

Processamento não térmico de suco de jabuticaba assistido por ultrassom de alta intensidade

Palavras-Chave: Tecnologia inovadora; *Design* de processos; Antocianinas.

Autores:

Rafael Augusto Juliato, FEA-UNICAMP

Iuri Procópio Castro Brito, FEA-UNICAMP

Prof. Dr. Eric Keven Silva (orientador), FEA-UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Nos últimos anos, a demanda mundial por alimentos e bebidas promotoras de saúde e bem-estar vem crescendo de maneira considerável, aumentando a visibilidade de produtos a base de frutas e exercendo grande pressão ao desenvolvimento de novas alternativas capazes de entregarem produtos de alto padrão sensorial e com características próximas às dos alimentos frescos (MARCUIZZO; FAGUNDES, 2022). A jabuticaba (*Plinia cauliflora*), fruta nativa da mata atlântica brasileira, possui alto valor nutricional e bioativo, mas acaba sendo pouco explorada economicamente devido à sua alta perecibilidade e sensibilidade aos processamentos convencionais baseados na aplicação de calor (FERNANDES et al., 2022). Nesse contexto, a elaboração de bebidas se torna uma alternativa viável para a agregação de valor e para o aumento da comercialização e acessibilidade de frutos nativos de alta perecibilidade. Em contrapartida, desafios devem ser superados para que tais produtos apresentem vida útil satisfatória, uma vez que, além do crescimento de microrganismos deteriorantes, a atividade de algumas enzimas, tais como pectinametilesterase (PME), polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) podem contribuir para a perda da qualidade do suco durante o tempo de armazenamento.

O processamento térmico de pasteurização, amplamente utilizado nas industriais de alimentos para a estabilização microbiana e enzimática de diversas bebidas, vem sendo rejeitado por parte do mercado consumidor, devido às alterações sensoriais e nutricionais comumente causadas pelo estresse térmico (DANGAL et al., 2023). Nesse sentido, tecnologias não térmicas de processamento, tais como Alta Pressão Hidrostática (*High Hydrostatic Pressure – HHP*), Campo Elétrico Pulsado (*Pulsed Electric Field – PEF*) e Ultrassom de Alta Intensidade (*High Intensity Ultrasound – HIUS*), têm ganhado cada vez mais visibilidade, devido ao potencial de substituição à pasteurização convencional, uma vez que, os produtos processados por estas tecnologias emergentes podem apresentar características mais próximas às percebidas nos produtos frescos (LEPAUS et al., 2023; ROOBAB et al., 2023).

Neste contexto, esta pesquisa avaliou a aplicação de processos não térmicos baseados na tecnologia de HIUS para produção de suco de jabuticaba, visando tanto sua estabilização enzimática, microbiológica e cinética, quanto a manutenção das características sensoriais e a preservação de compostos bioativos, tais

como as antocianinas. Os impactos dos processos não térmicos sobre os aspectos de qualidade do suco de jabuticaba foram comparados ao tratamento térmico de pasteurização.

METODOLOGIA:

As jabuticabas (*Plinia cauliflora*) foram gentilmente cedidas pela Fazenda Boa Vista (Casa Branca, São Paulo, Brasil). Após a recepção, a matéria-prima foi higienizada em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm), fracionada e armazenada em embalagens plásticas, sob vácuo e ao abrigo da luz a uma temperatura de -20 °C até o momento da utilização. As jabuticabas recebidas possuíam formato esférico, polpa esbranquiçada e casca fina de coloração preta. O diâmetro das jabuticabas e das sementes, assim como a quantidade de sementes no interior de cada fruta variaram consideravelmente, como apresentado na Figura 1. O suco de jabuticaba foi formulado na proporção 1:2 (fruta:água, *m/m*), sendo preparado no dia de realização de cada experimento. A homogeneização foi realizada em um blender (Waring, Estados Unidos) operando a 1,3 kW por 90 s. Após a homogeneização, o suco foi filtrado manualmente com o auxílio de uma peneira de *mesh* 60 (abertura de 250 µm) e centrifugado a 7.000 r.p.m. por 10 min (Avanti J-26 XPI, Beckman Coulter,



Figura 1 – Jabuticabas cortadas ao meio – fonte: autores (2024).

