

## Otimização de um processo de fermentação alcoólica extrativa usando técnicas de planejamento de experimentos

**Palavras-chave:** Planejamento de Experimentos, Fermentação alcoólica, Fermentação extrativa

**Lucas Candeias Massoni, FEQ – UNICAMP**

**Prof. Dr. Aline Carvalho da Costa (orientadora), FEQ – UNICAMP**

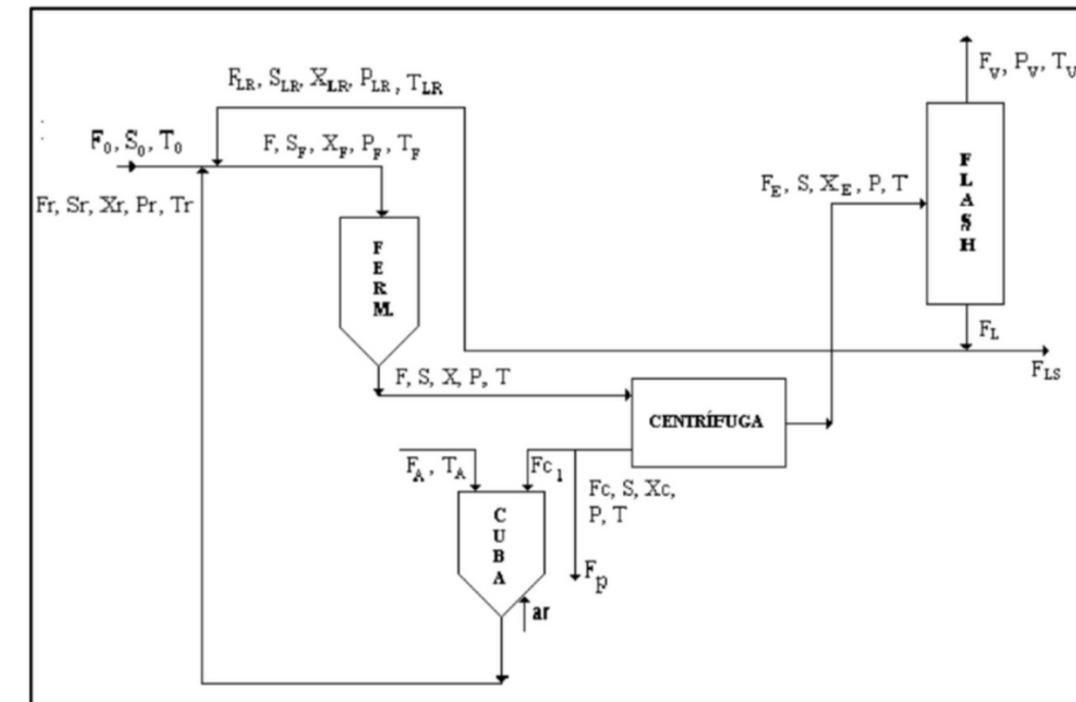
## OBJETIVOS DA PESQUISA

Este projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo capaz de representar o processo de fermentação alcoólica extrativa, acerca disso os três principais pontos de atenção foram:

- Elaborar o modelo do processo citado em linguagem computacional Python escolhida pelo aluno.
- Treinamento em planejamentos fatoriais: estatística, planejamentos fatoriais fracionários, planejamentos fatoriais completos, determinação da direção do caminho de máxima inclinação, planejamentos compostos centrais e otimização por superfícies de resposta.
- Uso do modelo para simulação e proposição de estratégias de otimização do rendimento e produtividade do processo usando as técnicas de planejamentos fatoriais.

## METODOLOGIA DA PESQUISA

O módulo industrial analisado está representado na Figura 1 e consiste em quatro distintas unidades que estão interligadas: o fermentador onde ocorre a produção de etanol, a centrífuga em que há a separação de células, a cuba que realiza o tratamento do fermento e o tanque flash a vácuo responsável por realizar a separação entre etanol e água.



**Figura 1: Fluxograma geral do processo de fermentação alcoólica acoplada a um flash a vácuo.**

O início do processo ocorre no fermentador, onde há a produção de etanol a partir do consumo de substrato. De modo que com a entrada de substrato no equipamento em que já encontram-se as células de leveduras. A corrente de saída é levada para a centrífuga e separa em duas fases: a leve e a pesada. A primeira, quase isenta de células, é encaminhada para a destilaria com intuito de realizar a separação da mistura etanol-água. Ao atingir o regime permanente do processo convencional aciona-se o equipamento de separação a vácuo. Já a segunda, possuindo a maior parte de células, é direcionada para a cuba, unidade de tratamento do fermento.

Nesta unidade, há a diluição do creme de leveduras em uma proporção igual de água e creme, após isso, ácido sulfúrico é adicionado sob intensa agitação até que o pH alcance entre 2 e 2,5. Desse modo, o fermento tratado é enviado para o fermentador para um novo ciclo. O repouso do fermento na cuba leva em média de uma a duas horas.

