



Potencial lipolítico de sementes de *Bactris gasipaes* Kunth

Diogo Melo Batista^{1,*} Everton Vanzeler Pastana², Jakeline dos Santos³, Ketharine Caroline Borges Assunção⁴, Isabela Evelyn Barra Viana⁵ e João da Silva Carneiro⁶

¹ Universidade do Estado do Pará, UEPA, Cametá, Brasil. <https://orcid.org/0009-0001-6107-8210>

² Universidade do Estado do Pará, UEPA, Cametá, Brasil. <https://orcid.org/0009-0005-0207-2037>

³ Universidade do Estado do Pará, UEPA, Cametá, Brasil. <https://orcid.org/0009-0005-9927-8946>

⁴ Universidade do Federal do Pará, UFPA, Cametá, Brasil. <https://orcid.org/0009-0006-3088-8807>

⁵ Universidade do Estado do Pará, UEPA, Cametá, Brasil. <https://orcid.org/0009-0000-7109-8453>

⁶ Universidade do Estado do Pará, UEPA, Belém, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-1407-2104>

* Autor Correspondente: diogomelobatista13@gmail.com

Recebido: 10/06/2025; Aceito: 28/11/2025

Resumo: As enzimas lipolíticas de origem vegetal vêm despertando crescente interesse devido ao seu potencial para substituir catalisadores sintéticos em processos industriais, oferecendo alternativas mais sustentáveis e econômicas. Entretanto, a prospecção de novas fontes naturais de lipases ainda é limitada, especialmente entre espécies nativas da Amazônia. Nesse contexto, a *Bactris gasipaes* Kunth (pupunheira) surge como uma planta promissora, pois suas sementes, embora geralmente descartadas, apresentam composição rica em lipídios e proteínas que podem atuar como substrato para enzimas de interesse biotecnológico. Assim, este trabalho teve como objetivo investigar a presença e caracterizar as propriedades físico-químicas das lipases presentes nas sementes de *B. gasipaes*, contribuindo para ampliar o conhecimento sobre potenciais fontes enzimáticas vegetais amazônicas. O estudo envolveu a obtenção de extratos brutos de sementes maduras de *B. gasipaes* coletadas no município de Cametá (PA). Após Trituração e extração em tampão específico, a atividade lipásica foi avaliada por titulação de ácidos graxos liberados a partir da hidrólise de óleo de oliva, sob diferentes condições de pH (4,0–8,8) e temperatura (37–60°C). A atividade foi expressa em unidades enzimáticas por mililitro (U/mL). Os resultados demonstraram atividade lipolítica significativa, com desempenho superior ao relatado para outras lipases vegetais. O pH ótimo foi identificado em 4,5, e a temperatura ótima em 40°C, alcançando 130 U/mL de atividade. As enzimas mostraram estabilidade parcial em faixas mais alcalinas, sugerindo a presença de isoenzimas. Essa adaptação ao pH ácido é especialmente interessante para aplicações em processos de transesterificação de óleos residuais com alta acidez, como na produção de biodiesel. A eficiência catalítica observada supera valores encontrados em lipases microbianas (5–16 U/mL), indicando potencial biotecnológico. Conclui-se que as sementes de *B. gasipaes* representam uma fonte inédita e promissora de lipases vegetais com alto rendimento e baixo custo de obtenção. Suas características físico-químicas, associadas à ampla disponibilidade da espécie na Amazônia, reforçam seu potencial de aplicação em processos industriais sustentáveis, especialmente nos setores energético e alimentício. O estudo contribui para preencher uma lacuna científica sobre enzimas de origem vegetal amazônica, destacando a importância de explorar recursos biológicos regionais na busca por biocatalisadores eficientes e ambientalmente compatíveis.

Palavras-chave: atividade enzimática; caracterização físico-química; lipase.

Lipolytic potential of seeds of *Bactris gasipaes* Kunth

Abstract: Lipolytic enzymes of plant origin have been attracting increasing interest due to their potential to replace synthetic catalysts in industrial processes, offering more sustainable and economical alternatives. However, the search for new natural sources of lipases is still limited, especially among native Amazonian species. In this context, *Bactris gasipaes* Kunth (peach palm) emerges as a promising plant, since its seeds, although generally discarded, have a composition rich in lipids and proteins that can act as a substrate for enzymes of biotechnological interest. Thus, this work aimed to investigate the presence and characterize the physicochemical properties of lipases present in the seeds of *B. gasipaes*, contributing to expanding knowledge about potential Amazonian plant enzyme sources.

The study involved obtaining crude extracts from mature seeds of *B. gasipaes* collected in the municipality of Cametá (PA). After grinding and extraction in a specific buffer, lipase activity was evaluated by titration of fatty acids released from the hydrolysis of olive oil under different pH (4.0–8.8) and temperature (37–60°C) conditions. Activity was expressed in enzyme units per milliliter (U/mL). The results demonstrated significant lipolytic activity, with performance superior to that reported for other plant lipases. The optimum pH was identified at 4.5, and the optimum temperature at 40°C, reaching 130 U/mL of activity. The enzymes showed partial stability in more alkaline ranges, suggesting the presence of isoenzymes. This adaptation to acidic pH is especially interesting for applications in transesterification processes of waste oils with high acidity, such as in biodiesel production. The observed catalytic efficiency exceeds values found in microbial lipases (5–16 U/mL), indicating biotechnological potential. It is concluded that the seeds of *B. gasipaes* represent a novel and promising source of plant lipases with high yield and low production cost. Their physicochemical characteristics, combined with the wide availability of the species in the Amazon, reinforce their potential for application in sustainable industrial processes, especially in the energy and food sectors. This study contributes to filling a scientific gap regarding enzymes of Amazonian plant origin, highlighting the importance of exploring regional biological resources in the search for efficient and environmentally compatible biocatalysts.

