

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO ACÉTICA CONTINUA SOBRE O RENDIMENTO

Siumara Rodrigues Alcântara¹ e Ramdayal Swarnakar²

¹Bolsista PIBIC/CNPq, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG/ DEQ, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande - PB, e-mail: siumara_alcantara@yahoo.com.br

²Professor Orientador, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEQ/CCT, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB, e-mail: swarna@deq.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Fermentação Acética, Reator Contínuo, Metodologia de Superfície de Resposta, Análise de Variância

Área do Conhecimento: III Engenharias

Resumo- A fermentação acética é a oxidação do álcool etílico resultando como produto o vinagre (ácido acético + água). Objetivou-se alcançar a acidez mínima comercial do vinagre (4g/100ml), segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, produzido a partir da fermentação acética em um processo contínuo, além de aumentar os valores de rendimento do processo. Para tanto, realizou-se um Planejamento Experimental Fatorial 2^3 observando a influência da concentração acética inicial, da concentração alcoólica inicial e da taxa de diluição sobre o rendimento, e assim, aplicar a Metodologia de Superfície de Resposta. O etanol e o bagaço de cana-de-açúcar foram usados como substrato e inóculo, respectivamente. O rendimento máximo alcançado foi de 10% nos níveis inferiores para a taxa de diluição ($0,18h^{-1}$) e a concentração alcoólica (2%). O coeficiente de correlação para a superfície foi igual a 0,96 e o Teste F, com 90% de confiança, indicou um modelo significativo.

Introdução

O termo “fermentação”, no sentido mais amplo possível, pode ser definido como todo processo no qual microorganismos catalisam a conversão de uma dada substância em determinado produto [1].

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [2], os fermentados acéticos são definidos como os produtos obtidos da fermentação acética do fermentado alcoólico de mosto de frutas, cereais ou de vegetais, de mel, ou da mistura de vegetais, ou ainda da mistura hidroalcoólica, devendo apresentar acidez volátil mínima de 4,0 (quatro) gramas por 100 mililitros, expressa em ácido acético.

Jun-ichi Houchi et al. [3] confeccionou um bioreator usando pedaços de carvão vegetal produzido de sobras de cogumelo por carbonização térmica para produção contínua de ácido acético. Foi observado que, no estado estacionário, para os valores de taxa de diluição baixa quase todo o etanol foi transformado em ácido acético.

Além disso, foi investigado [4] o efeito combinado da pressão parcial de oxigênio e concentração inicial de ácido cítrico num reator de coluna sobre a produção de ácido acético. Foi observado que a produção melhorou com a presença de ácido cítrico na solução alimentada

quando o fornecimento de oxigênio era insuficiente.

Em trabalhos anteriores [5], estudou-se a influência das variáveis taxa de diluição e concentração alcoólica da solução alimentada sobre a eficiência do reator contínuo na produção de vinagre, em escala bancada. Utilizou-se o Planejamento Experimental Fatorial 2^2 com duas repetições no ponto central. Os níveis utilizados foram 2, 4 e 6% em volume para a concentração alcoólica e 0,42, 0,60 e $0,78h^{-1}$ para a taxa de diluição. A Análise de Variância (ANOVA) do modelo linear da Superfície de Resposta mostrou a existência da influência das variáveis de entrada sobre o rendimento (resposta), além de mostrar uma boa concordância entre o modelo proposto e os dados experimentais. Foi observado que este modelo é significativo e preditivo para 75% de confiança.

De acordo com os dados apresentados acima [6], estudou-se o efeito da adição de ácido cítrico para aumentar o rendimento da fermentação. Executou-se para isso um Planejamento Experimental Fatorial 2^2 com duas repetições no ponto central, tendo como níveis 0,5, 1,0 e 1,5g/100ml para a concentração de ácido acético e 0, 0,005 e 0,010M para a concentração de ácido cítrico, observando sua influência sobre o rendimento. O rendimento máximo alcançado foi aproximadamente igual a 37%. Utilizou-se, também, a análise de variância que indicou que o

modelo proposto é altamente preditivo em relação aos dados experimentais para 90% de confiança.

