

# AValiação Técnico-Econômica da Produção de Ácido Succínico via Fermentação Ácida

A. A. B. BERTI<sup>1,2</sup>, J. B. V. BASTOS<sup>2,3</sup>, E. L. ALVARISTO<sup>2,3</sup>, F. R. MOURA<sup>2,3</sup> e P. H. R. ALIJÓ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculdade SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>3</sup> Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

<sup>4</sup> Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil

E-mail para contato: aberti@cetiqt.senai.br

**RESUMO** – O ácido succínico é uma molécula em evidência no cenário mundial por seu potencial para se tornar um *building block* renovável. O presente estudo utiliza uma metodologia que estima os custos de capital e operacionais de uma planta industrial a partir de simulação computacional utilizando *softwares* comerciais. Esta metodologia também permite estimar um preço mínimo de venda considerando uma taxa de retorno para o capital investido. A metodologia se mostrou eficiente para determinar o custo de capital investido uma vez que preço estimado ficou próximo ao preço praticado no mercado. Avaliações como esta são especialmente úteis para direcionar esforços de pesquisa e desenvolvimento, auxiliando investidores na tomada de decisões.

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas ambientais relacionados a emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e a conhecida instabilidade nos preços do petróleo tem motivado o desenvolvimento de cadeias produtivas alternativas – baseadas em recursos renováveis. Em 2004 o Departamento de Energia dos Estados Unidos apontou o ácido succínico como um *building block* de grande potencial capaz de ser produzido a partir de açúcar (Werpy *et al.*, 2004). Ele pode ser usado diretamente ou convertido em derivados como o 1,4-butanodiol, podendo ser utilizado em uma variada gama de aplicações, tais como no setor de tintas, adesivos, alimentício, cosméticos, plásticos biodegradáveis, plastificantes livres de ftalatos, entre outros.

O ácido succínico era tradicionalmente produzido a partir da hidrogenação do anidrido maleico, que é derivado do petróleo. Todavia, ele também é produzido naturalmente por todo organismo que utiliza a via glicolítica para obtenção de energia, tornando-o um candidato para produção através de fermentação.

Este estudo, a partir de uma análise técnico-econômica, tem o objetivo de estimar os custos de capital e os custos operacionais de uma planta industrial de produção de ácido succínico e, com isto, sugerir um preço mínimo de venda considerando uma taxa interna de retorno.

