

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE SÍNTESE DE ETANOL POR MICROALGAS

E. P. B. LOPES, D. A. SANTOS, G. A. SANTOS, I. T. SOUZA, F. R. X. BATISTA

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: erisson.paulo@gmail.com

RESUMO – Fontes alternativas de energia estão tornando-se importantes no momento em que a demanda energética aumenta de forma considerável. É por isso que a produção de etanol através de algas verdes vem sendo estudada, estando em destaque a *Chlamydomonas reinhardtii*, por apresentar facilidade em armazenar grandes quantidades de amido e sua capacidade de sintetizar etanol estando em meio anaeróbico. Este trabalho vislumbrou estimar a viabilidade econômica da síntese de etanol através do uso da alga verde, levando em consideração apenas a etapa de foto-fermentação. A análise mostrou que embora o processo de síntese do biocombustível necessite ser otimizado, o tempo de retorno observado foi inferior a três anos.

1. INTRODUÇÃO

Na última década ocorreu aumento significativo em pesquisas por fontes de energia alternativas, com objetivo de satisfazer o consumo mundial de combustíveis. Com isso, microrganismos vêm sendo utilizados como fontes sustentáveis para produção de energia. Um exemplo de microrganismo é a alga verde *Chlamydomonas reinhardtii*. A escolha por essa alga se deve a sua capacidade de armazenar uma boa quantidade de polissacarídeos, destaque para o amido intracelular. (Libessart *et al.*, 1995). Essas características evidenciam a capacidade da *C. reinhardtii* de sintetizar hidrogênio e etanol (Das e Veziroglu, 2001; Costa *et al.*, 2015), além de CO₂ e alguns ácidos orgânicos.

A viabilidade econômica da produção industrial de biocombustíveis como o etanol obedece a muitos critérios, dentre os quais se inclui a disponibilidade tecnológica que este estudo procurou realizar. O emprego de componentes conhecidos, controláveis e reprodutíveis, vai ao encontro dos esforços das indústrias biotecnológicas, que não trabalham com meios de cultura adquiridos comercialmente, mas os formulam e produzem no interior da empresa. Em vista disto, este estudo visou propiciar uma estimativa inicial da viabilidade econômica do bioprocessamento de síntese de etanol utilizando algas verdes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Alga Verde e Meio de Cultivo

Neste estudo utilizou-se a alga verde unicelular *Chlamydomonas reinhardtii* CC-124 conseguida de um banco canadense *Chlamydomonas Resource Center*. Para manutenção da mesma, o meio TAP com adição de enxofre foi utilizado (Tamburic *et al.* 2011).

2.2. Sistema de Cultivo Celular e Fotofermentação

Através de insuflação de gás nitrogênio, garantiu-se a condição de anaerobicidade para fotofermentação em biorreatores de 50 mL. Nos ensaios, a fermentação ocorreu durante cinco dias alternando 12 h luz e 12 h escuro. Na condição de ausência de luz os reatores foram revestidos com papel alumínio.

2.3. Determinação de Etanol

A concentração de etanol foi determinada em HPLC, cujos os componentes foram detectados por ultravioleta. Uma solução de ácido fosfórico foi usada para arraste a 0,5 mL/min e a temperatura da coluna foi mantida a 32°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Avaliação Técnico-econômica da Tecnologia Empregada Para Produção de Etanol

Um estudo econômico foi realizado a partir da fotofermentação das algas que resultou na síntese de etanol (0,04 g/L). Neste sistema a alga verde *C. reinhardtii* foi mantida em meio TAP suplementado com glicose e lactose, estando ambas as fontes de carbono na concentração inicial de 5 g/L. Ressalta-se que a estimativa da viabilidade econômica do processo foi baseada apenas na etapa de fotofermentação (Batista, 2007), portanto as etapas de *upstream* e *downstream* não foram consideradas neste estudo.

Os equipamentos necessários para produção de etanol estão esquematizados na Figura 1. Tratou-se de um tanque misturador de 1 m³ para armazenar o meio, um fotobiorreator tubular de 120 L operando em batelada e bombas para deslocamento do fluido na tubulação. Ainda se fez necessário o uso de filtro de ar, compressor para injeção de gás nitrogênio no reator, filtros de separação de partículas maiores e uma centrífuga para separação sólido/líquido do meio já contendo etanol. Considerou-se a estimativa de custo total de compra (CC) dos equipamentos de 364.820,55 (valor estimado conforme fabricantes).