Key-words: enzymatic activity. physicochemical characterization. lipase.

1. INTRODUÇÃO

As enzimas são macromoléculas, predominantemente, de origem proteica, que aceleram reações químicas sem alterar o seu equilíbrio (Siqueira et al., 2020). A União Internacional de Bioquímica e Biologia Molecular (IUBMB) classificou as enzimas em seis grupos, com base no tipo de reação que catalisam: oxirreduases, transferases, hidrolases, liases, isomerase e ligases (MONTEIRO & NASCIMENTO, 2009). Entre esses grupos, as hidrolases se destacam comercialmente, sendo amplamente utilizadas em diversos setores industriais, como na produção de alimentos, medicamentos, papel e produtos de limpeza (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES., 2007). De acordo com um relatório de 2025 da Companhia de Comunicações Empresariais (BBC Research), estima-se que o mercado global de enzimas para aplicações industriais cresça de US\$ 7,9 bilhões em 2024 para US\$ 10,8 bilhões em 2029, a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,5%. Dentro das hidrolases, as lipases têm se destacado por seu grande potencial de aplicação (PASTORE; COSTA; KOBLITZ, 2003).

Diferentemente da maioria das hidrolases, além da atividade hidrolítica, as lipases apresentam atividades de interesterificação, esterificação, aminólise e alcoolise, sintetizando ésteres a partir de glicerol e ácidos graxos de cadeia longa em meio não aquoso (CHANDRA et al., 2020). Essa versatilidade faz com que as lipases sejam, amplamente, empregadas em setores como a formulação de detergentes, produção de fármacos, cosméticos, alimentos, perfumaria, diagnósticos médicos, além de na produção de aromas e na modificação de óleos e gorduras (SHARMA, CHIST E BANERJEE, 2001). Esses biocatalisadores podem ser obtidos de tecidos animais, vegetais e microrganismos, sendo estes últimos os mais utilizados (MONTEIRO & NASCIMENTO, 2009). Apesar das lipases de origem microbianas serem mais utilizadas, seu custo é muito elevado. Nesse sentido, as lipases de origem vegetal desempenham como uma alternativa mais econômica, uma vez que sua obtenção e produção tendem a ser mais simples e acessíveis (MATEOS et al., 2021). Por exemplo, plantas como *Ananas comosus* (abacaxi), *Avena sativa* (aveia) e *Carica papaya* (mamão) são reconhecidas por sua alta produção de enzimas (ANTUNES et al., 2017).

A flora do Brasil, em razão de sua biodiversidade, é uma das mais ricas em compostos bioativos no mundo, com destaque para a Amazônia, uma floresta tropical com clima quente e úmido, que abriga uma vasta heterogeneidade vegetal (SILVA & ORLANDA, 2018). Entre as plantas nativas da Amazônia, a *B. gasipaes*, popularmente conhecida como pupunheira, se destaca por seus múltiplos usos. Os frutos e o palmito são utilizados na alimentação, as palhas empregam-se na confecção de artesanatos e na cobertura de habitações, as flores servem como condimento, o estipe é aproveitado como madeira para construções e as amêndoas destinam-se à extração de óleos. (SOUZA et al., 2022). Atualmente, a pupunheira é cultivada comercialmente com duas finalidades principais: a produção de frutos e a extração de palmito. No entanto, estudos indicam um potencial ainda inexplorado nas sementes de pupunha, que se mostram ricos em metabólitos, como proteínas, lipídios e ácidos graxos (NAZÁRIO et al., 2013). Essas descobertas sugerem a possibilidade de se encontrar lipases no endosperma dos frutos. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo investigar a presença de lipases em sementes de *B. gasipaes* e caracterizá-las fisico-quimicamente, buscando o conhecimento e aproveitamento químico e biotecnológico dessas biomassas abundantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material botânico

Os frutos de *B. gasipaes* foram adquiridos na zona rural, em uma propriedade na localidade Sapucaia, no Município de Cametá, no estado do Pará, Brasil. A coleta seguiu parâmetros estéticos que indicavam um cacho com maior porcentagem de frutos sem danos visíveis ou sinais de deterioração. O material botânico foi colocado em sacos de polietileno privado da luz e transportado até o Laboratório de Química da Universidade do Estado do Pará (UEPA), campus XVIII – Cametá, onde foi submetido à desinfecção com hipoclorito de sódio e armazenado em refrigerador para uso posterior. Como substrato da ação enzimática foi utilizado azeite de oliva extra virgem (Gallo), o qual foi adquirido no mercado local.

2.2. Trituração do endosperma da semente

Para cada análise foram utilizados 12 frutos de *B. gasipaes*. Os frutos foram abertos e apenas as sementes foram aproveitadas. Em seguida, seu endosperma foi cortado, manualmente, em pequenos pedaços. Para obtenção de fragmentos menores, a semente foi submetida à Trituração por liquidificador e, posteriormente, macerada no almofariz com o pistilo.

