

CAPÍTULO 05

DOI:10.29327/5586690.1-5

MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS PARA A UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: REVISÃO DE LITERATURA

BIOTECHNOLOGICAL METHODS FOR THE USE OF ENZYMES IN THE DAIRY INDUSTRY: LITERATURE REVIEW

Adamirely Bezerra de Melo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Evelyn Luana de Andrade Correia
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Thamires dos Anjos Lopes
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Edvane Borges da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

As enzimas são exploradas por sua alta especificidade e eficiência sob condições moderadas, tornando-as ideais para substituir catalisadores químicos em conformidade com os princípios da química verde. Baseando-se em uma revisão da literatura de publicações entre 2017 e 2024, selecionadas na plataforma Google acadêmico por meio de critérios de inclusão específicos, o objetivo foi analisar a aplicação de enzimas em processos biotecnológicos na indústria de laticínios, abordando suas funções catalíticas e benefícios no contexto de sustentabilidade industrial, onde retratam-se que as proteases, como as cisteíno proteases imobilizadas extraídas do látex de *Calotropis procera*, demonstram-se como alternativas promissoras à quimosina na coagulação do leite, proporcionando maior estabilidade catalítica e sustentabilidade ao processo produtivo de queijos. Por outro lado, lipases e pectinases provenientes da actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* destacam-se pela capacidade de hidrolisar gorduras e clarificar soro de leite, contribuindo para a melhoria da qualidade sensorial e nutricional dos produtos lácteos. Adicionalmente, a síntese de lactulose em leite utilizando β -galactosidase e glicose isomerase imobilizadas evidenciou-se eficaz na produção de iogurtes prebióticos, com propriedades bioativas e melhor estabilidade das enzimas. Esses avanços reforçam a importância das enzimas na otimização dos processos industriais, promovendo eficiência, qualidade e sustentabilidade na produção de laticínios. A exploração contínua das potencialidades enzimáticas e de metodologias biotecnológicas é fundamental para o desenvolvimento de produtos lácteos inovadores e ecologicamente sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Biotecnologia; Catalisadores biológicos; Processos industriais.

INTRODUÇÃO

As enzimas são catalisadores biológicos, geralmente de origem proteica, com exceção de um pequeno grupo de moléculas de RNA catalíticas. Esses catalisadores desempenham um papel essencial em diversos processos biológicos, como o metabolismo, a expressão gênica, a divisão celular e reações críticas do sistema imunológico (Vandenbergue *et al.*, 2020). As enzimas são classificadas de acordo com a reação que catalisam, sendo as hidrolases um grupo especialmente abrangente. Dentro desse grupo, destacam-se as lipases, glicosidases e proteases, que possuem uma relevância considerável na indústria alimentícia (Nascimento, 2024).

O setor de alimentos lidera a demanda global por enzimas utilizadas em processos industriais (Garg, *et al.*, 2016). O uso de enzimas para acelerar a conversão de produtos é atraente devido à sua alta especificidade e à capacidade de atuar eficientemente em condições moderadas de temperatura e pH. Como resultado, essas enzimas são amplamente aplicadas em processos como a produção de açúcar, bebidas, cervejas e

produtos lácteos (Xie; Zhang; Simpson, 2022; Souza, *et al.*, 2017; Morshed *et al.*, 2021; Denti, 2021).

Na indústria de alimentos, as proteases são um grupo de enzimas utilizado que possui grande destaque. Essas enzimas vão atuar catalisando reações de hidrólises de ligações peptídicas. Como exemplos de proteases utilizadas na indústria de laticínios tem-se a quimosina e a pepsina, que são empregadas no processo de coagulação do leite para a produção de queijo (Nascimento, M. C. *et al.*, 2021).

Outra enzima amplamente utilizada na indústria de alimentos é a lipase, é capaz de modificar as propriedades de lipídios, produzir sabor e aroma modificando a estrutura por inter ou transesterificação obtendo produtos de maior valor nutricional. A necessidade constante de lipases nos processos industriais a torna o terceiro maior grupo de enzimas com base no valor de mercado. (Mehta *et al.*, 2021).

Devido ao aumento na demanda por processos agrícolas sustentáveis e a preocupação com a segurança alimentar, a busca por estratégias para a elaboração de produtos ecologicamente corretos é crescente. A substituição de catalisadores químicos por biocatalisadores, nos processos produtivos, apresenta-se como uma alternativa atrativa (Denti, 2022).