Estados Unidos). Foram realizados dois tratamentos térmicos e quatro tratamentos utilizando uma probe de ultrassom de 12 mm de diâmetro (Vibracell, 750 W, 20 kHz, Sonics®). Os tratamentos com HIUS foram aplicados em amostras de 30 g. O suco de jabuticaba foi tratado por 3 min nas potências acústicas de 8,4 W (HIUS20); 21,1 W (HIUS40); 33,8 W (HIUS60) e 47,8 W (HIUS80). O tratamento térmico a 90 °C/1 min (TT1) foi conduzido em um agitador magnético com aquecimento (MR HEI-TEC, Heidolph, Alemanha), enquanto o tratamento a 120°C/1 min (TT2) foi realizado em uma autoclave (AVS-75 Plus, Phoenix Lufenco, Brasil). Os históricos térmicos dos tratamentos foram registrados com o auxílio de um data logger (175T3, Testo, Brasil).

Os efeitos dos tratamentos térmicos e do HIUS foram avaliados sobre as propriedades físico-químicas de pH, sólidos solúveis totais (TSS) e estabilidade cinética (perfil de retroespalhamento). Os ensaios de estabilidade cinética foram realizados em um equipamento Turbiscan (Turbiscan™ Lab, Formulacion Inc., Alemanha). Para este ensaio, as amostras foram armazenadas a 25 °C por 7 dias e leituras pontuais foram realizadas de hora em hora até as 4 primeiras horas e ao completar 24 h de armazenamento. Em seguida, leituras pontuais foram realizadas no quarto e no sétimo dia. As atividades enzimáticas residuais de PME, POD e PPO foram obtidas de acordo com as metodologias propostas por Kimball (1991), Brochier *et al.* (2016) e Siguemoto & Gut (2017), respectivamente. Os teores de antocianinas e fenólicos totais (TPC) foram obtidos de acordo com as metodologias propostas por Giusti & Wrolstad (2001) e Singleton & Rossi (1965), respectivamente. Para determinação da atividade antioxidante dos sucos de jabuticaba, foram utilizadas as metodologias TEAC e FRAP, descritas por Re *et al.* (1999) e Antolovich *et al.* (2002), respectivamente. Tanto as análises de atividade antioxidante, quanto a quantificação de TPC foram conduzidas seguindo as modificações propostas por Arruda *et al.* (2017). Todas as análises espectrofotométricas foram conduzidas em um leitor de microplacas (SpectraMax Mini, Molecular Devices, Estados Unidos). As análises

microbiológicas de contagem total de bactérias aeróbias e mesófilas, fungos filamentosos e leveduras foram realizadas conforme metodologias descritas por Silva & Junqueira (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados das análises enzimáticas (Figura 2) mostraram uma alta resistência da enzima PME, presente na jabuticaba, frente aos tratamentos aplicados. Houve correlação positiva entre os tratamentos térmicos e a inativação da enzima, uma vez que, os tratamentos TT1 e TT2 resultaram em atividades residuais de 68 ± 1 e 45 ± 4 %, em relação ao controle, respectivamente. Os tratamentos HIUS inibiram a atividade de PME parcialmente, mas não diferiram significativamente entre si. A enzima POD presente no suco de jabuticaba apresentou alta sensibilidade frente aos tratamentos aplicados, visto que, tanto os tratamentos térmicos, quanto os tratamentos HIUS60 e HIUS80 resultaram na inativação total da enzima. Para a enzima PPO, foi observada certa resistência frente aos tratamentos HIUS. Embora os tratamentos térmicos tenham reduzido a atividade da enzima para $2,3 \pm 0,3$ (TT1) e $1,0 \pm 0,1$ % (TT2), os tratamentos HIUS20 e HIUS40 resultaram em atividades residuais médias de 84 ± 10 e 57 ± 2 %, respectivamente. Mesmo assim, os tratamentos HIUS60 e HIUS80 foram capazes de reduzir a atividade da PPO para $11,5 \pm 0,4$ % e $9,2 \pm 0,1$ %, respectivamente. Os valores de atividade residual foram calculados com base na atividade enzimática obtida para o suco controle.