2.3. Preparação do extrato bruto

Para o preparo do extrato bruto, realizou a extração em meio aquoso com solução tampão, seguindo o determinado na metodologia de Liaquat e Owusu Apentem (2000) com adaptações. As sementes trituradas foram colocadas em um bêquer e adicionado à solução tampão a ser utilizada na análise, numa proporção de volume de tampão/massa das frações de 4,5 (m/v). No geral, obteve uma proporção de 5 g de endosperma de *B. gasipaes* para 22,5 mL de solução tampão. A extração teve duração de 1h nas condições de temperatura a serem analisadas. Em seguida, realizou-se a filtração simples para retirada dos resíduos.

2.4. Determinação de atividade enzimática

Para a análise da atividade lipolítica foi utilizado a metodologia proposta por Soares et al. (1999), com adaptações. Em Erlenmeyers de 50 mL foram adicionados: 3,92 mL da solução tampão (0,1 M) a ser utilizada; 0,170 mg de goma arábica; 2,45 mL de água destilada e 2,45 mL de substrato (óleo de oliva). A este sistema foi acrescentado 1,0 mL do extrato bruto. Em seguida, as misturas reacionais foram agitadas na incubadora shake com a devida temperatura a ser investigada na análise (°C), sob agitação de 130 oscilações por minuto, nos intervalos de 1, 3, 5, 10 e 15 minutos. Os ácidos graxos liberados foram titulados contra solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,05 N, utilizando-se 2 gotas de fenolftaleína como indicador. Além do teste em branco, o qual consistiu em titular com NaOH a emulsão (tampão, substrato, goma arábica e água) no tempo 0 (zero) minutos a fim de desconsiderar a acidez do próprio fruto e do substrato em questão. As análises foram feitas em triplicata.

2.5. Cálculo da atividade lipásica

Uma unidade de atividade de lipase é definida como a quantidade de enzima que libera 1,0 μ mol de ácido graxo por minuto, nas condições descritas. O cálculo da atividade de enzimas foi realizado utilizando a fórmula descrita por Setuval (2016):

$$\text{Atividade relativa: } \frac{(V_a - V_b) \times 1000 \times N (\text{NaOH})}{t \times V_e}$$

Em que V_a corresponde ao volume de NaOH gasto na amostra, V_b o volume gasto no branco, NaOH é a Normalidade da base, t o tempo de reação e V_e o volume de extrato. A atividade enzimática é mensurada em U/mL, esta é definida como a quantidade de enzima bruta que liberou 1 μ mol de ácido graxo por minuto.

2.6. Caracterização físico-química da enzima

Para a determinação de pH ótimo, foram utilizadas soluções tampão nos seguintes valores: tampão acetato de sódio/ácido acético 0.1 M de pH 4.0, 4.5, 5.0 e 5.6; tampão fosfato de potássio 0.1 M de pH 6.0, 6.6, 7.0 e 7.4;

tampão borato 0.1 M de pH 8.0, 8.6 e 8.8. Assim, que encontrado o pH com a qual a enzima possui mais afinidade, foi determinado a temperatura ótima da enzima, utilizando as temperaturas de incubação de 37, 40, 45, 50, 55 e 60°C (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis determinantes na análise das condições otimizadas da atividade catalítica da lipase.

pH			Temperatura (°C)
Tampão acetato	Tampão fosfato	Tampão borato	
4.0	6.0	8.0	37
4.5	6.6	8.6	40
5.0	7.0	8.8	45
5.6	7.4	-	50
-	-	-	55
			60

¹ Autores, 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito do pH na atividade enzimática

Em todos os ensaios com diferentes soluções tampões, foi possível detectar atividade lipolítica. Entretanto, a enzima apresentou maior afinidade com o uso do tampão de pH ácido. As maiores atividades enzimáticas foram observadas em ensaios utilizando tampão acetato, onde o pH 4.5 apresentou 100% de atividade (195 U/mL), pH 4.0 apresentou 66% (130 U/mL) e o pH 5.0 apresentou 53% de atividade (105 U/mL) (Figura 1).