Na indústria de laticínios, em particular, as enzimas desempenham um papel crucial, tanto na melhoria dos produtos quanto na degradação de derivados do leite. Isso se deve à composição do leite, que oferece condições ideais para reações biológicas, especialmente aquelas catalisadas por enzimas (Justina, *et al.*, 2018). A partir do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre a aplicação de enzimas nos métodos biotecnológicos utilizados em laticínios.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo consistiu em uma revisão de literatura baseada em publicações científicas e dissertações sobre métodos biotecnológicos para a utilização de enzimas na indústria de laticínios, utilizando a plataforma digital Google Acadêmico. Para garantir um tratamento adequado dos dados, foram selecionados como critérios de inclusão os trabalhos publicados no período de 2017 a 2024, com foco principal em publicações em

português e inglês. Para tornar a pesquisa mais assertiva e direcionada, foram utilizadas as palavras-chave: biotecnologia, enzimas industriais, laticínios e processos industriais. Artigos duplicados e aqueles que não atendiam aos critérios de inclusão foram excluídos da análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo conduzido por Nascimento (2022) investigou o uso de cisteíno proteases imobilizadas, extraídas do látex de *Calotropis procera*, para a fabricação de queijos. O objetivo foi explorar a viabilidade dessas enzimas vegetais como uma alternativa à quimosina, amplamente utilizada na indústria de laticínios para coagulação do leite. A pesquisa demonstrou que as proteases imobilizadas mantiveram sua atividade catalítica estável por até seis meses e apresentaram melhor atividade de coagulação do leite em comparação à sua forma solúvel e à própria quimosina. Além disso, as enzimas imobilizadas permitiram o reaproveitamento em múltiplos ciclos de produção de queijo sem perda de eficiência, destacando-se como uma solução promissora e sustentável para a indústria alimentícia.

Por outro lado, o estudo revelou que as cisteíno proteases imobilizadas em suporte de glyoxyl-agarose apresentaram uma especificidade de clivagem da caseína semelhante à quimosina, essencial para a formação adequada do coalho na produção de queijo. As análises de microscopia e espalhamento de luz mostraram que o processo de agregação das micelas de caseína, induzido pelas enzimas imobilizadas, foi comparável ao observado com a quimosina comercial, garantindo a qualidade do produto final. Esses resultados sugerem que as proteases vegetais imobilizadas não só são eficazes, mas também representam uma alternativa viável e de menor impacto ambiental para a fabricação de queijos (Nascimento, 2022).

O estudo de Oliveira *et al.* (2017) demonstrou que a actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* pode ser uma valiosa aliada no processamento de produtos lácteos. As lipases produzidas por essa bactéria são de particular interesse, pois essas enzimas são capazes de hidrolisar gorduras, facilitando a quebra de triglicerídeos em ácidos graxos e glicerol. Esse processo é essencial em várias etapas da produção de laticínios, como na maturação de queijos, onde as lipases contribuem para o

desenvolvimento de sabor e textura. Além disso, as pectinases produzidas pela *Microbacterium xylanilyticum* podem ser utilizadas na clarificação de soro de leite, otimizando o processo de separação de sólidos e líquidos, e melhorando a qualidade dos produtos finais. Portanto, a aplicação das enzimas produzidas por essa actinobactéria pode representar uma solução biotecnológica eficiente e sustentável para a indústria de laticínios, auxiliando tanto na melhoria dos processos produtivos quanto na inovação de novos produtos.

Além disso, o estudo destacou a importância da biodiversidade microbiana da Amazônia como uma fonte rica e ainda pouco explorada de microrganismos com potencial biotecnológico. A actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* isolada no estudo apresentou características morfológicas e bioquímicas que a tornam especialmente promissora para a produção industrial de enzimas. A pesquisa demonstrou que essa bactéria pode crescer em condições variadas e produzir uma ampla gama de enzimas hidrolíticas e lipolíticas, que têm aplicações em setores como o de alimentos, detergentes e até na farmacêutica, reforçando a relevância de estudos de prospecção em ecossistemas tão diversos quanto o amazônico (Oliveira *et al.*, 2017).

O estudo conduzido por Becker (2020) explorou a utilização de enzimas imobilizadas na síntese controlada de lactulose em leite de diferentes espécies para a elaboração de iogurte prebiótico com teor reduzido de lactose. A pesquisa avaliou a aplicação da β -galactosidase para a hidrólise da lactose, seguida da isomerização da glicose em frutose utilizando a glicose isomerase, resultando na formação de lactulose. O estudo demonstrou que a utilização de enzimas imobilizadas é uma estratégia promissora, permitindo a produção eficiente de lactulose diretamente no leite, o que favorece a produção de iogurtes com propriedades prebióticas, mantendo a qualidade e as características sensoriais do produto final.

Destacou que a imobilização das enzimas não apenas aumentou a eficiência da síntese de lactulose, mas também melhorou a estabilidade das enzimas ao longo do tempo, permitindo o seu reaproveitamento em múltiplos ciclos de produção. Isso torna o processo mais econômico e sustentável, o que é particularmente vantajoso para a indústria de laticínios. Os iogurtes produzidos com a lactulose sintetizada apresentaram boas propriedades bioativas, como atividade antioxidante e antidiabética, além de uma textura firme e estável durante o armazenamento. Esses resultados sugerem que a utilização de

enzimas imobilizadas pode ser uma alternativa viável e inovadora para a fabricação de produtos lácteos funcionais (Becker, 2020).