## 2. METODOLOGIA

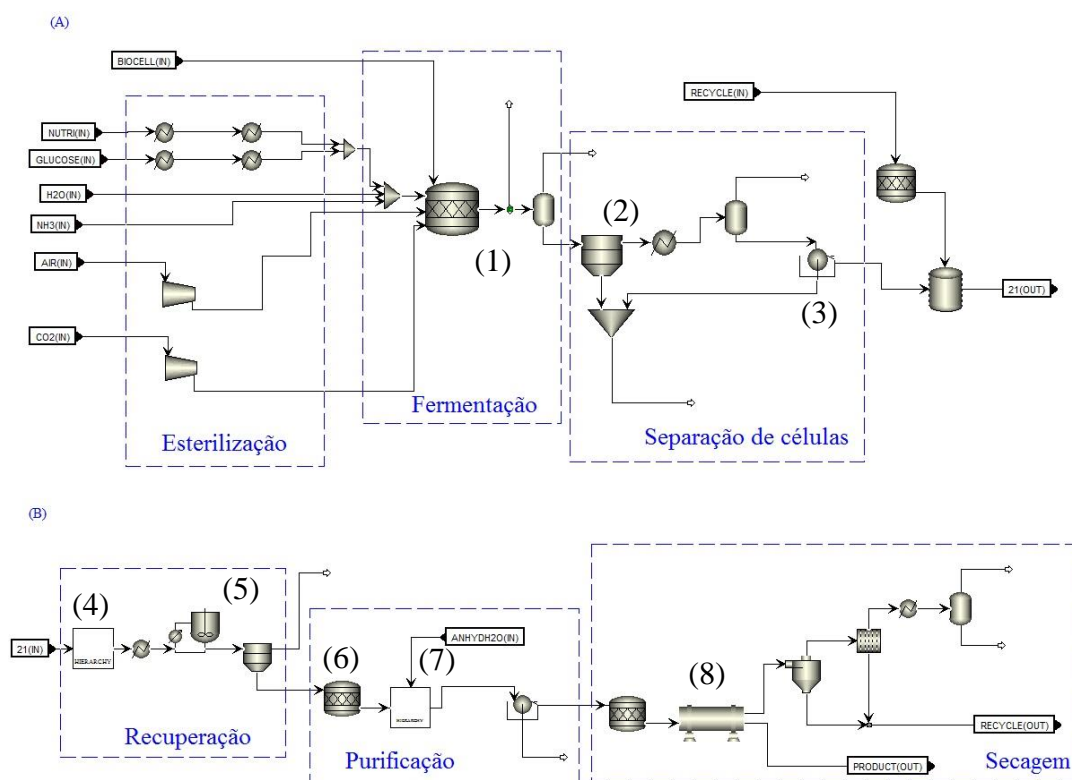
### 2.1. Simulação do Processo

O processo estudado foi desenhado a partir de patentes e artigos (Xiao *et al*, 2014; Cargill Incorporated. BioAmber S.A.S., 2014; BioAmber S.A.S., 2013 e então simulado no *software* Aspen Plus V8.8 para a obtenção de balanços de massa e energia rigorosos. A partir de tais balanços, é possível estimar os consumos de matéria prima e utilidades da planta de processo.

Supõem-se que o processo desenvolvido seja semelhante ao processo empregado comercialmente pela empresa BioAmber, uma vez que suas patentes se diferem substancialmente das patentes de outras empresas analisadas (*e.g.* Myriant, Reverdia), pois descrevem a fermentação sendo realizada por uma levedura, *Issatchenkia Orientalis*, que é capaz de produzir ácido succínico em meio ácido, a produtividade publicada na patente é de  $0,93 \text{ g/L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Visto que a patente realiza um estudo preliminar da linhagem em *shaker* e que melhorias como modificação genética e controle de processo podem aumentar a produtividade neste estudo utilizou-se  $1,6 \text{ g/L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . O meio ácido dispensa a neutralização do meio de cultura durante a fermentação que acarretaria em etapas adicionais na recuperação do produto e na formação de subprodutos (Cargill Incorporated. BioAmber S.A.S., 2014).

A simulação realizada em Aspen Plus V8.8 prevê uma produção de 40kt/ano de ácido succínico com pureza superior a 99,9% operando 8000h/ano. Segundo a metodologia proposta por Carlson (1996), o modelo termodinâmico escolhido para representar todas as correntes da simulação foi o NRTL. Um esquema da simulação é apresentado na Figura 1. A unidade industrial foi dividida em três áreas: A100, fermentação; A200, recuperação e purificação e OSBL, geração de utilidades e armazenamento. A OSBL foi estimada a partir dos resultados de consumo de utilidades da planta simulada em Aspen Plus.

Figura 1 – (A) Área 100 (B) Área 200



O processo consiste na fermentação da glicose pelo micro-organismo em fermentadores em batelada (1). As fermentações são iniciadas com uma defasagem no tempo de modo que no momento em que se termina de processar o conteúdo de um reator o conteúdo do próximo está pronto para ser processado, então foi possível aproximar a produção dos fermentadores com um reator estequiométrico contínuo. Dessa forma, a seção de recuperação e purificação opera em modo contínuo. Com o decorrer da fermentação, a concentração de ácidos aumenta levando à redução do pH, que só é corrigido ao atingir valores inferiores a 3. O ácido succínico neutralizado é perdido. O mosto fermentado é centrifugado (2) e passa por uma etapa de polimento com ultrafiltração (3). Neste estudo, o reciclo de células não foi considerado devido à ausência de informações nas patentes. Ele é então concentrado através de evaporação (4) e segue para uma etapa de cristalização (5). Nesta etapa, a maior parte dos subprodutos, entre eles etanol, glicerol e ácido acético, é removida pois estes não cristalizam. O ácido recuperado é então derretido (6) e passa por uma destilação (7) para remoção dos últimos contaminantes e correção de coloração. O ácido é cristalizado e secado (8) antes de ser embalado (BioAmber S.A.S., 2013).

