução do pH extracelular e intracelular devido à dissociação do ácido carbônico em água (Yang et al., 2022). Entretanto, algumas condições de processo com AP-CO<sub>2</sub> provocam resultados distintos em diferentes estudos, por vezes, não seguindo uma tendência esperada. Dessa forma, esse trabalho tem o objetivo de apresentar dados sobre a influência da pressão nos tratamentos com AP-CO<sub>2</sub>.

### METODOLOGIA

Esse trabalho foi conduzido como critérios de revisão sistemática da literatura, conforme a metodologia descrita por (Donato & Donato, 2019). Foram utilizadas as bases de dados: Science Direct, Web of Science e Scielo para o levantamento bibliográfico e selecionados apenas artigos científicos recentes (de 2017 a 2022) encontrados com os termos de busca “supercritical carbon dioxide”, “high-pressure carbon dioxide”, combinados aos termos

“pasteurization”, “food” e “inactivation” que discutissem sobre o tratamento AP-CO<sub>2</sub> para estabilização de alimentos.

## OBJETIVO

Esse trabalho tem o objetivo de apresentar dados sobre a influência da pressão como uma das condições de processo nos tratamentos com AP-CO<sub>2</sub>.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados discutidos nesse tópico estão reunidos na Tabela 1. Alguns autores classificaram a pressão como o parâmetro mais relevante ou observaram forte efeito sinérgico entre ela e as outras variáveis de processo no tratamento com AP-CO<sub>2</sub> (Barbosa et al., 2020; Feng et al., 2022; Hossain et al., 2015). Illera et al. (2018) notaram um aumento na taxa de inativação da pectinametilesterase com o aumento da pressão de tratamento que variou de 8,5 a 20 MPa a 45 °C em suco de tomate, enquanto a poligalacturonase, também avaliada, foi mais resistente. Um comportamento semelhante foi observado em enzimas peroxidase e polifenol oxidase de suco de maçã que demonstraram diferentes sensibilidades à pressão (Murtaza et al., 2020).

Assim como nos sucos citados, a polifenol oxidase de cogumelo e peroxidase de rábano também tiveram suas atividades residuais reduzidas com o acréscimo de pressão de 10 a 65 MPa (Marszałek et al., 2019). Os autores observaram que, mesmo trabalhando a pressões consideravelmente menores, o tratamento com CO<sub>2</sub> foi muito mais efetivo que processos com altas pressões hidrostáticas (300 a 600 MPa) na inativação de peroxidase (Marszałek et al., 2019). Para microrganismos, a pressão e a razão de despressurização foram os parâmetros mais relevantes na inativação de *Staphylococcus aureus* em salmão (Barbosa et al., 2020) e na inativação microbiológica de queijo da Mongólia, que foi de 2,03 log a 10 MPa para 6,89 log a 20 MPa (Feng et al., 2022).

Nesse sentido, a pressão mostrou-se um parâmetro significativo e os processos comentados até aqui foram sensíveis às suas mudanças. Por outro lado, foram encontradas tendências opostas que podem ser consideradas disparidades. No estudo com CO<sub>2</sub> supercrítico realizado por Silva et al. (2018), não foi observada influência da pressão (10 – 20 MPa) na redução de *Lactobacillus casei* em suco de maçã. Argumentou-se que os efeitos da pressão podem ser mais relevantes em processos com altas pressões hidrostáticas. Resultados semelhantes aos de Silva et al. (2018) foram obtidos por Chen et al. (2022) em seu estudo com amêndoas. Os autores observaram que o aumento da pressão de 15 para 20 MPa não aumentou a inativação de *Escherichia coli* K12. Além disso, apesar do aumento da pressão de 10 para 20 MPa ter causado um aumento na destruição de espécies do gênero *Legionella* em solução aquosa, esse comportamento não foi observado com a variação de 20 para 30 MPa (Martín-Muñoz et al., 2022).

Tabela 1. Efeito da pressão no tratamento com AC-CO<sub>2</sub> em diferentes matrizes.