CONCLUSÃO

A revisão da literatura evidenciou o impacto significativo e as oportunidades oferecidas pelo uso de biotecnologias baseadas em enzimas na indústria de laticínios. Estudos recentes demonstraram a eficácia de cisteíno proteases imobilizadas extraídas de *Calotropis procera* como alternativa sustentável à quimosina na coagulação do leite, e o potencial de enzimas de *Microbacterium xylanilyticum* na melhoria de produtos lácteos, destacando o valor da biodiversidade microbiana da Amazônia. Além disso, a imobilização de β -galactosidase e glicose isomerase na síntese de lactulose para iogurtes prebióticos mostrou-se promissora, reforçando o papel das enzimas na inovação, eficiência e sustentabilidade da indústria.

REFERÊNCIAS

- BECKER, A. F. Utilização de enzimas imobilizadas na síntese controlada da lactulose (4-O- β -D-galactopiranosil-D-frutose) em leite para elaboração de iogurte. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho, 2020. Disponível em: <https://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/000083/00008349.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2024.
- DENTI, A. F. Tecnologia enzimática: classificação, imobilização, suportes e aplicações. Revista Perspectiva, v. 45, n. 171, p. 97-110, 2021. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/168> Acesso em: 02 de ago. de 2024.
- DENTI, A. F.; POLINA, C. C.; VANZ, J.; *et al.* Enzimas e suas aplicações com ênfase na indústria de alimentos. Revista Perspectiva, v. 46, n. 175, p. 51–68, 2022. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/251>. Acesso em: 2 set. 2024.

JUSTINA, M. D.; JUSTINA, M. B. D.; SKORONSKI, E. O uso das enzimas na indústria de laticínios: uma breve revisão. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 73, n. 3, p. 172-184, 2018. Disponível em: <<https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/679>> Acesso em: 28 de ago. de 2024.

MEHTA, A.; GULERIA, S.; SHARMA, R.; GUPTA, R. 2021. The lipases and their applications with emphasis on food industry. *Microbial Biotechnology in Food and Health*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819813-1.00006-2>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128198131000062>. Acesso em: 2 ago. 2024.

MORSHED, M. N.; BEHARY, N.; BOUAZIZI, N.; JINPING, G. U. A. N.; NIERSTRASZ, V. A. An overview on biocatalysts immobilization on textiles: preparation, progress and application in wastewater treatment. *Chemosphere*, v. 279, p. 13081, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521009516>> Acesso em: 02 ago. de 2024.

NASCIMENTO, M. C. *et al.* Proteases e suas aplicações biotecnológicas nas indústrias alimentícias. In: Congresso internacional da agroindústria, 2., 2021, On-line. Anais Ciagro 2021. Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0076>. Disponível em: Acesso em: 02 ago. 2024.

NASCIMENTO, Y. A. P. Uso de cisteíno proteases imobilizadas do látex de *Calotropis procera* para fabricação de queijos. 2022. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/73638>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

OLIVEIRA, S. M. de; *et al.* Prospecção de enzimas de interesse industrial produzidas por actinobactéria isolada de solo na Amazônia. *Scientia Plena*, v. 13, n. 3, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ROVEDA, M.; HEMKEMEIER, M.; COLLA, L. M. Avaliação da produção de lipases por diferentes cepas de microrganismos isolados em efluentes de laticínios por fermentação submersa. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 1, p. 126-131, 2010.

Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/fpKPtnMr4KXzGvxwr58cYNk/?lang=pt#>>. Acesso em: 27 de ago. de 2024.

SOUZA, L. T.; VERÍSSIMO, L. A.; PESSELA, B. C.; SANTORO, R. R.; RESENDE, R. R.; MENDES, A. A. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. In: RESENDE, R. R. *Biotecnologia Aplicada à Agroindústria: Fundamentos e Aplicações*, v. 4. Editora Blucher, 2017. Disponível em <<https://digital.csic.es/handle/10261/196198>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.

VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Classification of enzymes and catalytic properties. *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, [s.l.], n. August 2018, p. 11–30, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128198209000028>. Acesso em: 27 ago. 2024.

XIE, J.; ZHANG, Y.; SIMPSON, B. Food Enzymes Immobilization: Novel Carriers, Techniques and Applications. *Food Science*, v. 43, p. 1-9, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799321001284>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.

ZHANG, Y. Y.; RUI, X.; SIMPSON, B. K. Trends in nanozymes development versus traditional enzymes in food science. *Food Science*, v. 37, p. 10-16, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799320300643>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.