## 2.2. Avaliação Econômica

Utilizando o *software* Aspen Process Economic Analyzer V8.8.2 (APEA), em conjunto com dados da simulação, os equipamentos que compõem a planta industrial foram

dimensionados e o custo de construção da planta industrial foi estimado utilizando a base de custos do quarto trimestre de 2015. Os custos de matéria-prima e utilidades foram estimados a partir dos consumos calculados na simulação. Com os custos de capital (CAPEX) e os custos variáveis foram determinados os custos de operação (OPEX) utilizando uma metodologia adaptada de Turton (2012) para o cálculo de custos fixos e outras despesas de uma planta industrial. O valor mínimo de venda foi estimado como uma composição de parcelas, onde cada uma depende de uma variável de custo: custos variáveis, custos fixos e outras despesas e um retorno de investimento de 15% em 20 anos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de custos de CAPEX obtidos no APEA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Detalhamento do CAPEX.

Componente	USD
A100	78.029.982,17
A200	22.403.996,37
OSBL	26.778.966,46
Contingência de Processo	12.721.294,50
<b>Capital Total de Processo</b>	<b>139.934.239,50</b>
Contingência de Projeto	34.983.559,88
<b>CAPEX</b>	<b>174.917.799,38</b>
Capital Adicional	8.745.889,97
<b>Capital Fixo Total</b>	<b>183.663.689,34</b>

O CAPEX da planta da BioAmber em Sarnia (Ontário, Canadá) foi de aproximadamente 141,5 milhões de dólares com uma capacidade de produção de 30 kt/ano (BioAmber, 2015). O erro relativo percentual (realizando uma correção para a diferença de capacidades) foi de 3,7% em relação ao valor obtido através desta metodologia. As estimativas forneceram um alto grau de precisão, pois para um projeto conceitual, a *AACE International* (2016) estima um erro no CAPEX de -20% a +30% no caso menos conservador e entre -50% a +100% no caso mais conservador. O custo da área de fermentação é responsável por 42,5% do valor do CAPEX, o que é atribuído à baixa produtividade do micro-organismo, requerendo fermentadores com grandes volumes. Um aumento da concentração final de ácido succínico na fermentação traria uma redução de CAPEX, diminuindo o tamanho dos fermentadores e o custo de algumas operações, principalmente a de evaporação, na seção de recuperação e purificação.

Com os dados obtidos na simulação e um conjunto de premissas descritas por Turton (2012), foi possível estimar o OPEX de acordo com a Tabela 2.

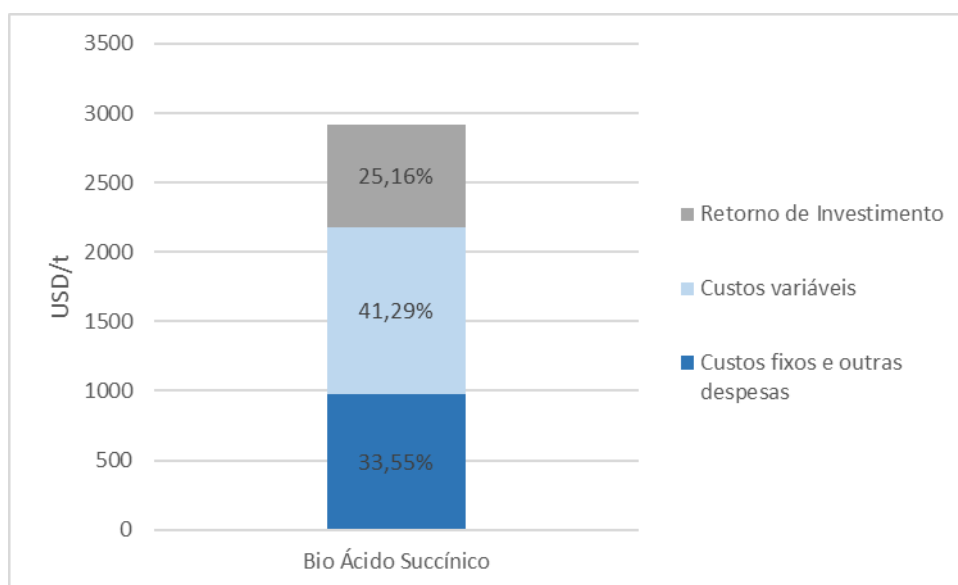
Tabela 2 – Detalhamento do OPEX.

