

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade em Diferentes Setores**

**AValiação da Viabilidade da Produção de Etanol Utilizando  
Grãos de Arroz Residuais Provenientes do Processo de  
Parboilização**

**EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF ETHANOL PRODUCTION USING  
SEWAGE GRAIN RICE FROM PARBORILING PROCESS**

Carmen Brum Rosa, Julia da Silveira Salla e Emanuele Amaral da Cruz

**RESUMO**

O arroz é um dos grãos mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para a população mundial. O processo de produção de etanol a partir de resíduos dessa matéria prima envolve a hidrólise do amido, fermentação e posteriormente a destilação, para a obtenção de etanol como produto final. Neste trabalho apresentar-se-á a produção de etanol a partir do processo de hidrólise enzimática com fermentação simultânea proporcionando uma grande economia de energia no processo. Utilizando um bioreator com condensador, mergulhado em um banho metabólico com temperatura controlada, utilizando grãos residuais do processo de parboilização do arroz como matéria prima para a produção de etanol. Esse processo será realizado com diferentes concentrações de enzima a fim de se obter variações de glicose produzida, e conseqüentemente avaliar o rendimento de etanol produzido a partir da fermentação utilizando leveduras *Saccharomyces cerevisiae* em um tempo de 48 horas de fermentação. No experimento foram utilizadas as seguintes concentrações de enzimas 2,5, 5 e 10 gramas de enzima por quilograma de amido e respectivamente obtiveram-se 71,43, 76,46 e 75,08% de rendimento de etanol.

**Palavras-chave:** resíduos de arroz, etanol, hidrólise enzimática, fermentação e enzimas.

**ABSTRACT**

Rice is one of the most produced and consumed grain in the world, featuring as main food for the world population. The process for producing ethanol from waste feedstock that involves starch hydrolysis, fermentation and subsequent distillation, for the production of ethanol as the final product. In this present work will produce ethanol from the enzymatic hydrolysis process with fermentation simultaneously providing significant energy savings in the process. Using a bioreactor with condenser, immersed in a bath temperature-controlled metabolic, using the procedure of residual grain parboiled rice as raw material for ethanol production. This process is performed with different concentrations of enzyme in order to obtain variations of glucose produced, and thus evaluate the efficiency of ethanol produced from fermentation using yeast *Saccharomyces cerevisiae* on a 48-hour period of fermentation. In the experiment we used the following enzyme concentrations 2.5, 5 and 10 grams per kilogram of enzyme and starch respectively were obtained 71.43, 76.46 and 75.08% yield of ethanol.

**Keywords:** rice, ethanol, enzymatic hydrolysis, fermentation and enzyme.

## INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. (WALTER et al., 2008). A produção anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas. Nesse cenário, o Brasil participa com 2,17% da produção mundial e destaca-se como único país não-asiático entre os dez maiores produtores (FAO, 2006).

O arroz é consumido no Brasil, principalmente, na forma de grãos inteiros, descascados e polidos, ao contrário do que ocorre com o trigo e o milho que são transformados em outros produtos antes do consumo (CASTRO et al., 1999). O desenvolvimento de produtos mais sofisticados utilizando o arroz como matéria-prima seria incompatível com o poder de compra da maioria da população mundial tradicionalmente consumidora de arroz (NABESHIMA e EL-DASH, 2004). Entretanto, o aproveitamento de seu subproduto torna-se viável, pois, durante o beneficiamento do arroz, resultam aproximadamente 14% de grãos quebrados (CASTRO et al., 1999), que apresentam menor valor comercial. Uma das alternativas para agregar valor aos grãos quebrados seria a produção de etanol utilizando esses resíduos.

O processo de produção de etanol a partir desse tipo de matéria prima envolve a hidrólise do amido, fermentação e posteriormente a destilação, para a obtenção de etanol como produto final. Industrialmente, o processo convencional utiliza hidrólise enzimática a quente. Nesse processo, as  $\alpha$ -amilases hidrolisam a cadeia de amido, produzindo dextrinas, que podem ser hidrolisadas pelas  $\beta$ -amilases em maltoses ou em glicose pelas glucoamilases (KLAUCK et. al., 2010). Porém, recentemente houve um crescimento na utilização do processo de hidrólise enzimática a frio na indústria, utilizando uma enzima especial contendo uma mistura de  $\alpha$ -amilases e glucoamilases, que juntas hidrolisam a cadeia de amido a glicoses a temperatura ambiente. Dessa forma, a hidrólise e a fermentação podem ocorrer simultaneamente, com grande economia de energia no processo.

## OBJETIVOS

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o rendimento da produção de etanol utilizando o processo de hidrólise enzimática a frio com fermentação simultânea, para duas diferentes situações experimentais: sistema aberto e sistema parcialmente fechado. Visando um bom rendimento juntamente com uma viabilidade econômica e economia de energia no processo.

## METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no laboratório da pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Santa Maria.

Dois sistemas foram montados e as reações de hidrólise e fermentação foram realizadas em um bioreator de vidro, mergulhado em um banho metabólico com temperatura controlada, utilizando grãos residuais do processo parboilização do arroz como matéria prima para a produção de etanol. O sistema montado para ambos os experimentos foi idêntico, exceto pelo fato de que um dos experimentos foi conduzido em sistema aberto enquanto ao outro foi acoplado um condensador na saída do reator para evitar a perda de etanol por evaporação.