O desenvolvimento do modelo computacional foi realizado em linguagem Python, através do método de Runge-Kutta de 4ª ordem para resolver as equações presentes no processo. As equações que descrevem o processo em regime de batelada são apresentadas a seguir:

Taxa de crescimento:

$$r_x = \mu_{max} \frac{S}{K_S + S} \exp(-K_i S) \left(1 - \frac{X_t}{X_{max}}\right)^m \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n X_v$$

Taxa de consumo de substrato

$$r_s = \frac{r_x}{Y_x} + m_x X_v$$

Taxa de produção de etanol:

$$r_p = Y_{px} r_x + m_p X_v$$

Taxa de morte celular:

$$r_d = 0$$

Com tais taxas foi possível desenvolver o método e analisar o perfil de curva de cada parâmetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tal análise foi aplicada nas temperaturas de 28°C e 34°C para que, assim, seja possível comparar os diferentes perfis formados para valores de concentração, em g/l, de células viáveis( $X_v$ ), substrato( $S$ ) e produto( $P$ ) ao longo do tempo, mas precisamente em um período de 28 horas decorridas.

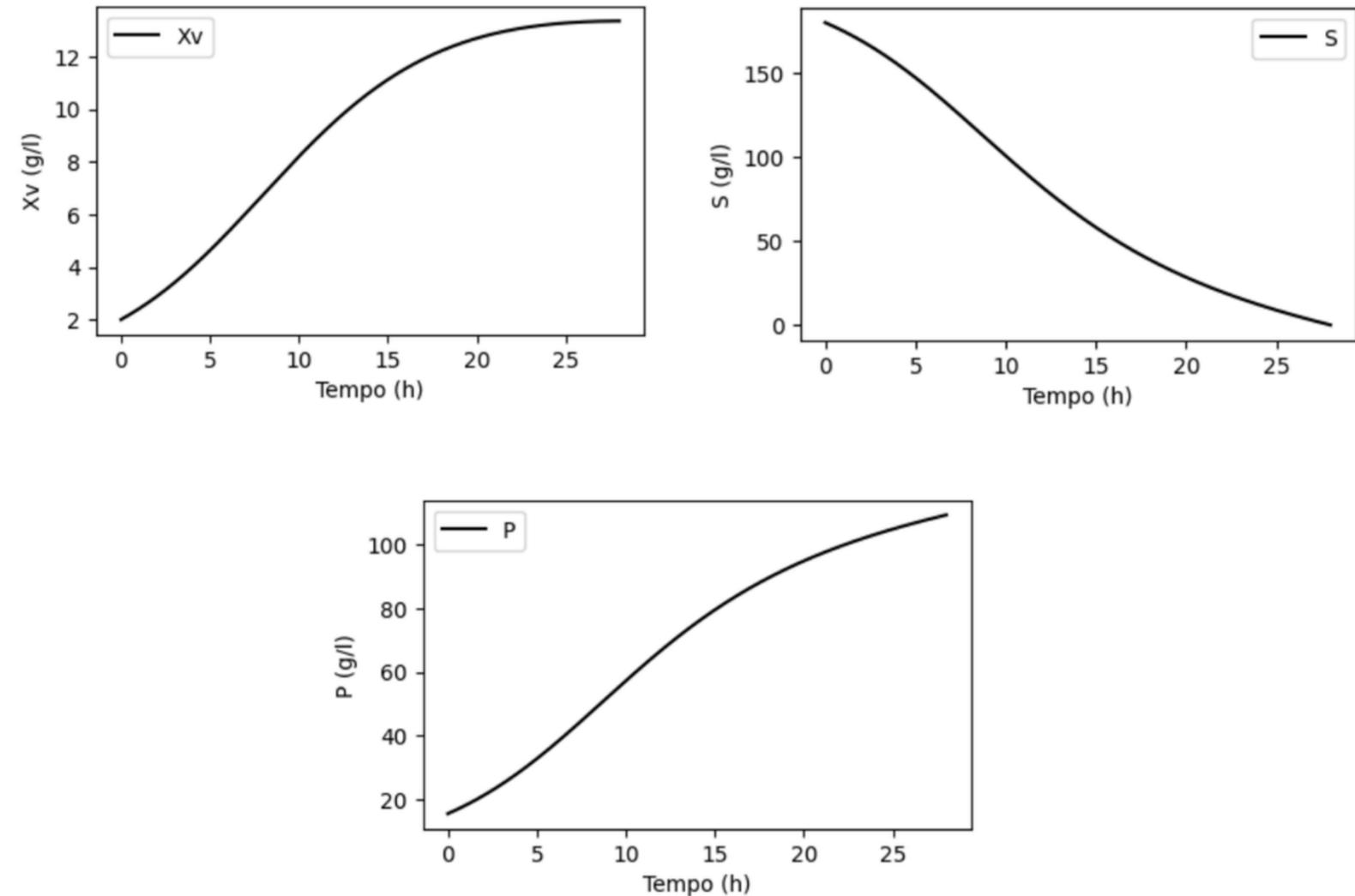
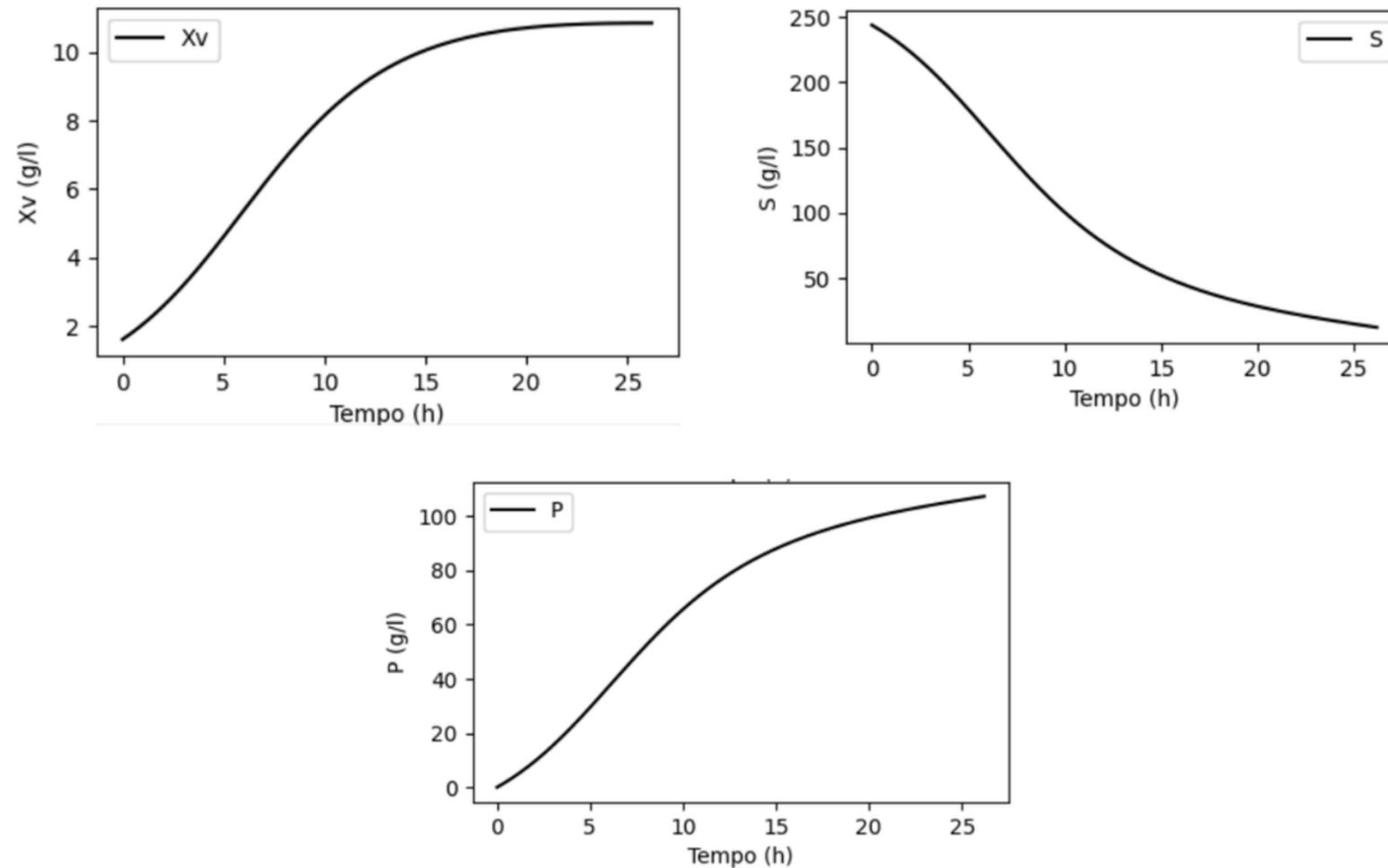


Figura 2: Perfis de concentração obtidos para batelada a 28°C



**Figura 3: Perfis de concentração obtidos para batelada a 34°C**

## CONCLUSÕES

Ao observar os perfis gerados, constata-se que ao elevar a temperatura de 28°C a 34°C houve um aumento da concentração de células viáveis no estado estacionário. Entretanto, não foi possível visualizar grande diferença na produção de etanol do processo de fermentação alcoólica extrativa em batelada.

Ademais, destaca-se que o método de Runge-Kutta de 4ª ordem foi apresentado, pois obteve melhor desempenho quando comparado com outros métodos numéricos como o de Euler e Runge-Kutta de 3ª ordem, por exemplo.

## BIBLIOGRAFIA

Aline C Costa, Daniel I.P Atala, Francisco Maugeri, Rubens Maciel, **Factorial design and simulation for the optimization and determination of control structures for an extractive alcoholic fermentation**, Process Biochemistry, Volume 37, Issue 2, 2001, Pages 125-137.