Componente	USD/ano
Matérias Primas	40.753.428,65
Utilidades	7.404.511,53
Custos Fixos	36.591.422,56
Outras Despesas	2.542.480,88

OPEX	87.291.843,62
------	---------------

A partir das estimativas de CAPEX (Tabela 1) e OPEX (Tabela 2), foi possível calcular o valor mínimo estimado de venda em 2.915,86 USD/t. Este valor é composto por três parcelas, cada uma com uma fonte de contribuição: custos fixos e outras despesas, custos variáveis e retorno de investimento. Para o processo simulado a distribuição das contribuições de cada parcela é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Estimativa do valor mínimo de venda, com a distribuição percentual das parcelas que compõem esse custo.



O valor calculado para esta tecnologia é competitivo em relação ao preço do produto no mercado, que está entre 2500 USD/t e 3000 USD/t (Morales *et al.*, 2016). O retorno de investimento, somado aos custos fixos e outras despesas, respondem por cerca de 60% do preço de venda. Isso se deve principalmente ao alto custo de CAPEX frente a capacidade nominal.

## 6. CONCLUSÃO

O ácido succínico tem sido apontado como um intermediário químico renovável de grande potencial, porém estudos sistemáticos envolvendo avaliações técnico-econômicas de sua produção via processos fermentativos ainda são escassos na literatura. Diante disso, neste trabalho apresenta-se uma metodologia para a estimativa do custo de capital e operacional de um processo de produção de ácido succínico via fermentação ácida. A partir destes custos, foi possível estimar um preço mínimo de venda, considerando uma taxa de retorno de investimento de 15% em 20 anos. Os resultados evidenciaram que o preço de venda estimado para o ácido succínico produzido a partir da rota renovável simulada pode ser competitivo, quando comparado ao preço de mercado atual. Além disso, a metodologia proposta possibilita quantificar o impacto de melhorias, podendo auxiliar na tomada de decisões em um estágio inicial de projeto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACE International. *COST ESTIMATE CLASSIFICATION SYSTEM*. 2016.
- BioAmber. *BioAmber Sarnia Plant Opening – Media Release*. 2015.
- BioAmber S.A.S. Process for purification of succinic acid via distillation. *WO2013/088239*, 2013.
- Cargill Incorporated; BioAmber S.A.S. Yeast cells having reductive TCA pathway from pyruvate to succinate and overexpressing an exogenous NAD(P)<sup>+</sup> transhydrogenase enzyme. *WO2014/018757*, 2014.
- Carlson, E. C. Don't Gamble with Physical Properties for Simulations. *Chem. Eng. Prog.*, v. 92 (10), p. 35-46, 1996.
- Morales, M.; Ataman, M.; Badr, S.; Linster, S.; Kourlimpinis, I.; Papadokonstantakis, S.; Hatzimanikatis, V.; Hungerbühler, K. Sustainability assessment of succinic acid production technologies from biomass using metabolic engineering. *Enrg. & Env. Sci.* v. 9 (9), p. 2669-2926, 2016.
- Turton, R. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. New York: Prentice Hall, 2012.
- Werpy, T.; Petersen, G.; Aden, A.; Bozell, J.; Holladay, J.; White, J.; Manheim, A. *Top Value Added - Volume I: Results of Screening for Potential Candidates*. Washington: National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2004.
- Xiao, H.; Shao, Z.; Jiang, Y.; Dole, S.; Zhao, H. Exploiting *Issatchenkia orientalis* SD108 for succinic acid production. *Microb. Cell Fact.* v. 13, 2014.