



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO CATALÍTICA DO BIOETANOL A ETENO VERDE

MARQUES DSM^{1,2}, MAIA JGSS^{1,3}, DEMUNER RB³, BASTOS JBV^{1,2} e SECCHI AR³

¹ Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos

² Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

³ Programa de Engenharia Química/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro

E-mail para contato: duanmarques@eq.ufrj.br

RESUMO – O processo de desidratação catalítica do etanol é fundamental para produção do “polietileno verde”. A compreensão do processo permite a realização de otimizações que podem impactar na viabilidade do produto final. Nesse sentido, este trabalho realiza uma avaliação técnico-econômica rigorosa do processo utilizando metodologia desenvolvida pelo Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos. Foram obtidos resultados que permitem estimar o preço mínimo de venda do eteno produzido a partir do bioetanol. Os valores encontrados estão em concordância com a literatura e o mercado nacional.

1. INTRODUÇÃO

O etileno é um dos principais produtos petroquímicos produzidos no mundo. Da produção mundial, cerca de 99% do etileno utilizado é obtido via pirólise da nafta e do etano/propano. Há, contudo, um crescente interesse pelo desenvolvimento de rotas alternativas às convencionais, motivado pela preocupação com os efeitos das mudanças climáticas. Dentre essas rotas, destaca-se a tecnologia de desidratação catalítica do etanol que já vem sendo aplicada comercialmente em processos de larga escala. Por ser o segundo maior produtor de bioetanol do mundo, o Brasil pode ser um importante produtor de plásticos renováveis (Zhang e Yu *et al.*, 2013). O presente trabalho se insere nesse contexto ao realizar, a partir de uma simulação rigorosa, uma avaliação técnico-econômica do processo, permitindo analisar a atual competitividade do “eteno verde” frente ao eteno petroquímico.

2. METODOLOGIA

2.1. Simulação de Processo

A simulação foi desenvolvida em *Aspen Plus*® Versão 10 baseando-se no trabalho de Mohsenzadeh *et al.* (2017) que descreve o processo da empresa *Chematur Engineering* e na patente de Barrocas *et al.* (1980). Adotou-se a produção de 200 kta de eteno grau polimérico, baseado na capacidade da maior planta de eteno verde em operação no Brasil (Yakovleva *et al.*, 2016). A planta foi dividida em: ISBL (do inglês, *inside battery limits*) e OSBL (do inglês, *outside battery limits*), contemplando área de armazenamentos, geração de utilidades e tratamento de efluentes. Um fluxograma do ISBL é apresentado na Figura 1.

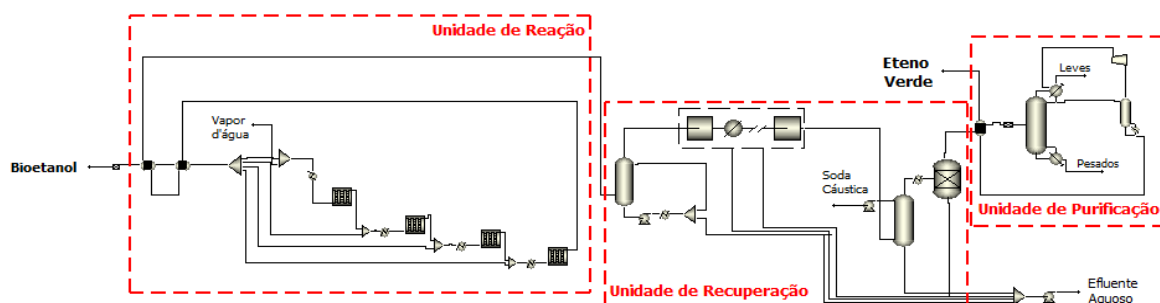


Figura 1 – Fluxograma do processo de desidratação catalítica do bioetanol a eteno verde.