Como sendo a continuação dos trabalhos realizados citados anteriormente, este tem por objetivo aumentar os valores de rendimento, além de alcançar a acidez do vinagre comercial (4%) no estado estacionário de produção, utilizando, assim, um Planejamento Experimental Fatorial 2^3 completo.

Materiais e Métodos

Utilizou-se o bagaço de cana-de-açúcar contido em solução acética como suporte para as bactérias. Sendo assim, utilizou-se o mesmo como enchimento do reator.

Para condução e processamento da fermentação foram utilizadas bactérias acéticas, onde estas foram selecionadas de forma espontânea em função das condições de acidez do meio.

O reator contínuo utilizado para o processamento da fermentação foi confeccionado a partir de uma garrafa de plástico (com capacidade de 500ml). Este reator foi alimentado com 300 ml de solução, que continha Álcool Etílico e Vinagre, de acordo com o foi proposto pelo Planejamento Experimental Fatorial desenvolvido, além de 0,01M de Ácido Cítrico, e foi preenchido com, aproximadamente, 300g de bagaço de cana-de-açúcar. Foi acoplado a este sistema uma bomba peristáltica (PERIMAX 12 – SPETEC) para controlar a vazão de alimentação e uma bomba de ar (AIR – PUMP RESUN AC – 2600) para distribuição de oxigênio no reator.

A Figura 1 mostra a foto do sistema utilizado para o processamento da fermentação acética utilizando o reator contínuo.



Figura 1: Foto do Sistema do Processo Contínuo para a Fermentação Acética. Da esquerda para a Direita: Bomba Peristáltica, Reator Contínuo e Bomba de Ar.

Realizou-se o Planejamento Experimental Fatorial 2^3 considerando como variáveis de entrada do sistema a taxa de diluição (D), a concentração inicial de ácido acético (C_{AC}) e

concentração inicial de álcool (C_{AL}) da solução alimentada no reator. E como respostas deste sistema, o rendimento (R) na produção de vinagre em um processo contínuo.

As faixas de níveis para as variáveis de entrada encontram-se na Tabela 1. A listagem das combinações dos níveis e fatores (matriz de planejamento) encontra-se na Tabela 2.

Tabela 1 - Níveis das variáveis do planejamento experimental fatorial 2^3

Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central (0)	Nível (+1)
D (h^{-1})	0,18	0,48	0,78
C_{AC} (g/100ml)	2,5	3,0	3,5
C_{AL} (%)	2	3	4

Tabela 2 - Matriz do planejamento Fatorial $2^3 + 3$ experimentos no ponto central

Ensaio	D codificada	C_{AC} codificada	C_{AL} codificada
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

Calculou-se o rendimento (R) a partir dos valores da acidez estacionária obtida, ou seja, após a acidez do efluente não variar com o tempo. Com os dados coletados no planejamento experimental, construíram-se as Superfícies de Resposta, a Tabela da Análise de Variância e obteve-se o modelo utilizando o programa Statistica 5.0.

Resultados

Os níveis das variáveis de entrada e os rendimentos (R) obtidos com a execução do planejamento experimental encontram-se na Tabela 3. Os números entre parênteses, na coluna dos ensaios, apresentam à ordem de realização dos mesmos.

Tabela 3 - Níveis das variáveis do planejamento experimental fatorial 2^3

Ensaio	D	C _{AC}	C _{AL}	Acidez (g/100ml)	R (%)
1	-1	-1	-1	2,7	9,7
2	+1	-1	-1	2,7	9,7
3	-1	+1	-1	2,7	4,9
4	+1	+1	-1	2,7	4,9
5	-1	-1	+1	3,7	9,7
6	+1	-1	+1	3,5	0
7	-1	+1	+1	3,9	9,7
8	+1	-1	+1	3,8	7,3
9	0	0	0	3,2	6,5
10	0	0	0	3,2	6,5
11	0	0	0	3,2	6,5

Nas Figuras 2, 3 e 4 encontram-se as Superfícies de Resposta para o Rendimento (R) em função das variáveis de entrada do processo. Na Figura 2, observa-se a relação entre Rendimento (R) e a concentração de ácido acético (C_{AC}) e a taxa de diluição (D), mantendo a concentração alcoólica (C_{AL}) no ponto central (3,0%). Na Figura 3, observa-se a influência do Rendimento (R) em relação à concentração de ácido acético (C_{AC}) e a concentração alcoólica (C_{AL}), mantendo a taxa de diluição (D) no ponto central (0,48h⁻¹).