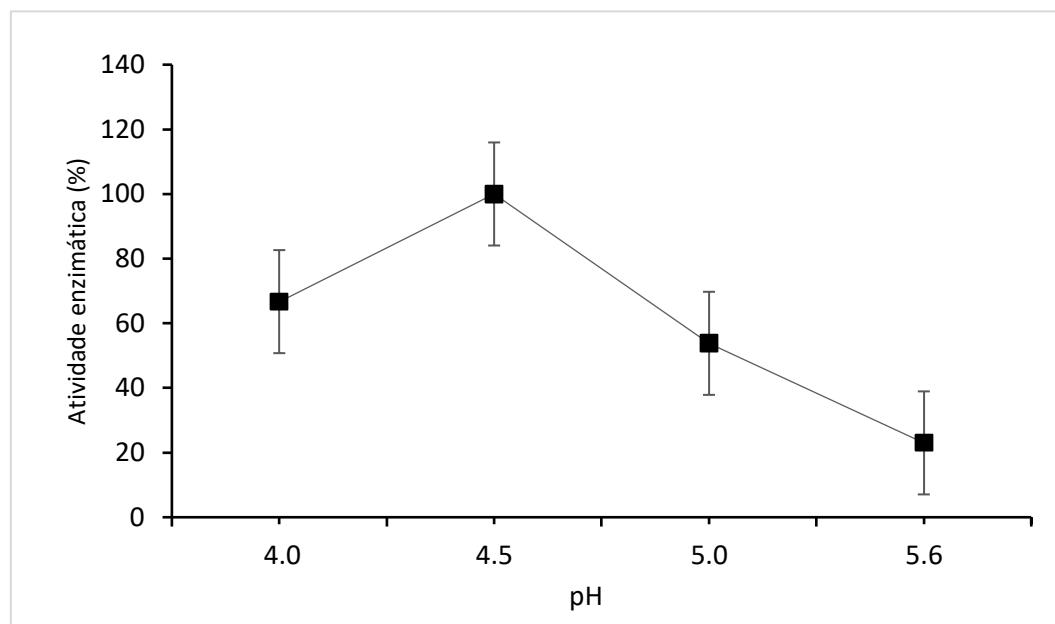


Figura 1. Influência da variação de pH do tampão acetato na atividade catalítica da lipase, presente na semente do fruto de *B. gasipaes*. A atividade otimizada foi definida como 100% de atividade relativa.

De acordo com as análises, o pH ótimo foi definido como o 4.5, onde a enzima alcançou 100% da sua atividade relativa. Esses resultados corroboram com o trabalho de Santos et al. (2013) que, também, conseguiu máxima atividade utilizando pH 4.5 nos seus ensaios com semente dormente de mamona (*Ricinus communis* L.). Tal efeito do pH, também, pode ser observado no estudo de Eastmond (2004) novamente com a semente de mamona (*Ricinus communis* L.).

Embora, a atividade em condições de pH ácido seja incomum nas lipases de origem vegetal, essa característica se revela como propícia para aplicação como catalisadores na produção de biocombustíveis, como o biodiesel, especialmente, no que se refere ao uso de óleos não refinados e residuais com alta acidez (Silva; Kopp; Giordano, 2014). Essa característica apresentada pelas lipases presentes na semente de pupunha oferece uma oportunidade promissora para inovar e otimizar processos na indústria energética. Em contrapartida, as análises utilizando tampão fosfato de potássio apresentaram as menores atividades enzimáticas. O pH 6.0 apresentou 12% de atividade (25

U/mL) e o pH 7.4 apresentou 18% de atividade (35 U/mL), demonstrando uma baixa afinidade dessas lipases com o tampão e as faixas de pH estudadas (Figura 2). A redução da atividade catalítica utilizando o tampão fosfato, também, foi evidenciado nos ensaios de Silva, Kopp e Giordano (2014) com a lipase de mamona em fase aquosa, onde a atividade foi diluída em valores mais neutros de pH.

Além disso, observou-se um pico de atividade no pH 7.0 (87,5 U/mL), alcançando mais de 40% de atividade relativa. Esse comportamento indica que, apesar da lipase de *B. gasipaes* apresentar maior afinidade por condições ácidas, a enzima mantém uma considerável estabilidade e funcionalidade em ambiente neutro. A manutenção de atividade relativa em pH 7,0 pode estar associada à presença de isoformas enzimáticas ou a diferenças conformacionais que favorecem a estabilidade da estrutura proteica nesse ponto. Como o experimento foi conduzido com o extrato bruto das sementes, é provável que mais de uma lipase esteja presente, juntamente com outras substâncias, como compostos fenólicos e taninos, capazes de interferir na reação. Essa complexidade pode explicar a queda acentuada da atividade entre pH 7,0 e 7,4, uma vez que determinadas isoformas enzimáticas podem apresentar maior sensibilidade às variações de pH do que outras (POLIZELLI; FACCHINI; BONILLA-RODRIGUEZ, 2013).

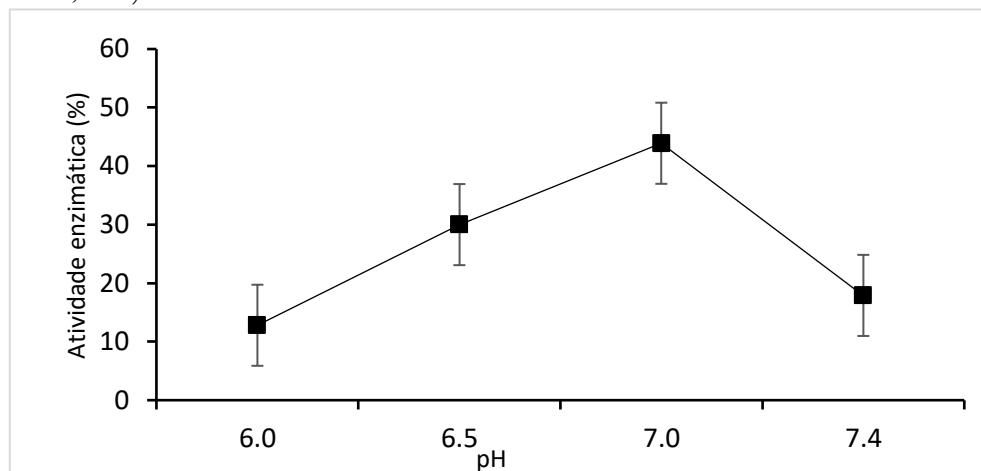


Figura 2. Influência da variação de pH do tampão fosfato na atividade lipolítica da lipase presente na semente de *B. gasipaes*.

