

## AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE TERMOENZIMÁTICA DA PEROXIDASE PRESENTE NO AÇAÍ (*Euterpe Oleracea Mart.*) COLETADO EM BELÉM(PA) NA ENTRESSAFRA DE 2025

Beatriz S. M. Pereira<sup>1</sup>, Janiele C. R. Cunha<sup>2</sup>, Khetly L. F. Mera<sup>3</sup>, Maria L. P. Sousa<sup>4</sup>, Samilla D. A. Gigante<sup>5</sup>, Talita C. Galindo<sup>6</sup>, Rogilson N. S. Porfírio<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Instituto Federal do Pará (FPA), discentes do Curso Técnico em Química, LABTEC, Campus Belém.

<sup>7</sup> Instituto Federal do Pará (FPA), docente do Curso de Química, LABTEC, Campus Belém.

[rogilsonp@yahoo.com.br](mailto:rogilsonp@yahoo.com.br)

**Palavras-Chave:** Enzima, Inativação, Oxidação.

### Introdução

A peroxidase (POD) é uma enzima do tipo oxidoreductora, amplamente associada a processos de deterioração oxidativa em frutas, vegetais e produtos processados, como o açaí. Durante sua ação catalítica, o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) ou um peróxido orgânico é reduzido enquanto um doador de elétrons é oxidado. Em muitos casos, o produto da oxidação apresenta coloração, o que permite a determinação colorimétrica da atividade da POD. Essa enzima atua promovendo reações de oxidação por desidrogenação, resultando em alterações indesejáveis no aroma, sabor, cor, textura e valor nutricional dos alimentos (Brito et al., 2005; Porfírio et al., 2018a).

Por ser altamente perecível, o suco de açaí apresenta um tempo máximo de conservação sob refrigeração de apenas 12 horas. Essa limitação está relacionada tanto à sua vulnerabilidade microbiológica quanto à ação de enzimas degradativas, que alteram cor, sabor e aroma, conferindo ao produto um gosto azedo (Alexandre et al., 2004).

A fim de assegurar a qualidade e a segurança alimentar de um produto consumido diariamente por milhares de paraenses (Belém, 2025), a inativação enzimática apresenta-se como uma estratégia promissora. Esse estudo pode funcionar como um indicador de aprimoramento do produto e de qualificação dos processos de comercialização e armazenamento, inclusive em condições prolongadas, com ou sem refrigeração. No entanto, devido a elevada termorresistência, a peroxidase (POD) apresenta um processo de inativação complexo, sendo capaz de recuperar parcialmente sua atividade sob determinadas condições (Porfírio et al., 2018a, 2018b; Santos, 2002).

Dada a importância comercial do açaí, é fundamental compreender o comportamento térmico do suco após o processamento. Técnicas como o pré-tratamento térmico, a refrigeração e o congelamento são comumente empregadas para preservar as características organolépticas do fruto e prolongar sua durabilidade. Uma das estratégias para manter essas qualidades é submeter o produto a um tratamento térmico que promova a inativação enzimática. Nessa abordagem, ocorre a desnaturação térmica parcial da POD, com perda de sua estrutura tridimensional funcional. Posteriormente, sob condições favoráveis, especialmente durante incubação a frio, pode haver uma reorganização da conformação molecular, possibilitando a recuperação parcial da atividade catalítica original (Porfírio et al., 2018a, 2018b; Santos, 2002).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da temperatura sobre a estabilidade enzimática do suco de açaí in natura classificado como tipo C — ou “popular” — conforme a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (MAPA, 2000). Esse tipo de açaí é caracterizado pela extração da polpa com adição de água e seguida de filtração, apresentando entre 8% e 11% de sólidos totais e uma aparência pouco densa.

Para isso, foram analisadas as principais características termoquímicas da peroxidase (POD) presente no suco de açaí tipo C, coletado em pontos de processamento na cidade de

Belém (PA), durante o período de entressafra de 2025, compreendido entre os meses de janeiro a junho. As amostras foram submetidas a tratamento térmico a quente e, posteriormente, à incubação a frio por tempos definidos de até 3 horas após o processamento, a fim de avaliar possíveis variações na atividade enzimática.