O suco controle apresentou TPC de 55 ± 1 mg GAE/100 mL. Ao ser aplicado o tratamento TT1, houve um aumento para 58 ± 1 mg GAE/100 mL, seguido de uma diminuição para 56 ± 1 mg GAE/100 mL ao se aplicar o tratamento TT2. Para os tratamentos com HIUS, o mesmo comportamento pôde ser observado. Embora as amostras HIUS20, HIUS40 e HIUS80 não tenham diferido estatisticamente do suco não tratado (p -valor $< 0,05$), o maior conteúdo de fenólicos foi dado para o tratamento HIUS60 ($58,6 \pm 0,1$ mg GAE/100 mL), seguido de um decréscimo quando aplicado o tratamento HIUS80 (56 ± 1 mg GAE/100 mL) (Figura 2). A principal hipótese para o comportamento observado se dá pela liberação de compostos fenólicos decorrente da lise celular provocada pelos tratamentos aplicados. Subsequentemente, ao passo que os tratamentos se intensificam, os mesmos compostos passam a ser degradados. Em relação às antocianinas, a amostra controle apresentou um teor de 117 ± 4 mg cianidina-3-glicosídeo (CGO3)/100 mL. O mesmo comportamento citado anteriormente pôde ser observado para os tratamentos térmicos. Em contrapartida, os tratamentos HIUS20 e HIUS40 não alteraram significativamente o teor de antocianinas frente ao controle (p -valor $< 0,05$). Ainda assim, os tratamentos HIUS60 e HIUS80 acarretaram um aumento dos teores, sendo estatisticamente semelhantes ao apresentado por TT1 (p -valor $> 0,05$). O comportamento observado indica uma maior termossensibilidade das antocianinas frente a outros compostos fenólicos quantificados, mas uma maior estabilidade frente aos efeitos da cavitação acústica. Em relação à atividade antioxidante, houve correlação positiva dos teores frente à aplicação de calor. Por outro lado, as amostras tratadas com HIUS não apresentaram variações significativas, em relação à amostra controle, em seus teores de atividade antioxidante (p -valor $< 0,05$).

A Figura 2 também exhibe os efeitos dos tratamentos aplicados sobre o coeficiente global de desestabilização (*Turbiscan Stability Index* – TSI) das amostras de suco de jabuticaba ao longo do tempo de armazenamento. Os resultados mostram que os tratamentos HIUS40, HIUS60 e HIUS80 foram capazes de conter a separação de fases do suco, assim como em TT1 (p -valor $> 0,05$). A amostra HIUS20 apresentou a

mesma desestabilização da amostra controle. Além disso, a amostra TT2 apresentou menor estabilidade cinética durante as duas primeiras horas de armazenamento, posteriormente, se mantendo estável pelo restante do tempo. Como o processo de desestabilização dos sucos pode estar relacionada com atividade da enzima PME, que catalisa a desesterificação das moléculas de pectina, tornando-a insolúvel (Zhang *et al.*, 2011), sua inativação é crucial para a manutenção da estabilidade cinética do suco de jabuticaba. Nesse sentido, a desestabilização inicial observada para a amostra TT2 pode estar relacionada com a precipitação da macromolécula, que decantaram no início do tempo de armazenamento. O suco de jabuticaba controle apresentou pH $3,30 \pm 0,01$ e TSS de $4,40 \pm 0,01$ °Brix. Os tratamentos aplicados não apresentaram efeitos sobre o pH (variação máxima de 0,1).