Durante os ensaios utilizando o tampão borato, a enzima apresentou atividade lipolítica considerável no pH 8.0 com 46% de atividade (90 U/mL) (Figura 3). Alguns estudos utilizando sementes de oleaginosas como fonte de lipases, também, encontraram uma atividade significativa em valores de pH mais alcalinos, como os delimitado por Isbilir, Ozcan e Yagar. (2008) nos ensaios com semente de louro (*Laurus nobilis* L.) e Polizelli (2008) na caracterização físico-química da lipase de amendoim francês (*Pachira Aquatica* Aubl.).

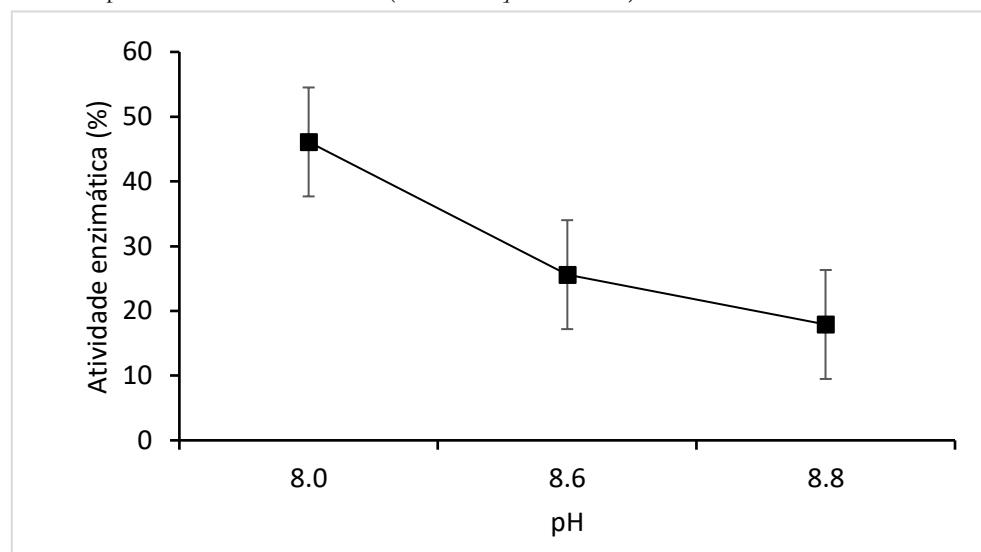


Figura 3. Influência da variação de pH do tampão borato na atividade lipolítica da lipase presente na semente de *B. gasipaes*.

Apesar das maiores atividades detectadas terem sido sob condições mais ácidas de pH, o extrato ainda se demonstrou fortemente ativo quando exposto a tampões alcalinos. Isso possivelmente também indica a presença de isoenzimas no extrato da semente de *B. gasipaes*. Essas isoenzimas podem ser caracterizadas como diferentes formas moleculares da mesma enzima que são encontradas no mesmo organismo (NARVÁEZ & DOMÍNGUEZ, 2005). Desta forma, apresentam diferentes efeitos de inibição e ativação, fazendo com que uma enzima se comporte de forma adversa a outra em relação as mesmas condições de pH. Os resultados encontrados se mostraram promissores na avaliação da atividade relativa das lipases em subprodutos da pupunha, evidenciando o pH ótimo da enzima. Até o presente momento não há trabalhos que explorem o potencial dessa espécie vegetal como fonte enzimática. Contudo, comparando com outras lipases vegetais, como as de semente de mamona analisadas por Alves et. al (2018) com máxima atividade verificada em 3,91 U/mL e Silva, Kopp e Giordano (2014) com máxima atividade alcançada em 2,81 U/mL, a semente de *B. gasipaes* apresentou maior atividade.

3.2. Efeito da temperatura na atividade enzimática

Após a definição do pH ótimo da lipase da semente de *B. gasipaes*, iniciou-se os ensaios com alterações de temperatura. Logo, os resultados obtidos revelaram que as melhores temperaturas para a ação enzimática são 40°C, chegando à 100% de atividade relativa (105 U/mL) e 37°C, onde foi possível alcançar 62% de atividade (65 U/mL) (Figura 4).