O procedimento experimental foi realizado da seguinte maneira: inicialmente os grãos residuais de arroz foram pesados e diluídos em um pouco de água, o pH foi ajustado para 4,0

utilizando HCl 1M e adicionou-se uma solução tampão para que o pH se mantenha constante. Logo, completou-se o volume do reator para 3L, adicionou-se 25 mL (equivalente a 65 quilogramas de enzima por quilograma de amido) de enzima especial desenvolvida pela Stargen e 20 g de levedura *Saccharomyces cerevisiae* e iniciou-se a reação. Utilizou-se uma concentração inicial de 150 gramas de amido por litro de solução. A duração dos experimentos foi 78 horas e a concentração de álcool e açúcares redutores foi monitorada durante todo o experimento.

Posteriormente, foram realizados experimentos utilizando as mesmas condições experimentais para o sistema com condensador acoplado, porém variando a concentração de enzima e fixando o tempo de reação em 48 horas. A concentração de enzima utilizada industrialmente é em média 2,5 quilogramas de enzima para cada quilograma de amido. Dessa forma, foram testadas concentrações de enzima de 2,5, 5 e 10 quilogramas de enzima por quilograma de amido.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos nos experimentos são mostrados nas tabelas 1 e 2. O rendimento da produção de etanol foi calculado com base na concentração teórica, considerando um rendimento de formação de etanol de 100%, de acordo com a seguinte fórmula.

$$R_{\text{etanol}} = \frac{C_{\text{real}}}{C_{\text{teórica}}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Onde:

$C_{\text{real}}$  = concentração de etanol medida (g/L)

$C_{\text{teórica}}$  = concentração de etanol para um rendimento de 100% (g/L)

$$C_{\text{teórica}} = 150 \times 1,1 = 166,67 \frac{\text{g}}{\text{L}} \quad (2)$$

Tabela 1: Resultados para o experimento 1: condensador acoplado

Amostra	Tempo (h)	Conc. Álcool (g/L)	Conc. Glicose (g/L)	Rend. Etanol (%)
1	0	0,624	11,677	0,733
2	6	24,414	62,951	28,660
3	20	60,060	13,331	70,505
4	24	75,270	6,384	88,360
5	30	78,780	2,746	92,481
6	44	79,560	2,415	93,397
7	54	79,560	0,761	93,397
8	68	79,014	2,415	92,756
9	78	79,560	2,084	93,397

Tabela 2: Resultados para o experimento 2: sistema fechado

Amostra	Tempo (h)	Conc. Álcool (g/L)	Conc. Glicose (g/L)	Rend. Etanol (%)
---------	-----------	--------------------	---------------------	------------------

1	0	1,560	9,692	1,831
2	6	17,940	31,194	21,060
3	20	58,110	10,354	68,216
4	24	65,130	6,054	76,457
5	30	59,007	3,738	69,269
6	44	51,870	2,415	60,891
7	54	51,870	2,415	60,891
8	68	42,120	1,422	49,445
9	78	46,020	4,730	54,023

Para o experimento 1, observou-se que em 44 horas de reação, a concentração de etanol já atingiu seu valor máximo, sendo que em apenas 24 horas uma boa concentração de etanol foi atingida. Já no experimento 2, a concentração de etanol atingiu seu máximo em 24 horas de reação e a partir desse tempo começou a decair. Isso se deve à evaporação do etanol do meio, já que o sistema é aberto.

Tabela 3: Rendimento de produção de etanol para sistema diferentes concentrações de enzima

Experimento	Conc. Enzima (kg enzima/kg amido)	Rendimento etanol (%) em 48 horas
3	2,5	71,42087
4	5	76,45696
5	10	75,08348

Para os experimentos 3, 4 e 5, percebe-se uma pequena variação de rendimento na produção de etanol para as concentrações de enzima testadas, em 48 horas de reação. Percebe-se também que em 48 horas o rendimento ainda não atingiu seu pico. Dessa forma, podem-se alcançar maiores rendimentos para maiores tempos de reação.

## CONCLUSÕES

Para as condições experimentais iniciais estudadas (experimentos 1), pode-se atingir um rendimento acima de 90% em apenas 24 horas de reação, porém deve-se utilizar o condensador acoplado ao sistema, caso contrário esse rendimento cai para menos de 80% (experimento 2) devido à perda de etanol por evaporação.

Porém, a concentração de enzima utilizada nos experimentos 1 e 2 foi muito alta e seu uso na indústria tornaria o processo de produção de etanol inviável economicamente. Dessa forma, experimentos com menores concentrações de enzima foram conduzidos posteriormente e provaram que é possível atingir rendimentos maiores que 75% em 48 horas de reação. Apesar de o tempo de reação ser maior, o gasto com enzima diminui consideravelmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. Qualidade de grãos em arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p.

CEREDA, M. P. Propriedades gerais do amido. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 221 p. (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical databases. Capturado em 15 abr. 2006. Online. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 16/07/2011

KLAUCK, E., GASPAROTTO, M. G., MAYER, F. D, e JAHN, S. L., Análise de diferentes condições operacionais na hidrólise do amido de mandioca, Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2010.

NABESHIMA, H. A. ; EL-DASH, A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. Boletim do CEPPA, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2004.

WALTER, M., MARCHEZAN, E., AVILA, L. A, Arroz: composição e características nutricionais, Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008.

ZAVAREZE, E. R, EL HALAL, L. M., PEREIRA, J. M., RADÜNZ A. L, ELIAS, M. C., DIAS, A. R. G, Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose, Brazilian Journal of Food Technology, II SSA, janeiro 2009. Disponível em:

<[http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/especiais/especial\\_2009/v11\\_edesp\\_06.pdf](http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/especiais/especial_2009/v11_edesp_06.pdf)> Acesso em: 13/07/2011