O teste da atividade termoenzimática da peroxidase (POD) demonstrou ser sensível mesmo após o tratamento térmico a 80 °C por 2 minutos, considerando-se a cinética da concentração enzimática inicial. Observou-se também que a atividade enzimática residual foi reduzida gradualmente ao longo de 15 minutos, após 3 horas de incubação a frio. Quando submetidas individualmente à refrigeração, as amostras apresentaram regeneração parcial da atividade enzimática relativa, com 80% aos 30 minutos, 68% aos 60 minutos e cerca de 55% nos tempos subsequentes. Já sob congelamento, a atividade relativa foi de aproximadamente 80% aos 30 minutos, mantendo-se estável em torno de 60% nos demais tempos avaliados.

Os resultados obtidos apontam que o uso de tratamentos térmicos seguidos a quente e incubação a frio, especialmente sob congelamento, pode melhorar significativamente a qualidade do açaí processado, ajudando na sua conservação e favorecendo e ampliando as possibilidades de comercialização do produto

## Material e Métodos

A amostra de suco natural de açaí utilizada neste estudo foi classificada como popular (*in natura*, tipo C), conforme o MMA (2000), por apresentar teor de sólidos totais entre 8% e 11%. As amostras foram obtidas em pontos comerciais da Região Metropolitana de Belém (PA), durante o período de entressafra de 2025 caracterizado pela menor disponibilidade do fruto e por propriedades físico-químicas distintas daquelas observadas na safra.

O transporte das amostras foi realizado em caixas térmicas de isopor, de forma a preservar as características da amostra até a chegada ao Laboratório de Tecnologia (LABTEC) do IFPA – Campus Belém, onde foram realizadas as análises. No laboratório, a amostra foi inicialmente homogeneizada por agitação manual e em seguida, peneirado para remover sólidos residuais visando à padronização e à maior uniformidade das alíquotas.

A estabilidade térmica e a atividade residual da enzima peroxidase (POD) foram avaliadas após tratamento térmico da amostra de açaí a 80 °C por 2 minutos, temperatura comumente usadas no processo de branqueamento do fruto. Em seguida, as alíquotas das amostras foram armazenadas por 30, 60, 120 e 180 minutos sob duas condições refrigeração: 5 °C denominada *Açaí Gelado* e a -25 °C denominada de *Açaí Congelado*.

As alíquotas foram incubadas em um volume de tampão fosfato 0,1 mol L<sup>-1</sup> (pH 7,0), sob agitação vigorosa e posteriormente centrifugadas por 10 minutos para separação de fases. Ao extrato enzimático obtido (1 mL) foi então adicionado 1 mL de solução de guaiacol a 0,5%, empregada como doadora de elétrons na reação catalisada pela POD.

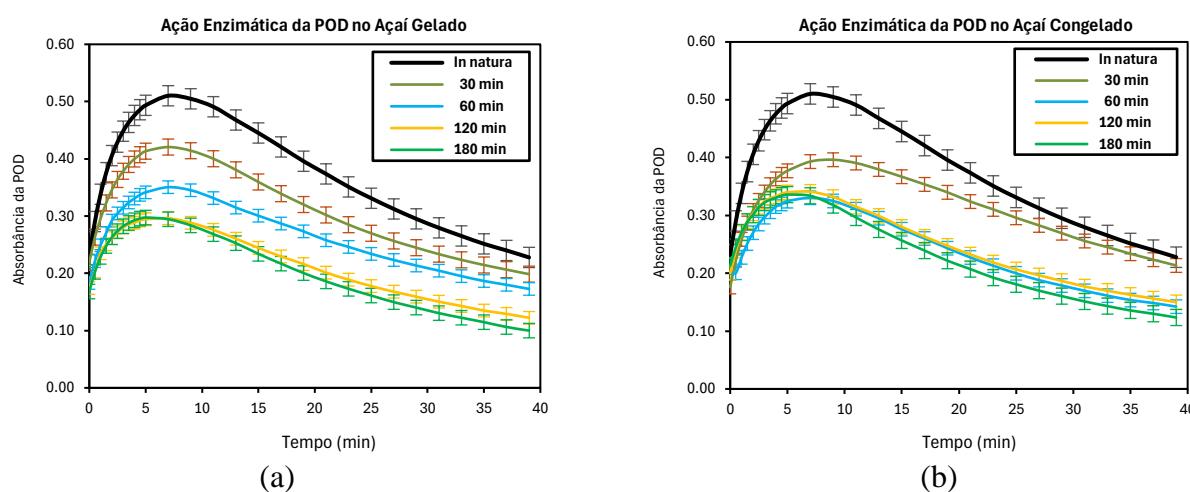
A atividade enzimática residual foi determinada por espectrofotometria utilizando o espectrofotômetro modelo DR-3900 (Hach), com leitura da absorbância a 470 nm a 25 °C. Como substrato e acceptor de elétrons, foi utilizado peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 3%, conforme metodologia de Santos (2002), Alexandre et al. (2004) e Porfírio et al. (2018a,b).

