

VALORIZAÇÃO BIOTECNOLÓGICA DO SORO DE QUEIJO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE β -GALACTOSIDASE POR *KLUYVEROMYCES MARXIANUS*

Brayam Luiz Batista Perini¹

¹Centro Universitário SENAI - Campos Joinville

1. Introdução

A indústria de laticínios gera grandes volumes de soro de queijo, um subproduto que apresenta um elevado potencial poluidor devido aos altos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO entre 40 a 50 g L⁻¹) e Demanda Química de Oxigênio (DQO entre 60 a 80 g L⁻¹). O descarte inadequado deste resíduo pode comprometer corpos d'água e solos, tornando urgente a busca por formas de tratamento ou valorização. Paralelamente, o Brasil possui alta dependência da importação de enzimas industriais, como a β -galactosidase (lactase), cujas importações somaram vultosos valores para o país nos últimos anos [1, 2].

Neste contexto, a bioeconomia propõe transformar passivos ambientais em produtos de alto valor agregado através de bioprocessos sustentáveis. O soro de queijo, rico em lactose, surge como um substrato promissor para a produção biotecnológica de enzimas por leveduras como a *Kluyveromyces marxianus*. O uso de resíduos agroindustriais pode reduzir em até 75% o custo das matérias-primas em comparação ao uso de meios sintéticos. Este trabalho teve como objetivo otimizar a síntese de β -galactosidase utilizando soro de queijo e milhocina como fontes de nutrientes de baixo custo [3].

2. Experimento

Utilizou-se a levedura *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556, mantida em meio YPL a 4 °C. Como substratos de baixo custo, empregou-se soro de queijo líquido desproteínizado (fonte de carbono) e milhocina (água de maceração de milho, fonte de nitrogênio). A otimização do meio foi realizada através de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), avaliando-se as variáveis: soro de queijo (100 a 1000 mL L⁻¹), milhocina (0 a 18 g L⁻¹) e temperatura (25 a 45 °C) [2].

Os experimentos em frascos agitados foram conduzidos a 220 rpm por 24 horas. Para validar a escalabilidade do bioprocessos, realizaram-se ensaios em biorreator Biostat B (volume útil de 1,5 L), avaliando o efeito da oxigenação através de duas condições: agitação de 200 min⁻¹ e aeração de 1,33 vvm ($K_{La} = 19 \text{ h}^{-1}$); e agitação de 400 min⁻¹ com aeração de 2,67 vvm ($K_{La} = 53 \text{ h}^{-1}$). A atividade enzimática volumétrica (U mL⁻¹) foi determinada pelo método colorimétrico utilizando o substrato ONPG [1, 2].

2. Resultados e Discussão

O delineamento experimental (DCCR) revelou que a concentração de soro de queijo, milhocina e a temperatura influenciaram significativamente a síntese da β -galactosidase pela levedura *K. marxianus*. Em ensaios de frascos agitados, a condição mais favorável foi obtida a 31 °C, utilizando 820 mL L⁻¹ de soro de queijo e 14,36 g L⁻¹ de milhocina, alcançando uma atividade enzimática volumétrica máxima de 9,80 U mL⁻¹. A análise estatística confirmou que todas as variáveis independentes e suas interações de segunda ordem foram significativas para a resposta de atividade volumétrica, com um coeficiente de correlação (R^2) de 0,9678, o que demonstra a alta confiabilidade do modelo para prever o comportamento do bioprocessos.

Sob a perspectiva da bioeconomia, a utilização exclusiva de resíduos agroindustriais (soro de queijo e milhocina) mostrou-se altamente competitiva em relação aos meios sintéticos tradicionais, que podem representar até 75% dos custos de matéria-prima. Ao comparar os resultados com a literatura, observa-se que atividades enzimáticas similares (10,4 U mL⁻¹) foram obtidas por outros autores utilizando três vezes mais lactose e fontes de nitrogênio caras, como o extrato de levedura. Assim, a substituição por milhocina e soro desproteínizado não

apenas reduz o impacto ambiental do descarte desses efluentes, mas também viabiliza economicamente a produção nacional de uma enzima de alto valor agregado.

Nos ensaios em biorreator, a disponibilidade de oxigênio mostrou-se o parâmetro crítico para o escalonamento da produção. Sob limitação de oxigênio ($K_{La} = 19 \text{ h}^{-1}$), a levedura tendeu ao metabolismo anaeróbico, resultando em maior produção de etanol e menor síntese enzimática ($4,53 \pm 0,46 \text{ U mL}^{-1}$). Em contraste, a condição de maior oxigenação ($K_{La} = 53 \text{ h}^{-1}$; 400 rpm e 2,67 vvm) favoreceu a via respiratória, permitindo o consumo total da lactose em apenas 9 horas e atingindo uma atividade máxima de $6,59 \pm 0,20 \text{ U mL}^{-1}$ em 14 horas de cultivo. Este resultado comprova a importância do binômio agitação/aeração para maximizar a produtividade volumétrica em escala ampliada.

A eficiência do processo foi corroborada pelos parâmetros cinéticos, destacando-se o fator de conversão de substrato em enzima ($Y_{P/S}$) de $266,7 \text{ U g}^{-1}$ obtido na melhor condição do biorreator. Este valor é duas vezes superior ao relatado em estudos anteriores utilizando a mesma linhagem de levedura, mesmo com concentrações iniciais de lactose inferiores. Tal desempenho evidencia que a otimização proposta neste trabalho promove uma valorização biotecnológica superior do soro de queijo, integrando conceitos de sustentabilidade e eficiência industrial para a produção de ingredientes funcionais.



Fig. 1. Representação esquemática do bioprocesso de valorização do soro de queijo para a produção sustentável de β -galactosidase por *Kluyveromyces marxianus*. Ilustração gerada com o suporte da ferramenta de inteligência artificial NotebookLM.

4. Referências

- [1] B. L. B. Perini, "Produção de β -galactosidase com *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556 a partir de soro de queijo", Dissertação (Mestrado), UNIVILLE, (2013).
- [2] B. L. B. Perini, et al., *Chemical Engineering Transactions*, 32, 991-996, (2013).
- [3] A. P. Manera, et al., *Acta Scientiarum Technology*, 33, 155-161, (2011).