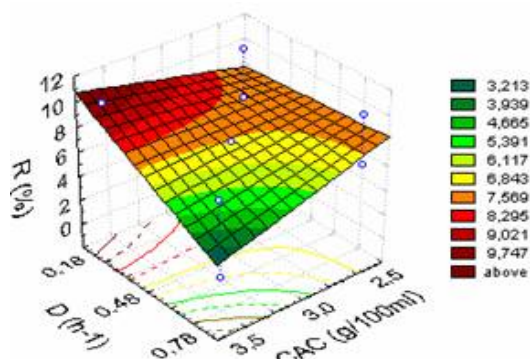


Figura 2: Superfície de Resposta do Rendimento versus Concentração Inicial de Ácido Acético e Taxa de Diluição.

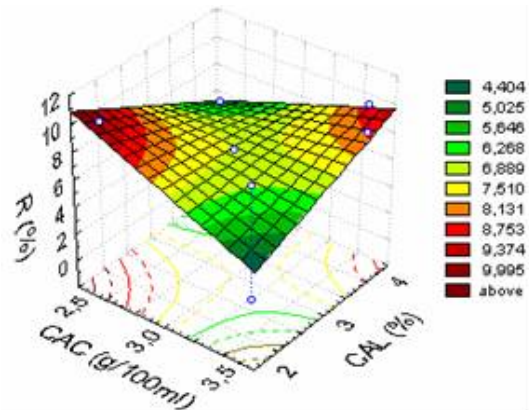


Figura 3: Superfície de Resposta do Rendimento versus Concentração Inicial de Ácido Acético e Concentração Inicial Alcoólica.

Na Figura 4, observa-se a influência do Rendimento (R) em relação à taxa de diluição (D) e a concentração alcoólica (C_{AL}), mantendo a concentração inicial de ácido acético (C_{AC}) no ponto central (3,0g/100ml).

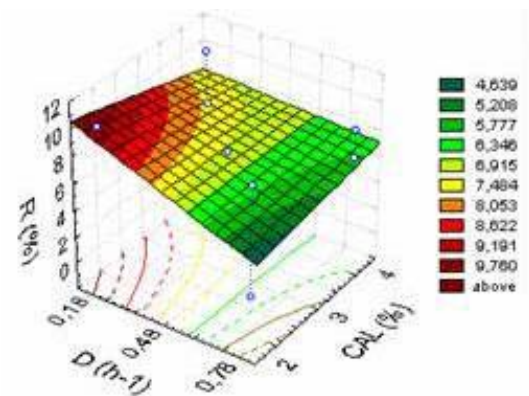


Figura 4: Superfície de Resposta do Rendimento versus Concentração Inicial Alcoólica Taxa de Diluição.

Para o modelo proposto levaram-se em consideração dois efeitos de interação. Este é dado abaixo:

$$R = 6,8545 - 0,3125C_{AC} - 1,5125D - 0,2875C_{AL} - 1,5125C_{AC}D + 2,1125C_{AC}C_{AL} + 0,9125C_{AL}D \quad [1.0]$$

Com o auxílio do programa Statistica 5.0, construiu-se a Tabela 4, onde se encontram os valores das somas e das médias quadráticas que compõem a análise de variância para o modelo representado pela equação [1.0].

Tabela 4 – Análise de Variância para o Ajuste do Modelo Linear

% Variância Explicada	91,80%
Coeficiente de Correlação	0,9581
Teste F (calculado)	7,465
F tabelado p/ 90% de confiança	4,01
F calculado/ F tabelado	1,86

A Figura 5 mostra o gráfico que compara os valores previstos pelo método e os valores observados.