## Resultados e Discussão

As análises da atividade enzimática da peroxidase (POD) foram realizadas conforme metodologia previamente estabelecida, utilizando amostras de suco de açaí *in natura* obtidas em pontos de venda tradicionais (batedores) da cidade de Belém (PA), durante o período de entressafra (janeiro a junho) de 2025. As amostras foram submetidas a tratamento térmico moderado ou desnaturação a 85 °C por 2 min em banho-maria, com o objetivo de reduzir a atividade do sítio ativo da POD associado as reações de deterioração oxidativa do suco, seja ele *in natura* ou processado (Porfírio et al., 2018).

Após tratamento térmico, as amostras foram incubadas sob duas condições de armazenamento definidas como refrigeração a 5 °C (gelado) e congelamento a -25 °C (congelado), por períodos de 30, 60, 120 e 180 minutos. O objetivo desse processo foi avaliar a possível regeneração ou renaturação da atividade enzimática da peroxidase em diferentes condições de temperatura, simulando etapas de conservação do produto com foco na manutenção da qualidade. Os resultados médios obtidos durante o período da entressafra de 2025, para ambas as condições de armazenamento, estão presentes nos gráficos da Figura 1.

**Figura 1.** Atividade enzimática residual da POD na amostra de açaí.



Os gráficos da Figura 1 representam as médias dos valores obtidos durante o período de análise, acompanhadas dos respectivos erros-padrão de 2% para as amostras in natura e 1,5% para as demais. A linha de referência indica a atividade enzimática da peroxidase (POD) no suco natural de açaí, utilizada como controle para comparação com as amostras submetidas aos tratamentos térmicos seguidos de incubação a frio nas condições gelada e congelada.

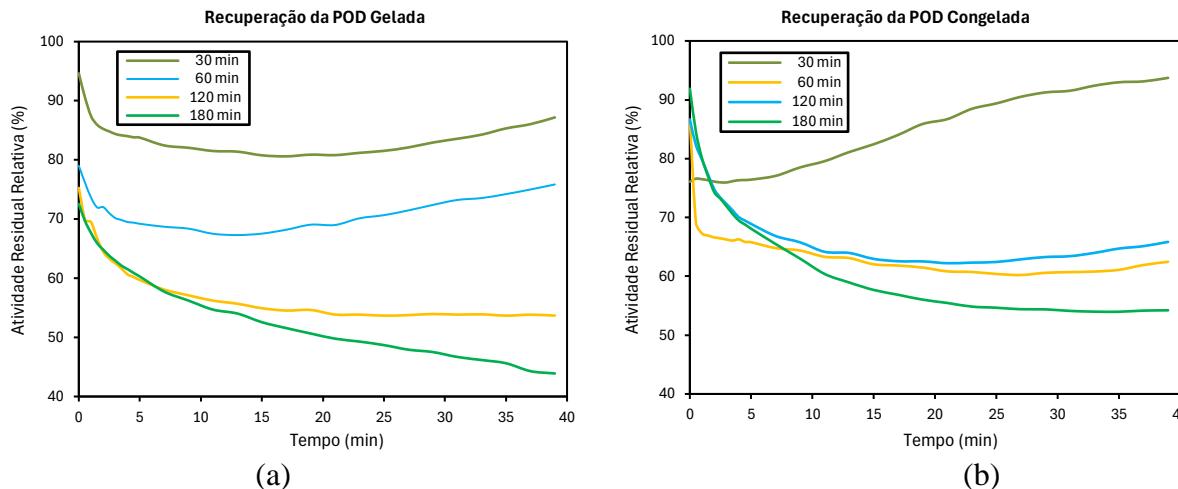
Na Figura 1(a), são apresentadas as curvas correspondentes à atividade enzimática das amostras armazenadas sob refrigeração a 5 °C, em refrigerador doméstico. Já na Figura 1(b), observam-se as curvas referentes à atividade enzimática das amostras submetidas ao congelamento a -25 °C no compartimento do freezer do mesmo refrigerador.