Por fim, não foi possível identificar crescimento microbiano em nenhuma das análises microbiológicas. De acordo com Inada *et al.* (2021), os compostos bioativos da jabuticaba apresentam propriedades antimicrobianas e atuam como possíveis conservantes naturais.

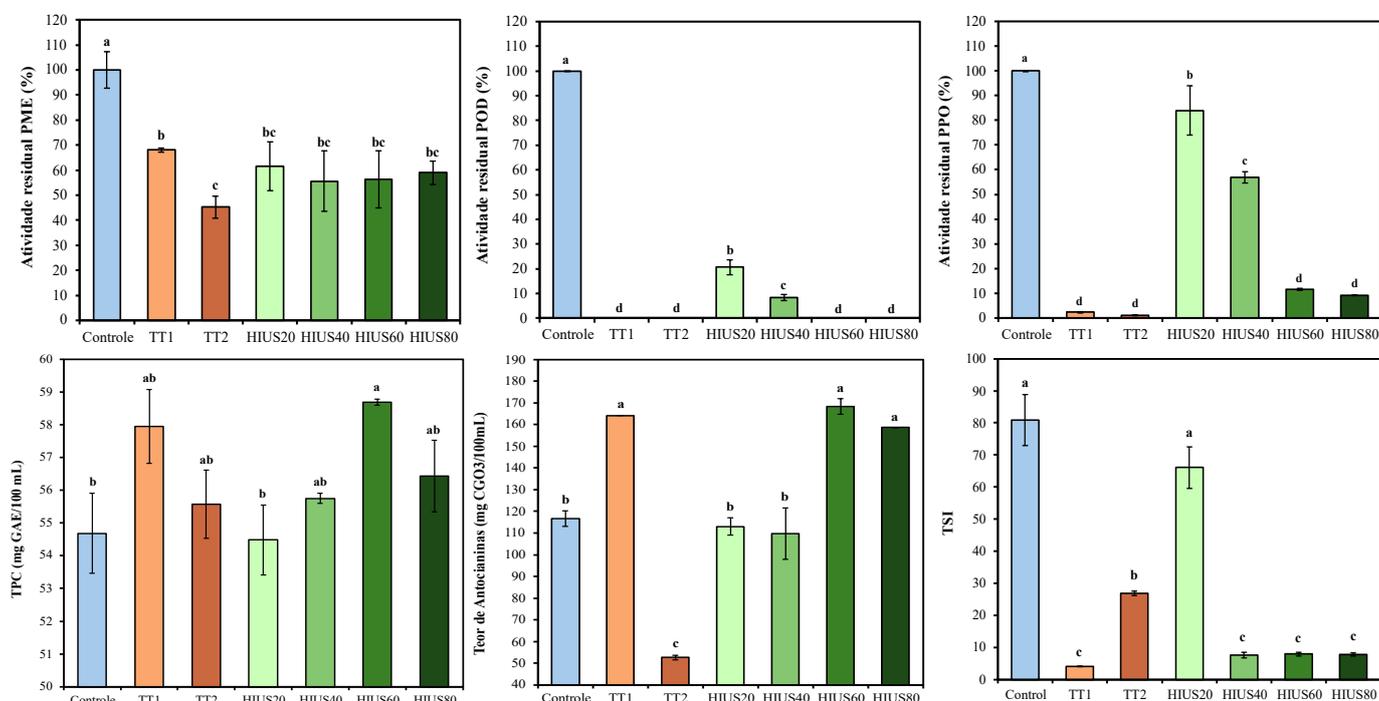


Figura 2 – Atividades enzimáticas residuais de PME, POD e PPO; TPC e teor de antocianinas totais em função dos tratamentos aplicados; TSI global em função do tempo de armazenamento – fonte: autores (2024).