	Matriz	P (MPa)	Inativação máxima	Observações	Referência
<b>Enzima</b>					
PPO	Solução modelo	65	88%	Atividade ↓ com P↑	Marszałek et al., 2019

Peroxidase			98.8%	Resistência da PPO > POD	
PPO	Suco de maçã	25	Total	P teve forte efeito inibitório na PPO.	Murtaza et al., 2020
PME	Suco de Tomate	20	98.8%	T foi mais determinante que P para a taxa de inativação	Illera et al., 2018
PG	Suco de Tomate	20	59%	PG não foi sensível a P	
PPO	Soluções com PPO	>20	Quase total	P foi um fator significativo para inativação	Benito-Román et al., 2019
PPO	Suco de maçã	12	80%	t ↓ com P e T ↑ até 12MPa e 35°C.	Manzocco et al., 2017
<b>Microrganismo</b>					
<i>L. casei</i>	Suco de maçã	10	6,93 log	Não houve influência da P.	Silva et al., 2018
<i>E. coli</i> ; <i>S. cerevisiae</i> ; <i>L. innocua</i>	Suplemento dietético	17	Total	T exerceu mais efeito que P.	Fleury et al., 2018
<i>S. aureus</i>	Salmão cru	22	5,3 log	P e taxa de despressurização foram os fatores mais significativos.	Barbosa et al., 2020
<i>E. coli</i>	Alfafa	12	2,92 log	P teve um efeito significativo na inativação.	Bourdoux et al., 2022
<i>E. coli</i>	Alho poró	12	4,96 log		
<i>L. monocytogenes</i>	Alho poró	12	2,93 log		
<i>Salmonella spp</i>	Alho poró	12	3,18 log		
<i>E. coli</i>	Amêndoas	10	5,16 log	P não exerceu efeito.	Chen et al., 2022.
<i>Legionella</i>	Solução aquosa	10	Total	P teve efeito de 10 a 20 MPa e não teve de 20 a 30MPa.	Martín-Muñoz et al., 2022
<i>E. coli</i>	Suco de sabugueiro	18	Total	↓P ↓ inativação.	Torabian et al., 2018
Células viáveis	Queijo da Mongólia	20	Total	P foi o parâmetro mais influente.	Feng et al., 2022

Legenda: P = Pressão; t = Tempo; T = Temperatura; PPO = Polifenol oxidase; POD = Peroxidase; PME = Pectinametilesterase; PG = Poligalacturonase.

Embora a pressão influencie no aumento da solubilidade, é possível que seu efeito seja limitado devido à capacidade de saturação do CO<sub>2</sub> no meio (Barbosa et al., 2020). Já foi observado que a solubilidade do CO<sub>2</sub> aumenta sensivelmente com o aumento da pressão até 10 MPa. Acima disso, há uma tendência de estabilização em que um ligeiro aumento da solubilidade pode significar custos adicionais consideráveis com o aumento da pressão (Illera et al., 2019).