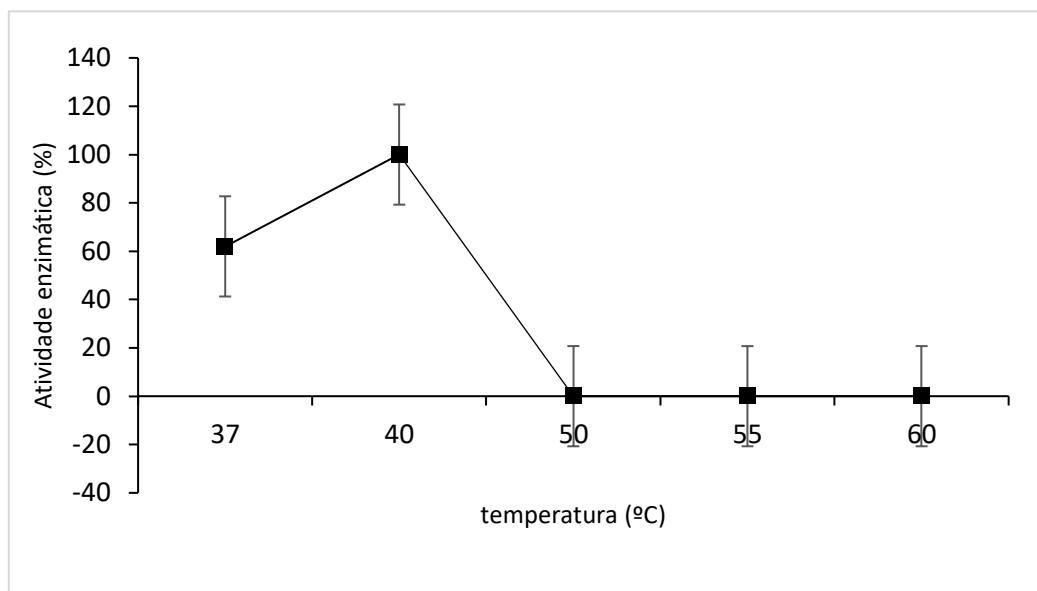


Figura 4. Influência da variação de temperatura na atividade lipolítica da lipase presente na semente de *B. gasipaes*.

As enzimas apresentaram mais afinidade com temperaturas mais próximas às condições encontradas no seu ambiente natural. Levando em consideração que a espécie *B. gasipaes* é nativa de regiões tropicais, que se caracterizam por altas temperaturas, no qual a planta possui boa produtividade em solos com a temperatura média acima de 24°C (Coradin; Camillo; Vieira., 2022), é coerente que a atividade metabólica das suas sementes atinja seu pico nas condições analisadas. Além disso, não foi possível detectar atividade nas condições de temperatura acima de 50°C, o que indica a ocorrência de uma provável desnaturação das lipases presentes no extrato durante esses ensaios.

3.3. Efeito do tempo na atividade enzimática

Após a verificação das condições de pH ótimo e temperatura ótima, analisou-se a atividade no decorrer do tempo, na qual a maior atividade foi detectada em 1 minuto de incubação (Figura 5). Nos minutos seguintes foi observado uma diluição de sua atividade, onde se constatou a menor atividade no minuto 20.

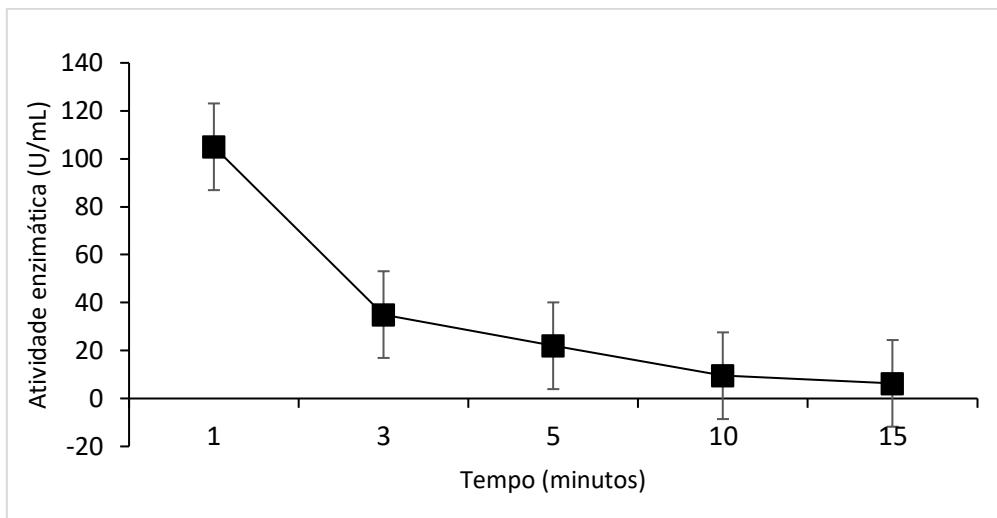


Figura 5. Influência da variação de tempo na atividade lipolítica da lipase presente na semente de *B. gasipaes*.

Os valores verificados no primeiro minuto da análise se mostraram promissores, no entanto, devido à falta de trabalhos com lipases que utilizem essa marcação de tempo para averiguar a atividade lipolítica, não foi possível comparar a ação enzimática. Já nos minutos 5, 10 e 15, Almeida et al. (2021) alcançou valores inferiores na avaliação da atividade enzimática do Murumuru (*Astrocaryum murumuru* M.), sob as condições de temperatura 25°C e pH 7,0, que apresentaram 3,9 U/mL em 5 minutos, 2,3 U/mL em 10 minutos e 1,53 U/mL em 15 minutos de análise.

3.4. Potencial enzimático das lipases de semente de *Bactris gasipaes* Kunth

Apesar da pupunheira amazônica *B. gasipaes* já ser empregada fortemente na indústria da produção de palmito e na comercialização de seus frutos, o presente trabalho demonstrou que outra utilização da sua biomassa pode ter utilidade industrial. Os extratos retirados das sementes presentes no seu fruto apresentaram maior atividade lipolítica quando submetidas às condições de pH 4,5 (tampão acetato de sódio/ácido acético) e de temperatura 40°C.

