

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CALDO, XAROPES E DE MÉIS CLARIFICADOS DA PRODUÇÃO DE AÇÚCARES DE CANA, FASE 2.

Juliana Cristina Pfeffer Bini (PIBIC/CNPq/FA/UEM), José Eduardo Olivo (Orientador).
E-mail: jeolivo@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Química/ Processos Industriais de Engenharia Química

Palavras-chave: Clarificação de Caldos, Fermentação Alcoólica, Análise de Dados.

RESUMO

A análise da cinética fermentativa de diferentes méis foi realizada para avaliar o impacto da clarificação e oxigenação na produção de etanol. O estudo comparou dados de quatro pesquisas com mel de abelhas, mel invertido clarificado, mel invertido não clarificado e mel invertido em anaerobiose. A metodologia utilizou os modelos de Gompertz para crescimento celular e Luedeking-Piret para produção de etanol e consumo de substrato. Os resultados indicaram que a clarificação otimiza o processo, com o mel clarificado apresentando o maior rendimento de etanol. A fermentação em aerobiose foi a mais rápida, enquanto a de mel de abelhas foi a mais lenta, devido a fatores de composição e aeração. Concluiu-se que tanto a clarificação quanto a oxigenação do meio são cruciais para aprimorar a cinética de fermentação.

INTRODUÇÃO

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é um processo afetado pelas impurezas do caldo. Durante a clarificação e concentração do mel, geram-se substâncias carbonáceas que escurecem o produto e podem impactar a fermentação. Esses méis escuros, que contêm sacarose, açúcares invertidos e outros compostos, servem como substrato para a fermentação alcoólica. Compreender o efeito das impurezas na cinética do processo é crucial para melhorar a produtividade.

O presente trabalho tem como objetivo comparar o crescimento celular e a produção de etanol em diferentes tipos de substrato: o mel de abelhas (mais claro), o mel de cana-de-açúcar clarificado e o mel de cana-de-açúcar não clarificado (os mais escuros). Buscando avaliar o impacto de impurezas na cinética de fermentação, fornecendo uma base para o desenvolvimento de estratégias que melhorem a produção de etanol.

MATERIAIS E MÉTODOS

Ensaios utilizados

Este estudo se baseou em dados de quatro pesquisas com diferentes substratos. As fermentações incluíram mel de abelhas (RIBEIRO, 2019), mel invertido de cana-de-açúcar clarificado (SILVA, 2019), mel invertido não clarificado (SILVA, 2021) e mel invertido em anaerobiose (BUENO, 2018).

As metodologias de análise variaram entre os estudos. Para o mel de abelhas (RIBEIRO, 2019), foi utilizado mel de florada silvestre por *Saccharomyces cerevisiae*. Na pesquisa de mel clarificado (SILVA, 2019) o mel de cana-de-açúcar, preparado com inversão enzimática e clarificado com polímeros em diferentes pHs (7 e 4,95), foi fermentado com *Saccharomyces cerevisiae*. O trabalho com mel não clarificado (SILVA, 2021) utilizou mel invertido de usina. Por fim, no estudo em anaerobiose (BUENO, 2018), avaliou o crescimento da levedura em glicose pura e melaço, sob condições de anaerobiose e diferentes níveis de aeração.

Modelagem e Simulação

A modelagem e simulação da cinética fermentativa foram realizadas a partir de dados experimentais obtidos de estudos prévios. Para a simulação, utilizou-se o software Microsoft Excel. A modelagem do crescimento da biomassa foi baseada no modelo de Gompertz reparametrizado, que descreve a curva de crescimento sigmoide (Figura 1):

$$\mu_x(t) = \frac{\mu_{x_{max}} \cdot e}{A} \cdot \ln\left(\frac{X(t)}{X_0}\right) \cdot \exp\left(\frac{\mu_{x_{max}} \cdot e}{A} \cdot (\lambda - t) + 1\right)$$

Figura 1: Equação de Gompertz derivada para cálculo do crescimento celular

A produção de etanol e o consumo de substrato foram modelados, respectivamente, pelo modelo de Luedeking-Piret e Pseudo-Luedeking-Piret:

$$\mu_p = \alpha \cdot \mu_x + \beta$$

Figura 2: Modelo de Luedeking-Piret para descrição da produção de etanol

A qualidade dos modelos foi avaliada por métricas de erro como RMSE, MAE, MAPE e pelo coeficiente de determinação R². Os coeficientes dos modelos foram determinados usando o método dos mínimos quadrados (MMQ).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ideia inicial do projeto era realizar mais clarificações e fermentação de mel. Contudo, a análise de dados já existentes foi suficiente para avaliar o impacto da clarificação do substrato na fermentação, no crescimento celular e na produção de etanol. Para a modelagem, o crescimento celular (X) foi analisado com a equação de Gompertz, a produção de etanol (P) e o consumo de substrato (S) foram modelados com a equação de Luedeking-Piret. Os ensaios apresentados partiram de uma concentração inicial de substrato de aproximadamente 150 g/L.