Em ambos os gráficos, observa-se que o tratamento térmico a 85 °C por 2 minutos não é suficiente para promover a completa inativação da enzima peroxidase. A atividade enzimática residual apresenta um pico de atividade cinética entre 5 e 10 min, mantendo-se ativa ao longo do tempo com declínio progressivo e contínuo, tendendo à estabilização em um valor residual constante em todos os tempos de análise. Assim, quanto mais tempo levar para analisar as alíquotas menor será a quantidade de enzima residual, mostrando sua resistência cinética.

Ao comparar os dois gráficos, verifica-se que, independentemente do tempo de incubação, os valores de atividade enzimática residual da peroxidase são consistentemente inferiores aos da amostra in natura, como era esperado. Observa-se, ainda, que as amostras armazenadas sob refrigeração apresentam maior atividade residual em comparação às submetidas ao congelamento. Além disso, em tempos mais longos de incubação, nota-se uma tendência à estabilização dos valores, especialmente nas amostras congeladas, a partir de aproximadamente 30 minutos.

Para tempos superiores a 30 minutos, observa-se uma tendência de redução da atividade enzimática, mais pronunciada nas amostras submetidas ao congelamento. A influência da temperatura no teste de recuperação da atividade da POD do açaí, após o tratamento térmico seguido de incubação sob diferentes condições de armazenamento a frio, em comparação à atividade média da amostra in natura, está representada no gráfico da Figura 2.

**Figura 2.** Efeito da temperatura na regeneração da POD no suco natural do açaí.



Os gráficos apresentados na Figura 2 representam a recuperação da atividade da POD, expressa com base nas médias dos perfis cinéticos ilustrados na Figura 1. Observa-se que as atividades enzimáticas residuais apresentam comportamentos temporais semelhantes, das variações atribuídas as diferentes condições de incubação térmica.

Segundo Furtunato (2002, apud FREITAS *et al.*), as enzimas podem se tornar novamente ativas mesmo após a inativação térmica. Fenômeno conhecido como renaturação, que ocorre com algumas enzimas mesmo depois de cessado o aquecimento causador da desnaturação. Esse fato é maior quando o resfriamento que segue o tratamento térmico é lento.

O tempo de incubação de 30 min mostrou-se insuficiente para promover a completa inativação dessa enzima, uma vez que, sua atividade oxidativa é parcialmente restabelecida, exibindo uma tendência a diminuição progressiva seguida de estabilização em um patamar contínuo, que se mantém durante as medições sem atingir a inativação total, conservando a capacidade catalítica latente, independentemente de a amostra ter sido gelada ou congelada.

Para as amostras incubadas por 30 min, observa-se na Figura 2(a), que a atividade enzimática tende a se restabelecer parcialmente e crescer, semelhantemente a 60 min. Quando as amostras são congeladas Figura 2(b), a partir de 60 min o comportamento é semelhante mantendo-se em um patamar constante de aproximadamente 60% da atividade residual. Mostrando que tempo de incubação congelados são mais eficazes que somente gelados.

As temperaturas utilizadas na incubação das amostras promoveram, de certa forma, a redução da atividade da POD. Contudo, ambos os tratamentos testados não foram suficientes eficazes para promover a inativação total, persistindo níveis residuais de atividade enzimática. Tais resultados corroboram com os obtidos por Porfírio *et al.* (2018b) e Santos (2002), que mostram a elevada termoestabilidade da POD presente no açaí com tratamentos térmicos na faixa de 85 °C a 100 °C, sendo ineficazes na eliminação completa da ação oxidativa da enzima.

## Conclusões

As temperaturas aplicadas durante a incubação das amostras promoveram, ainda que com limitações, a redução da atividade da peroxidase (POD), não sendo suficientes para a completa inativação da enzima, resultando na persistência de níveis residuais de atividade oxidativa.