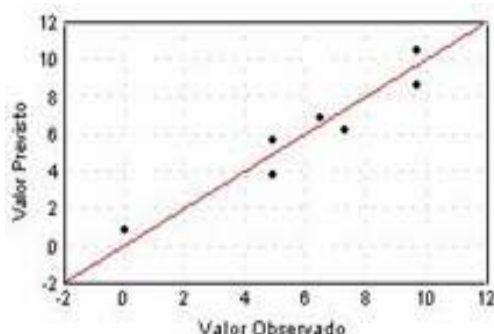


Figura 5: Valores Observados em Função dos Valores Previstos do Modelo da Equação [5.0] para o Rendimento

Discussão

De acordo com a Tabela 3, a maior acidez estacionária obtida foi igual a 3,9g/100ml.

Ao se analisar as Figuras 2, 3 e 4, observa-se que o rendimento é influenciado pelas variáveis de entrada observadas no processo.

Observa-se que o rendimento máximo alcançado (aproximadamente 10%), dentro da faixa estudada, foi obtido no nível inferior, tanto para a taxa de diluição ($0,18h^{-1}$) quanto para a concentração alcoólica inicial (2%). O rendimento mínimo foi observado quando a concentração acética e a taxa de diluição encontravam-se no nível superior ($3,5g/100ml$ e $0,78h^{-1}$) e a concentração alcoólica no nível inferior (2%).

Na Tabela 4, o coeficiente de correlação que mostra que a curva se ajusta de forma que quase não há resíduos, logo, toda a variação em torno da média é explicada pela regressão. O Teste F, com 90% de confiança, a razão entre o calculado e o tabelado indica que o modelo proposto pode ser considerado significativo em relação aos dados experimentais.

A Figura 5 confirma uma concordância razoável entre a reta do modelo representada pela equação [1.0] e os pontos experimentais.

Diante do discutido, alcançou-se um dos objetivos propostos, que foi o de alcançar a acidez do vinagre comercial (4%) no estado estacionário de produção. Porém, não se alcançou valores de rendimento satisfatórios, pois

o maior valor foi igual a 10%. Com isso, propõe-se, para trabalhos posteriores, a realização de outro planejamento experimental que tenha como objetivo diminuir a quantidade de álcool residual, aumentando os valores de rendimento, além, de obter, pelo menos, a acidez comercial mínima.

Conclusão

Foi observado, com o Planejamento Experimental, que o rendimento é influenciado pelas variáveis de entrada. O maior valor para o rendimento (10%) foi obtido no nível inferior, tanto para a taxa de diluição ($0,18h^{-1}$) quanto para a concentração alcoólica inicial (2%). A Análise de Variância, através do Teste F mostrou que o modelo é significativo com 90% de confiança. Alcançou-se a acidez do vinagre comercial (4%) no estado estacionário de produção em um dos ensaios do planejamento experimental realizado, Porém, não se alcançou valores satisfatórios de rendimento.

Referências

- [1] BORZANI, W; AQUARONE, E.; ALMEIDA LIMA, U. Engenharia Bioquímica. São Paulo, vol.3 1986.
- [2] MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO, Internet site address: <http://www.univap.br/> acessado em 01/12/2003.
- [3] JUN-ICHI HOIUCHI; KOUJI TABATA; TOHRU KANNO; MASAYOSHI KOBAYASHI. Continuous Acetic Acid Production by a Packed Bed Bioreactor Employing Charcoal Pellets from Waste Mushroom Medium, **Journal of Bioscience and Bioengineering**, V. 89(2), 2000, p. 126-130.
- [4] PARK, Y. S.; TODA, K. Effect of Tricarbolyllic Acid Cycle Intermediates on Acetobacter Aceti. **J. Gen. Appl. Microbiol.** V. 36, p. 105 – 110, 1990.
- [5] ALCÂNTARA, S. R.; SWARNAKAR, R. Desempenho do Reator Contínuo na Fermentação Acética (compact disc). In: VII INIC – ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, São José dos Campos, 2003.
- [6] ALCÂNTARA, S.; SWARNAKAR, R. Efeito da Concentração do Ácido Cítrico no Processo de Fermentação Acética Contínua (compact disc). In: VIII INIC – ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, São José dos Campos, 2004.