## CONCLUSÃO

Fazer comparações claras e tirar conclusões sobre o tratamento com AP-CO<sub>2</sub> ainda é um desafio, pois diferentes equipamentos e parâmetros de processo têm sido utilizados em diferentes estudos. Em geral, observou-se que enzimas e microrganismos apresentam particulares resistências à pressão de tratamento, que podem variar ainda mais com a mudança dos componentes da matriz e da fonte do microrganismo ou enzima. Nesse sentido, as variações nos resultados esperados podem ser mais drásticas ou mais brandas e devem ser avaliadas individualmente. Essa análise pode ser relevante para os novos avanços e desenvolvimento industrial e recomendam-se mais estudos para esclarecimento geral da influência das variáveis de processo.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Silva, E., Alvarenga, V., Bargas, M., Sant'ana, A., Meireles, M. Non-thermal microbial inactivation by using supercritical carbon dioxide: Synergic effect of process parameters. **The Journal of Supercritical Fluids**, 139, 97-104. 2018
2. Yang, D., Wang, Y., Zhao, L., Rao, L., Liao, X. Extracellular pH decline introduced by high pressure carbon dioxide is a main factor inducing bacteria to enter viable but non-culturable state. **Food Research International**, 151, 110895. 2022
3. Donato, H., Donato, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Acta Médica Portuguesa**, 32(3), 227. 2019.
4. Barbosa, J., Puton, B., Fischer, B., Junges, A., Paroul, N., Steffens, C. et al. Effect of Supercritical CO<sub>2</sub> on Physicochemical Characteristics and D-Value of *S. aureus* in Raw Salmon. **Industrial Biotechnology**, 16(6), 368-374. 2020.
5. Feng, J., Zheng, Y., Zhang, X., Zhou, R., Ma, M. Effect of supercritical carbon dioxide on bacterial community, volatile profiles and quality changes during storage of Mongolian cheese. **Food Control**, 109225. 2022.
6. Hossain, M., Rahman, N., Balakrishnan, V., Alkarkhi, A., Ahmad, Z., Ab, M. Optimizing supercritical carbon dioxide in the inactivation of bacteria in clinical solid waste by using response surface methodology. **Waste Management**, 38, 462-473. 2015.
7. Murtaza, A., Iqbal, A., Marszałek, K., Iqbal, M., Waseem, S., Xu, X. et al. Enzymatic, Phyto-, and Physicochemical Evaluation of Apple Juice under High-Pressure Carbon Dioxide and Thermal Processing. **Foods**, 9(2), 243. 2020.
8. Illera, A., Sanz, M., Trigueros, E., Beltrán, S., Melgosa, R. Effect of high pressure carbon dioxide on tomato juice: Inactivation kinetics of pectin methylesterase and polygalacturonase and determination of other quality parameters. **Journal of Food Engineering**, 239, 64-71. 2018.
9. Marszałek, K., Doesburg, P., Starzonek, S., Szczepańska, J., Woźniak, Ł., Lorenzo, J. et al. Comparative effect of supercritical carbon dioxide and high pressure processing on structural changes and activity loss of oxidoreductive enzymes. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization**, 29, 46-56. 2019.
10. Chen, H., Guan, Y., Wang, A., Zhong, Q. Inactivation of *Escherichia coli* K12 on raw almonds using supercritical carbon dioxide and thyme oil. **Food Microbiology**, 103, 103955. 2022.
11. Martín-Muñoz, D., Tirado, D., Calvo, L. Inactivation of *Legionella* in aqueous media by high-pressure carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, 180, 105431. 2022.
12. Illera, A., Sanz, M., Beltrán, S., Melgosa, R. High pressure CO<sub>2</sub> solubility in food model solutions and fruit juices. **The Journal of Supercritical Fluids**, 143, 120-125. 2019.
13. Benito-Román, Ó., Sanz, M., Melgosa, R., Paz, E., Escudero, I., Beltrán, S. Studies of polyphenol oxidase inactivation by means of high pressure carbon dioxide (HPCD). **The Journal of Supercritical Fluids**, 147, 310-321. 2019.
14. Manzocco, L., Plazzotta, S., Spilimbergo, S., Nicoli, M. Impact of high-pressure carbon dioxide on polyphenoloxidase activity and stability of fresh apple juice. **LWT - Food Science and Technology**, 85, 363-371. 2017.

15. Fleury, C., Savoire, R., Harscoat-Schiavo, C., Hadj-Sassi, A., Subra-Paternault, P. Optimization of supercritical CO<sub>2</sub> process to pasteurize dietary supplement: Influencing factors and CO<sub>2</sub> transfer approach. **The Journal of Supercritical Fluids**, 141, 240-251. 2018.
16. Bourdoux, S., Zambon, A., Linden, I., Spilimbergo, S., Devlieghere, F., Rajkovic, A. Inactivation of foodborne pathogens on leek and alfalfa seeds with supercritical carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, 180, 105433. 2022.
17. Martín-Muñoz, D., Tirado, D., Calvo, L. Inactivation of Legionella in aqueous media by high-pressure carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, 180, 10543. 2022.
18. Torabian, G., Bahramian, B., Zambon, A., Spilimbergo, S., Adil, Q., Schindeler, A. et al. A hybrid process for increasing the shelf life of elderberry juice. **The Journal of Supercritical Fluids**, 140, 406-414. 2018.