Com base nos parâmetros avaliados, observa-se que a quantidade de POD presente no suco de açaí interfere significativamente em sua qualidade ao longo do tempo após o processamento. A incubação térmica a 85 °C foi capaz de inativar aproximadamente 60% da atividade, mesmo após 3 horas de incubação a frio. Esse resultado indica que o uso de

temperaturas elevadas pode ser mais eficaz, impedindo que a enzima retorne a sua conformação funcional, recuperando parte da sua atividade.

Também foi observado que a degradação das características das amostras de açaí continuou ocorrendo, mesmo após a incubação sob refrigeração a 5 °C e congelamento a –25 °C. Isso pode ser verificado nos gráficos das Figuras 2, que demonstram uma recuperação da atividade enzimática, mesmo após o período de incubação em temperaturas frias.

Particularmente nos períodos analisados, os resultados indicam que, em matrizes vegetais tropicais ricas em compostos fenólicos — como é o caso do açaí — o tratamento térmico convencional não é suficiente para inativar completamente a peroxidase (POD), cuja elevada termoestabilidade permite a continuidade das reações oxidativas após o processamento.

Diante disso, os métodos de processamento térmico do açaí podem ser aprimorados, seja por meio do aumento da intensidade do tratamento, da combinação com outras técnicas ou tecnologias, ou pelo controle rigoroso das condições de armazenamento. Tais medidas seriam benéficas e poderiam fazer essa enzima ser um marcador eficaz da adequação do tratamento, e ser capaz de dar estabilidade ao produto, preservar sua qualidade sensorial e prolongar sua vida útil para fins de comercialização e conservação.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Pará (IFPA), a Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação e Inovação (DPPI) e a Coordenação de Química pela oportunidade em desenvolver esse trabalho.

## Referências

- ALEXANDRE, Deise.; CUNHA, Rosiane L.; HUBINGER, Míriam D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculo. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 24(1): 114-119, jan.-mar. 2004.
- BELÉM. Lei nº 11.140, de 03 de setembro de 2025. Dispõe sobre a caracterização do batedor(a) artesanal de açaí, as formas de congelamento e armazenamento da polpa de açaí pelo batedor(a) artesanal de açaí para a comercialização no Estado do Pará. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=483090>. Acesso em: 10 set. 2025.
- BRITO, Carlos A. K.; SATO, Hélia H.; SPIRONELLO, Ademar; SIQUEIRA, Walter J.; Características da atividade da peroxidase de abacaxis (L. Merrill) da cultivar IAC gomo-de-mel e do clone IAC-1. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(2):244-249, abr.-jun. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. *Diário Oficial da União*, 10 jan. 2000.
- FREITAS, Andreia Andrade de; FRANCELIN, Maria Fernanda; HIRATA, Gláucia Freitas; CLEMENTE, Edmar; SCHMIDT, Flávio Luis. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares benitaka e rubi e em seus sucos e geleias. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(1): 172-177, jan.-mar. 2008. Acessado: 07/09/20205. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/gcvMmfMjn4nrsQWj9MpNk8c/?format=pdf&lang=pt>
- PORFÍRIO, Rogilson N. S.; RODRIGUES, Giovanna O.; SOUZA, Heloisa V.; MAIA, Iria V. B.; SOUZA, Sara E. T. Análise espectroscópica da inativação da enzima peroxidase presente no suco de açaí no período de safra e entressafra. **19º Encontro Nacional de Química Analítica e 7º Congresso Iberoamericano de Química Analítica**. Centro de Eventos e Convenções DiRoma, Caldas Novas-GO. 16 a 19 de setembro de 2018a, p. 1122.
- PORFÍRIO, R. N. S.; CARVALHO, C. A. B.; ALMEIDA, I. L. S.; BEZERRA, R. C.; FREITAS, M. R. A.; OLIVEIRA, C. A. R. O efeito do tratamento térmico na inativação da enzima peroxidase e sua influência na comercialização da polpa de açaí coletado nas feiras livres de Belém-PA, em período de safra do fruto (*Euterpe oleracea Martius*). In: **58º Congresso Brasileiro de Química**, 2018. Anais [...]. Belém: ABQ, 2018b. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/10/1114-23188.html>.
- SANTOS, E. R. Caracterização bioquímica da peroxidase e da polifenoloxidase de açaí (*Euterpe oleracea, Mart.*) 2002. 104 p. **Tese (Mestrado em Ciência de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.