CONCLUSÕES:

O uso da tecnologia de HIUS aplicada no processamento não térmico de suco de jabuticaba mostrou ser viável do ponto de vista tecnológico, uma vez que promoveu a estabilização cinética e a inativação de enzimas importantes para o controle de qualidade de sucos de frutas, sem degradar significativamente os compostos fenólicos, tais como as antocianinas. Por fim, os resultados obtidos demonstraram que a tecnologia de HIUS é uma alternativa promissora para a produção de suco de jabuticaba cineticamente estável, agregando valor aos produtos agroindustriais brasileiros por meio do processamento não térmico.

BIBLIOGRAFIA

- Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1), 183–198.
- Arruda, H. S., Pereira, G. A., & Pastore, G. M. (2017). Optimization of extraction parameters of total phenolics from *Annona crassiflora* Mart. (araticum) fruits using response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 10(1), 100–110.
- Brochier, B., Mercali, G. D., & Marczak, L. D. F. (2016). Influence of moderate electric field on inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase and on phenolic compounds of sugarcane juice treated by ohmic heating. *LWT*, 74, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.001>.
- Dangal, A., Timsina, P., Dahal, S., Rai, K., & Giuffrè, A. M. (2023). Advances in Non-thermal Food Processing Methods-Principle Advantages and Limitations for the Establishment of Minimal Food Quality as well as Safety Issues: A Review. *Current Nutrition & Food Science*, 20(7), 836–849. <https://doi.org/10.2174/0115734013250808230921105514>.
- Fernandes, I. de A. A., Maciel, G. M., Maroldi, W. V., Bortolini, D. G., Pedro, A. C., & Haminiuk, C. W. I. (2022). Bioactive compounds, health-promotion properties and technological applications of Jaboticaba: A literature overview. In *Measurement: Food* (Vol. 8). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100057>.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Inada, K. O. P., Leite, I. B., Martins, A. B. N., Fialho, E., Tomás-Barberán, F. A., Perrone, D., & Monteiro, M. (2021). Jaboticaba berry: A comprehensive review on its polyphenol composition, health effects, metabolism, and the development of food products. In *Food Research International* (Vol. 147). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110518>
- Kimball, D. A. (1991). *Citrus processing. Quality control and technology*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold (pp. 117–125).
- Lepaus, B. M., Valiati, B. S., Machado, B. G., Domingos, M. M., Silva, M. N., Faria-Silva, L., Bernardes, P. C., Oliveira, D. da S., & de São José, J. F. B. (2023). Impact of ultrasound processing on the nutritional components of fruit and vegetable juices. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 138, pp. 752–765). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.002>.
- Marcuzzo, S. B., & Fagundes, M. B. (2022). Know to preserve: Can the taste of native fruits change perceptions in favor of environmental conservation? *Trees, Forests and People*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100337>.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.
- Roobab, U., Abida, A., Madni, G. M., Ranjha, M. M. A. N., Zeng, X. A., Mousavi Khaneghah, A., & Aadil, R. M. (2023). An updated overview of ultrasound-based interventions on bioactive compounds and quality of fruit juices. In *Journal of Agriculture and Food Research* (Vol. 14). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100864>.
- Siguemoto, É. S., & Gut, J. A. W. (2017). Validation of spectrophotometric microplate methods for polyphenol oxidase and peroxidase activities analysis in fruits and vegetables. *Food Science and Technology (Brazil)*, 37, 148–153. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.36216>.
- Silva, N.d., et al., *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*. 6ª ed. 2021: Blucher.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Zhang, C., Trierweiler, B., Li, W., Butz, P., Xu, Y., Rüfer, C. E., et al. (2011). Comparison of thermal, ultraviolet-c, and high pressure treatments on quality parameters of watermelon juice. *Food Chemistry*, 126(1), 254–260.