O processo está dividido em 3 unidades principais: reação, recuperação e purificação do eteno. O modelo termodinâmico NRTL foi usado para as seções de reação e recuperação e Peng-Robinson para a unidade de purificação, além do ELECNRTL para a torre de soda cáustica. Na unidade de reação, o bioetanol com 92,5% m/m (ANP nº 2/2015) é pré-evaporado e enviado para uma série de 4 reatores com injeção intermediária de carga fresca entre os reatores (Barrocas *et al.*, 1980; Kochar *et al.*, 1981). Os reatores são recheados com catalisador à base de alumina e operam de forma adiabática (Barrocas *et al.*, 1980; Mohsenzadeh *et al.*, 2017). Uma vez que a reação de desidratação do etanol é altamente endotérmica, são utilizados trocadores de calor intermediários, que reaquecem a corrente de entrada de cada reator para uma temperatura na faixa de 450 - 500 °C (Mohsenzadeh *et al.*, 2017), sendo que neste trabalho assumiu-se uma temperatura média de 475 °C. A reação foi representada através do modelo cinético desenvolvido por Maia *et al.* (2016), baseado nos dados de Kagyrmanova *et al.* (2011), obtendo-se uma conversão de 98% do etanol e seletividade de eteno de 97%, semelhantes aos resultados reportados na literatura (Kagyrmanova *et al.*, 2011; Morschbacker, 2009). O modelo é capaz de prever a formação dos principais subprodutos (propeno, buteno, etano e acetaldeído, éter etílico e hidrogênio), porém não prevê a formação de alguns compostos minoritários (CO, CO₂ e CH₄). A formação desses últimos foi estimada a partir dos dados de seletividade reportados por Mohsenzadeh *et al.* (2017). Uma característica inerente ao processo é a desativação do catalisador, que ocorre em função da deposição de coque. Para atenuar esse efeito, vapor d'água é injetado no primeiro reator (Mohsenzadeh *et al.*, 2017) numa razão de 2:1 em relação à carga de etanol adicionado, levando a um ciclo mais longo de regeneração do catalisador de até 12 meses, além de aumentar a seletividade de eteno e a capacidade calorífica do fluido reacional (Morschbacker, 2009).

A corrente efluente do sistema de reação é enviada para as unidades de separação e purificação. Na unidade de separação a carga, composta majoritariamente por eteno e água, é alimentada em uma torre de *quench*, para remoção de água e outros compostos polares, sendo recuperada no topo uma corrente com 93 % (m/m) de eteno. Essa é levada por um sistema de compressão até 27 bar e então enviada para as torres de lavagem. A primeira torre de lavagem faz uso de soda cáustica para remoção de CO₂ de modo a atingir um teor inferior a 2 ppm. Após passar por esse equipamento a corrente é enviada para uma torre de lavagem com água para redução do residual de soda cáustica do meio e, em seguida, para uma torre com peneira molecular com objetivo de remover a água residual. Ao final desta, obtém-se eteno grau químico com 98,5% (m/m) de pureza, seguindo para a seção de purificação para atingir as especificações do grau polimérico por meio do uso de duas colunas criogênicas, sendo que a primeira tem como objetivo a remoção dos compostos pesados ainda presentes, com destaque para o etano, que apresenta dificuldades de separação em virtude da baixa volatilidade relativa. Na segunda coluna há remoção dos componentes mais leves com especial atenção

para o monóxido de carbono que inibe os catalisadores de polimerização quando em níveis superiores a 5 ppm (Mohsenzadeh *et al.*, 2017). Neste trabalho, foi proposta uma integração energética entre os refervedores dessas colunas com a água de resfriamento utilizada no sistema de *quench*, permitindo uma redução de 35% da quantidade de água a ser enviada para a torre de resfriamento. Após esse sistema de purificação, eteno verde é finalmente obtido em grau polimérico igual a 99,95 % (m/m).

2.2. Avaliação econômica

A avaliação econômica foi realizada baseando-se na metodologia desenvolvida pelo Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos, que consiste em estimar três parâmetros econômicos principais: custos de investimento fixo (CAPEX), de operação (OPEX) e o preço mínimo. O CAPEX é composto pelo custo de aquisição e instalação dos equipamentos da planta, sendo calculado por meio do *software* Aspen Process Economic Analyzer® v10, que disponibiliza uma base de custos referente à América do Norte no primeiro trimestre de 2016, sendo aplicado um fator de localização para o Brasil (Intratec, 2018). Já o OPEX é composto por duas parcelas: custos variáveis, relacionado ao consumo de matéria-prima e utilidades da planta, sendo obtido com base nos balanços de massa e energia da simulação; e custos fixos mais despesas gerais, que representa os custos associados com mão-de-obra, manutenção entre outros, sendo estimado a partir dos princípios gerais de engenharia econômica apresentados em Turton *et al.* (2012) que, diferente do SENAI, não considera os custos de manufatura diretos como parte do custo fixo. Por fim, o preço mínimo de venda é definido como a soma do OPEX e do retorno de investimento, sendo que este último representa um custo associado ao produto de modo a possibilitar a recuperação do capital total investido ao final de 20 anos com uma taxa anual de interesse de 15%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que o CAPEX estimado considerando o fator de localização para o Brasil é semelhante ao divulgado pela empresa Braskem na construção de uma planta para a mesma capacidade de produção que foi de US\$ 290 milhões (Braskem, 2018). Os resultados do OPEX e seu impacto no preço mínimo de venda do eteno verde (PV) podem ser visualizados na Figura 2.