A temperatura e o pH ótimo detectado nessas lipases são análogas às condições de ambiente em que a pupunheira apresenta maior adaptabilidade, ou seja, em solos ácidos e com temperaturas elevadas (CORADIN; CAMILLO; VIEIRA, 2022). Essas características demonstram que essas lipases podem ter uso como catalisadores em processos para produção de biodiesel, principalmente, quando utilizado óleos residuais e não refinados que apresentam elevada acidez. O uso dessas enzimas na produção do biocombustível tornaria o processo mais barato e eficiente, visto que a via enzimática pode apresentar a obtenção de produtos mais puros e uma maior facilidade de separação desse catalisador (VESCOVI, 2012).

Os resultados obtidos evidenciaram atividades relativas maiores que as encontradas em trabalhos com enzimas de fonte microbiana como as relatadas por Daoud et al. (2013) de 5 U/mL, Papagora, Roukas e Kotzekidou (2013) de 7,44 U/mL e de Maldonado et al. (2012) de 16 U/mL.

Por ser uma palmeira com características para um fácil cultivo e grande produtividade de frutos, representa uma possível fonte enzimática vegetal com qualidades para aplicação industrial em detrimento a fontes de origem animal e microbiana, que possuem alto custo de produção e manutenção (Coradin; Camillo; Vieira, 2022). É importante ressaltar que é possível que a utilização do mesmo método em outras amostras da espécie *B. gasipaes* resultem em valores diferentes dos constados nessa pesquisa, caso haja mudança nas condições de temperatura, pH, adição de sais (cofatores), substratos, tempo de extração, germinação, tempo de armazenamento e local de origem da planta.

4. CONCLUSÕES

A lipase extraída das sementes de *Bactris gasipaes* Kunth apresentou um perfil catalítico específico e promissor para aplicações biotecnológicas. A enzima demonstrou pH ótimo de 4,5 (195 U/mL), evidenciando maior afinidade por condições ácidas, o que é vantajoso em processos que envolvem óleos residuais com alta acidez, como na produção de biodiesel. Embora a atividade em pH neutro e alcalino tenha sido menor, a estabilidade parcial observada nessas faixas sugere a possível presença de isoenzimas, conferindo à lipase uma versatilidade catalítica relevante para diferentes ambientes reacionais.

A temperatura ótima foi de 40 °C, condição em que ocorreu a máxima atividade (105 U/mL), enquanto temperaturas acima de 50 °C provocaram inativação enzimática, indicando sensibilidade térmica típica de lipases vegetais. O tempo de reação também influenciou a atividade, sendo mais intensa no primeiro minuto de incubação, o que demonstra elevada velocidade catalítica inicial do extrato enzimático.

Esses resultados reforçam o potencial da lipase de *B. gasipaes* como um catalisador alternativo, de baixo custo e origem vegetal, com possibilidade de aplicação em processos industriais sustentáveis. Perspectivas futuras incluem a purificação e imobilização da enzima, visando otimizar sua estabilidade e reutilização em sistemas de produção de biocombustíveis, alimentos e biotransformações de interesse químico. Assim, este estudo contribui para o aproveitamento biotecnológico de uma biomassa amazônica subutilizada, agregando valor e sustentabilidade à cadeia produtiva da pupunha.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Estado do Pará - UEPA e à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas - FAPESPA pela concessão da bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), incentivando o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, N. C.; ROSA, C. M. C.; FIGUEIREDO, R. O.; VALENTE, W. W. R.; SILVA, N. R.; CARNEIRO, J. S. Investigação de fontes vegetais de lipase: uso de extrato bruto de semente de *Astrocarym murumuru*. In: SIMPÓSIO DE GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO DO DAQBI, 4., 2021, Curitiba. *Anais*. Curitiba: UTFPR, 2021. p.205-206.
- ALVES, E.S.; CORRADINI, A.S.; GIORDANO, R.C.; GIORDANO, R.L.C. Otimização da extração da lipase de sementes dormentes de mamona por extração sequencial. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2018, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Blucher, 2018. p. 3270-3273.
- ANTUNES, R. S.; LOPES, F. M.; BRITO, A. O.; GARCIA, L. F.; SOUSA, D. F.; GIL, E. S. Enzimas vegetais: Extração e aplicações biotecnológicas. *Infarma-Ciências Farmacêuticas*, v. 29, n. 3, p. 181-198, 2017.
- CHANDRA, P.; ENESPA; SINGH, R.; ARORA, P. K. Microbial Lipases and Their Industrial applications: a Comprehensive Review. *Microbial Cell Factories*, v. 19, n. 1, p. 42, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12934-020-01428-8#citeas>. Acesso: 02 out. 2025.
- CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (Ed.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte*. Brasília, DF: MMA, 2022. (Série Biodiversidade; 53). 1452p. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/manejo-euso-sustentavel/flora>>. Acesso em: dia mês abreviado ano (sem vírgula)
- DAOUD, L.; KAMOUN, J.; ALI, M. B.; JALLOULI, R.; MECHICHI, R. B. T.; GARGOURI, Y.; ALI, Y. B.; ALOULOU, A. Purification and biochemical characterization of a halotolerant *Staphylococcus* sp. extracellular lipase. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.57, p. 232– 237, 2013.
- EASTMOND, P.J. Clonagem e caracterização da lipase ácida de mamona. *Journal of Biological Chemistry*, v. 279, n. 44, p. 45540-45545, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.m408686200>. Acesso: 30 out. 2024.
- ISBILIR, S. S.; OZCAN, H. M.; YAGAR, H. Some Biochemical Properties of Lipase from Bay Laurel (*Laurus nobilis* L.) Seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 85, n. 3, p. 227–233, 2008.
- LIAQUAT, M.; OWUSU APENTEN, R. K.; Synthesis of low molecular weight flavor esters using plant seedling lipases in organic media. *Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology*; v. 65, n. 2, p. 295-299, 2000.
- MALDONADO, R. R.; PANCIERA, A. L.; MACEDO, G. A.; MAZUTTI, A.; MAUGERI, F.; RODDRIGUES, M. I. Improvement of lipase production from *Geotrichum* sp. in shaken flasks. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, v.18, p. 459-464, 2012.
- MATEOS, P. S.; NAVAS, M. B.; MORCELLE, S. R.; RUSCITTI, C.; MATKOVIC, S. R.; BRIAND, L. E. Insights in the biocatalyzed hydrolysis, esterification and transesterification of waste cooking oil with a vegetable lipase. *Catalysis Today*, v. 372, p. 211–219, 2021.
- MONTEIRO, V. N.; NASCIMENTO, R. S. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. *Revista processos químicos*, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.
- MUSSATTO, S. I.; FERNANDES, M.; MILAGRES, A. Enzimas-Poderosa ferramenta na indústria. *Ciência Hoje*, v. 41, p. 28-33, 2007.
- NARVÁEZ, A.; DOMÍNGUEZ, E. ENZYMES | Overview. *Encyclopedia of Analytical Science*: Second Edition, p. 508–523, 2004.