Figura 1 – Esquematização do processo de produção do etanol a partir da *C. reinhardtii*



Para o cálculo do capital de investimento foram propostas médias do multiplicador de custo total de compra (CC) para cada item de custo planta, apresentados na Tabela 1. Para estimativa de custo da matéria-prima considerou-se um ganho de escala de 50 %. Considerando um gasto anual de 5.657,14 L (reator de 120L com ciclo de operação de 168 h durante 330 dias/ano) de meio de cultivo, estimou-se a capacidade da planta em relação a concentração obtida de 0,04 g_{etanol}/L. Segundo valores informados pelo fabricante, a

estimativa do custo de matéria prima chega a 19.771,69 R\$/ano. Já a Tabela 2 mostra um resumo das análises econômicas efetuadas. Para definir o preço de venda, considerou-se o mesmo valor do litro de etanol puríssimo vendido no mercado atualmente (Sigma), que está em torno de R\$ 280,00 o litro. Considerando que as etapas de cultivo celular e fermentação, representam 50% desse valor, determinou-se o preço de R\$ 140,00 o litro. Observa-se que o tempo de retorno do investimento seria próximo de 2 anos, compatível com o valor mínimo padrão esperado para este tipo de processo.

Tabela 1 - Composição do investimento total a partir do custo dos equipamentos.

Item de custo	Média do multiplicador	Investimento (R\$)
1. Custo direto da planta (CD)		
Instalação	0,50 x CC	182.410,2735
Tubulação	0,40 x CC	145.928,2188
Instrumentação	0,35 X CC	127.687,1914
Isolamento	0,03 X CC	10.944,6164
Instalação elétrica	0,15 X CC	54.723,0820
Subtotal		521.693,38
2. Custo indireto da planta (CI)		
Engenharia	0,25 X CC	91.205,1367
Construção	0,35 X CC	127.687,1914
Subtotal		218.892,33
3. Custo total da planta (CTP = CD + CI)		
Honorários do empreiteiro (HE)	0,05 X CC	18.241,0273
Contingência (C)	0,10 X CC	36.482,0547
4. Capital fixo direto (CFD = CTP + HE + C)		
Capital de giro (C_{giro})	0,10 X CC	36.482,0547
Custo de partida ($C_{partida}$)	0,05 X CC	18.241,0273
5. Capital de investimento (CTI = CFD + C_{giro} + $C_{partida}$)		
		850.031,87

Tabela 2 – Análise econômica global para produção de etanol

Item	Meio de cultura suplementado
	Valor (base: R\$ 6,00/L)
Capital total de investimento (R\$)	850.031,87
Custo total de produção (R\$/ano)	19.771,69
Capacidade da planta (g/ano)	226,28
Custo de produção por unidade (R\$/g)	87,37
Preço de venda (R\$/g)	3.500
Rendimentos (R\$/ano)	791.980
Lucro bruto (R\$/ano)	772.208,31
Impostos (R\$/ano)	308.883,32
Lucro líquido (R\$/ano)	463.324,98
Tempo de recuperação do investimento (ano)	1,83

4. CONCLUSÕES

O tempo de recuperação do investimento foi aceitável. Diante de tudo isso é necessário compreender melhor o metabolismo da alga para conseguirmos uma concentração maior do biocombustível, a fim de obter maiores rendimentos econômicos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo apoio financeiro, além da Universidade Federal de Uberlândia e a Faculdade de Engenharia Química pela oportunidade.

6. REFERÊNCIAS

- BATISTA, F.R.X. Formulação de Meio de Cultura Livre de Proteínas Animais para Células de *Drosophila melanogaster* Produtoras da Glicoproteína G do Vírus da Raiva. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- COSTA, R. L.; OLIVEIRA, T. V.; FERREIRA, J. S.; CARDOSO, V. L.; BATISTA, F. R. X. Prospective technology on bioethanol production from photofermentation. *Bioresource Technology*, v.181, p. 330-337, 2015.
- DAS, D.; VEZIROGLU, N. T. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 26, p. 13-28, 2001.
- LIBESSART, N.; MADDELEIN, M. L.; KOORNHUYSE, N.; DECQ, A.; DELRUE, B.; MOUILLE, G.; D'HULST, C.; BALL, S. Storage, photosynthesis and growth: the

conditional nature of mutations affecting starch synthesis and structure in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Cell*, v. 7, p.1117-1127, 1995.

TAMBURIC, B, ZEMICHAEL, F. W., MAITLAND, G. C., HELLGARDT, K. Parameters affecting the growth and hydrogen production of the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.36, p. 7872-7876, 2011.