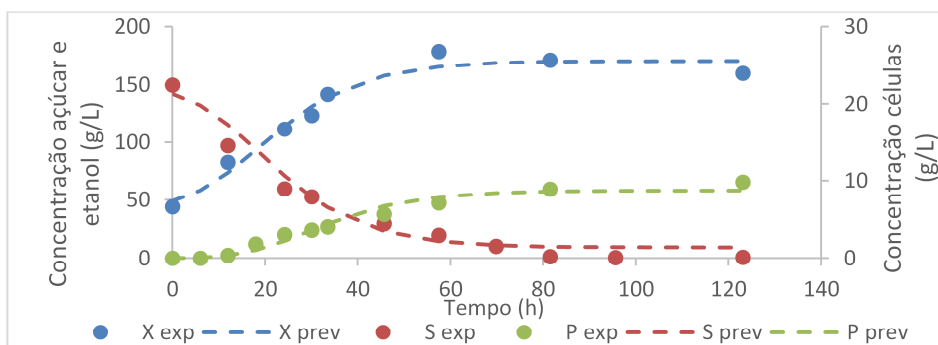


Gráfico 1 – Concentração de açúcar e etanol por tempo do Mel de Abelha

O ensaio com mel de abelha (Gráfico 1) resultou em uma fermentação lenta, com X demorando cerca de 50 horas para estabilizar. A produção de etanol foi lenta, com estabilização em 60 g/L. A modelagem do processo foi complexa devido à alta oxigenação, que causou um tempo de adaptação (lag) diferente entre o crescimento celular e a produção de etanol.

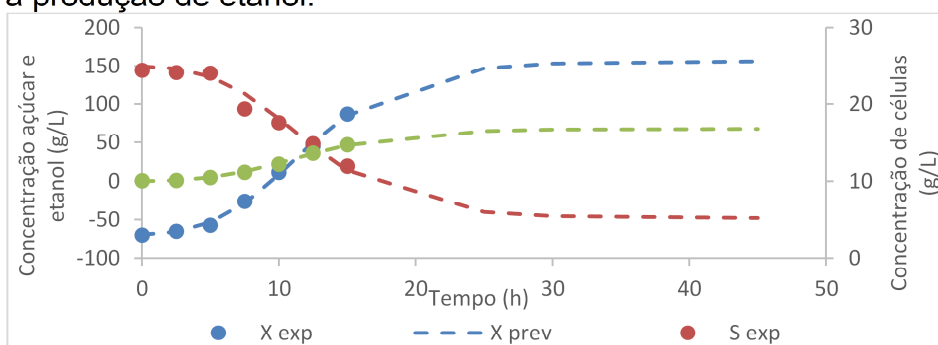


Gráfico 2 – Concentração de açúcar e etanol por tempo do Mel Invertido Clarificado

O ensaio do mel clarificado (Gráfico 2) mostrou uma fermentação eficiente. O crescimento celular foi rápido, com a levedura atingindo sua fase estacionária em cerca de 25 horas. A produção de etanol estabilizou em aproximadamente 67 g/L.

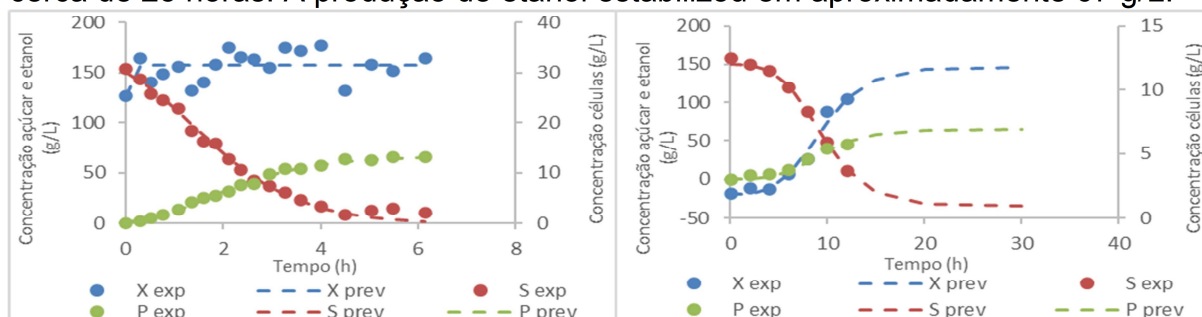


Gráfico 3 – Concentração de açúcar e etanol por tempo do Mel Invertido

No ensaio com mel invertido (Gráfico 3 do lado esquerdo), a concentração de células teve um aumento inicial rápido, mas pequeno. O consumo de S e a produção de P foram acelerados, atingindo um máximo de 67 g/L. Para a modelagem da

produção de etanol, o modelo de Gompertz foi utilizado, pois o crescimento celular não foi significativo para o uso de Luedeking-Piret.

O ensaio com mel invertido em anaerobiose (Gráfico 3 do lado direito) apresentou crescimento celular lento em comparação com o processo em aerobiose. A produção de etanol foi considerável, com um valor máximo previsto de 65 g/L. Esse resultado mostra que a levedura conseguiu converter o substrato em etanol mesmo sem oxigênio.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a clarificação do mel teve um impacto direto na cinética de fermentação, otimizando o processo. O mel invertido clarificado apresentou o melhor desempenho, com maior crescimento celular e produção de etanol. Porém, o mel de abelha, que é naturalmente o mais claro, resultou em uma fermentação mais lenta. Essa menor taxa de crescimento e produção pode ter sido influenciada pela alta oxigenação do meio, o que direcionou o metabolismo da levedura mais para o crescimento celular do que para a produção de etanol.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CNPq pela bolsa de iniciação científica e à UEM pelo suporte, e ao meu orientador, José Eduardo Olivo, e Matheus de Godoy Souza pela orientação.

REFERÊNCIAS

BUENO, J. V. S. **Estudo cinético do crescimento de *Saccharomyces cerevisiae* em mosto de mel invertido**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

RIBEIRO, M. V. de S.. **Avaliação da cinética de fermentação do mel de abelhas para a produção de hidromel utilizando levedura comercial de panificação**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

SILVA, Fernando Henrique da. **'SCALE-UP' POPULACIONAL DE FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA DE MEL INVERTIDO EM SISTEMA DE BATELADA ALIMENTADA**. 2021. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021.

SILVA, V. H. **Cultivo contínuo de *Saccharomyces cerevisiae* em mel invertido clarificado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.