Tabela 1 – Resultados do CAPEX e OPEX

OPEX	MM US\$/ano
Etanol	180,40
Utilidades	7,88
Custos Variáveis	188,28
Custos Fixos	35,06
Despesas Gerais	4,47
OPEX	227,80
CAPEX	MM US\$
ISBL & OSBL	133,70
Contingência de Processo	13,30
Capital Total de Processo	147,10
Contingência de Projeto	44,10
CAPEX - EUA	191,20
Capital Adicional	9,60
Capital Fixo Total - EUA	200,80
Capital Fixo Total - BRA	241,10

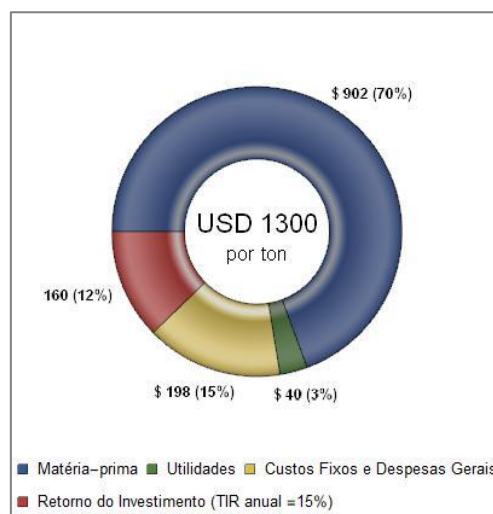


Figura 2 – Preço mínimo estimado de venda do Eteno Verde.



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

Ao se observar a Figura 2 é verificado que o preço mínimo de venda estimado foi US\$ 1300 por tonelada de eteno verde, sendo que a maior parcela se refere ao preço do etanol (70%). Vale ressaltar que o preço de mercado do eteno petroquímico está na faixa de US\$ 1100 por tonelada (Platts, 2018), indicando que o processo de produção eteno verde ainda necessita de estudos de otimização para se tornar cada vez mais competitivo.

4. CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram que o preço mínimo de venda do eteno verde é majoritariamente dependente do preço do etanol. Além disso, verificou-se que esse preço se encontra acima do seu valor de mercado, dependendo de quedas no preço da matéria-prima e de oscilações no preço do eteno petroquímico para se tornar competitivo. A concordância entre os resultados econômicos e de processo encontrados neste estudo e os dados divulgados na literatura induz ao uso do modelo matemático para estudos de otimização e melhorias nas plantas industriais de forma a aumentar a sua rentabilidade.

5. REFERÊNCIAS

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Regulamento Técnico nº 2/2015.

BARROCAS HVV, SILVA JBC, ASSIS RC, Process for preparing ethane, US Patent 4.232.179, 1980.

BRASKEM, I'm Green Polyethylene. Disponível em: <<http://www.braskem.com/site.aspx/Im-greenTM-Polyethylene>>. Acesso em: 28/03/2018.

INTRATEC, Plant Location Factors. Disponível em: <<https://www.intratec.us/indexes-and-pricing-data/plant-location-decision>>. Acesso em: 28/03/2018.

KAGYRMANOVA AP, CHUMACHENKO VA, KOROTKIKH VN, KASHKIN VN, NOSKOV A.S. Catalytic dehydration of bioethanol to ethylene: Pilot-scale studies and process simulation. Chem. Eng. J., v. 176-177, p. 188-194, 2011.

KOCHAR NK, MERIMS R, PADIA AS, Ethylene from ethanol. Chem. Eng. Progress, v. 77, n. 6, p. 66–70, 1981.

MAIA JGSS, DEMUNER RB, SECCHI AR, Modeling and simulation of the process of dehydration of bioethanol to ethylene. Braz. J. Chem. Eng, v. 33, n. 3, p. 479–490, 2016.

MOHSENZADEH A, ZAMANI A, TAHERZADEH MJ, Bioethylene Production from Ethanol: A Review and Techno-economical Evaluation. Chem. Bio. Eng. Reviews, v. 4, n. 2, p. 75–91, 2017.

MORSCHBACKER A, Bio-Ethanol Based Ethylene. Polym. Rev, v. 49, n. March 2015, p. 79–84, 2009.

PLATTS, S&P Global Platts Petrochemical INDEX (PGPI). <<https://www.platts.kr/news-feature/2014/petrochemicals/pgpi/ethylene>>. Acesso em: 01/04/2018.

TURTON R, BAILIE RC, WHITING WB, SHAEIWITZ JA, Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, 4^a ed., 2012.

YAKOVLEVA IS, BANZARAKTSAEVA EV, OVICHINNIKOVA VA, ISUPOVA LA, Catalytic dehydration of bioethanol to ethylene. Catal. Ind, v. 8, n. 2, p. 152–167, 2016.

ZHANG M, YU Y, Dehydration of ethanol to ethylene. Ind. Eng. Chem. Res, v. 52, n. 28, p. 9505–9514, 2013.