- NAZÁRIO, P.; FERREIRA, S. A. N.; BORGES, E. E. L.; GENOVESE-MARCOMINI, P. R.; MENDONÇA, M. S. Aspectos anatômicos e histoquímicos da semente de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 171-178, 2013.
- PAPAGORA, C.; ROUKAS, T.; KOTZEKIDOU, P. Optimization of extracellular lipase production by *Debaryomyces hansenii* isolates from dry-salted olives using response surface methodology. **Food and Bioproducts Processing**, v.91, n.4, p. 413-420, 2013.
- PASTORE, G. M.; COSTA, V. S. R.; KOBLITZ, M. G. B. Purificação parcial e caracterização bioquímica de lipase extracelular produzida por nova linhagem de *Rhizopus* sp. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 135-140, 2003.
- POLIZELLI, P. P. Caracterização bioquímica de lipase extraída de sementes oleaginosas de *Pachira aquatica*. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, p. 126. 2008.
- POLIZELLI, P. P.; FACCHINI, F. D. A.; BONILLA-RODRIGUEZ, G. O. Stability of a Lipase Extracted from Seeds of *Pachira aquatica* in Commercial Detergents and Application Tests in Poultry Wastewater Pretreatment and Fat Particle Hydrolysis. **Enzyme Research**, v. 2013, p. 1-6, 2013.
- SANTOS, K. C. et al. Characterization of the catalytic properties of lipases from plant seeds for the production of concentrated fatty acids from different vegetable oils. **Industrial crops and products**, v. 49, p. 462-470, 2013.
- SETUVAL, L. G. **Produção de Lipase Utilizando Subprodutos do Coco Babaçu**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão. Imperatriz. 2016.
- SHARMA, R.; CHIST, Y.; BANERJEE, U. C. Production, purification, characterization, and applications of lipases. **Biotechnology Advances**, v.19, p.627-662, 2001.
- SILVA, E. H. S. N.; ORLANDA, J. F. F. Estudo da atividade da enzima polifenoloxidase extraída do fruto maduro de *Mauritia flexuosa*. In: LVIII Congresso Brasileiro de Química., 2018, São Luís. **Anais**. Maranhão: São Luís, 2018.
- SILVA, F. A.; KOPP, W.; GIORDANO, R. L. C. Extração de lipase de mamona (*Ricinus communis* L.) em fase aquosa. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2015, São Paulo. **Anais**. São paulo: Blucher, 2014. p. 1754-1761.
- SIQUEIRA, L. O. **Bioquímica aplicada**. 1. ed. Rio Grande do Sul: Passo Fundo, 2020. 193p.
- SOARES, C. M. F.; CASTRO, H. F.; MORAES, F. F.; ZANIN, G. M. Characterization and utilization of *Candida rugosa* lipase immobilized on controlled pore silica. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 79, p. 745-757, 1999.
- SOUZA, P. G. S.; PANTOJA, L.; SANTOS, A. S.; MARINHO, H. A.; SILVA, J. B. A. S. Avaliação físico-química da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) para uso alimentício. **Brazilian Journal of Science**, v. 1(2), p. 65-74, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358620349_Avaliacao_fisico-quimica_da_farinha_de_pupunha_Bactris_gasipaes_Kunth_para_uso_alimenticio. Acesso: 04 out. 2025.
- VESCOVI, V. **Extração, purificação e imobilização de lipases vegetais destinadas à síntese de biodiesel e ésteres**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2012. 93p. Tese (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Universidade Federal de São Carlos, 2012.