

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE ECONÔMICA DE PLANTAS DE PROCESSOS QUÍMICOS

Fabiany Bento da Silva¹
Luan Victor de Araujo Gomes²
Sidinei Kleber da Silva³

RESUMO

O desenvolvimento de um novo projeto para construção de uma planta de processos químicos ou a mudança em um projeto já existente depende do seu retorno financeiro. Ao analisar o impacto econômico de um processo químico, é necessário conhecer informações relacionadas aos custos e lucros do processo, pois a partir dessas informações é possível conhecer a lucratividade do processo. Quanto maior o grau de detalhamento da análise, mais acurado é o seu resultado, por outro lado, a análise pode se tornar complexa e exaustiva. O presente trabalho busca o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de análise econômica que facilite a aplicação dos métodos de engenharia econômica aplicadas ao desenvolvimento de projetos de processos na indústria química e petroquímica. Tem-se como resultado uma ferramenta com métodos de estimativa de custos de equipamentos, estimativa do custo ou receita com correntes do processo, e também outros custos operacionais como custos com mão de obra e utilidades.

Palavras-chave: Análise econômica, Ferramenta computacional, Processos industriais.

INTRODUÇÃO

A construção de uma nova planta de processos químicos requer um grande investimento inicial. O dinheiro investido pode levar anos até trazer o lucro esperado pelos investidores, além disso, um projeto mal elaborado pode trazer prejuízos irreparáveis. De acordo com Frare et al. (2006), o desenvolvimento de um processo só se justifica quando for mais atrativo que outras formas de investimento.

A estimativa de custos do processo deve ser realizada desde as etapas preliminares de desenvolvimento do projeto. Para Peters et al. (2013), é importante avaliar todos os fatores possíveis em uma avaliação de custos. Desde informações como custo com matéria-prima,

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, fabianybsilva@gmail.com;

² Graduando Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, luan.gomes@eq.ufcg.edu.br;

³ Professor Doutor do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, sidinei.silva@ufcg.edu.br;

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pela concessão da bolsa PIBITI/CNPq-UFCG.

consumo energético a custos com a administração do negócio e distribuição dos produtos finais. Ao avaliar os custos de um processo industrial, é importante garantir que os resultados são suficientemente acurados para auxiliar na tomada de decisões confiáveis.

Turton et al. (2018) avalia tanto os custos de construção da planta (Custo Capital), como também os custos associados a operação da planta (Custo de Manufatura). O custo de capital está associado com o investimento inicial com a planta, são custos com compra de terrenos, equipamentos e instrumentação. Por sua vez os custos de manufatura ou operação, são custos presentes durante todo funcionamento da planta, são custos como matéria-prima, utilidades e custo com operadores.

Na econômica moderna, os preços podem variar de forma significativa de um período para outro, e esse fator deve ser levado em conta quando o custo de um processo industrial é determinado. Segundo Peters et al. (2013), o engenheiro projetista deve manter constante *update* das informações dos preços e da flutuação salarial. É possível encontrar em revistas de engenharia índices de ajustes inflacionários que são divulgados periodicamente que permitem o ajuste para a data em que a estimativa é realizada.

Para garantir que os resultados da análise econômica são confiáveis, é necessário manter um grau de acurácia dos resultados. Quanto mais informações são utilizadas do processo, isto é, quanto maior o detalhamento da análise, mais próximo a estimativa se encontra dos valores reais. Geralmente uma análise econômica mais detalhada pode necessitar a aplicação de cálculos extensos e envolver muitas etapas que podem tornar a avaliação complexa.

As vantagens do desenvolvimento de ferramentas e softwares de análise econômica e que realizam estimativas de custos vêm da necessidade de facilitar e agilizar os cálculos realizados, além do aumento da precisão dos resultados.

Alguns softwares disponibilizam ferramentas de estimativa de custo dentro de seus pacotes. No entanto, o custo de aquisição dessas ferramentas pode ser dispendioso e conseqüentemente inviável. O desenvolvimento de uma ferramenta computacional gratuita traria grandes vantagens ao meio acadêmico tornando a metodologia da análise econômica simples e acessível.

1.1.1. Estimativa de Custo de Equipamentos

Existem diversas maneiras de realizar-se a estimativa de custo de equipamentos, entre elas inclui-se o contato direto com o fabricante do equipamento, ou ainda é possível utilizar-se de métodos clássicos da engenharia econômica. As técnicas de estimativa do capital a ser

investido são fundamentais, pois oferecerem uma resposta mais simples e rápida dos custos do processo e são fundamentais para a tomada de decisões na busca de qual rota oferece maior lucratividade.

Entre os métodos encontrados na literatura destaca-se o método de Guthrie. O método de Guthrie se baseia no uso de um custo base associado a uma dimensão ou capacidade do equipamento. Segundo Gutiérrez (2003), esse custo base considera aço carbono como material de construção, uma geometria base, pressão moderada e o ano base de 1968. Em seguida, ajusta-se para geometria, material, pressão e ano desejado.

Outros autores costumam fazer compilados ou ajustes em métodos de estimativa de custo de equipamento já existentes. Na literatura é possível encontrar as relações fornecidas por Seider et al. (2017), que se baseia em relações fornecidas por outros métodos.

1.1.2. Custo de Manufatura

Os custos associados a operações diárias na planta devem ser calculados antes do processo ser assinado. É necessário saber se há retorno dos gastos com a operação, ou seja, se os custos em matéria-prima, utilidades, operadores, são compensados pelo lucro final. Como discutido por Turton et al. (2018), os custos de manufatura podem ser divididos em três categorias:

Custos diretos: São gastos operacionais que variam com a taxa de produção. Por exemplo, a planta pode operar em uma capacidade inferior à sua capacidade máxima. Alguns exemplos de custos diretos são os custos com matéria-prima, utilidades, tratamento de água, mão de obra.

Custos fixos: Não mudam com a taxa de produção. Incluem taxas da propriedade, seguros e depreciação.

Despesas Gerais: Incluem os custos gerais associados a manter a funcionalidade do negócio. Pode-se incluir o pagamento de gestores, pesquisas, financiamentos.

Os custos de matéria-prima podem ser facilmente encontrados com valores atualizados em revistas de engenharia química. No entanto se torna possível acordos de fornecimento que fornecem preços mais estratégicos.

Segundo Turton et al. (2018), o custo das utilidades está diretamente influenciado pelo custo do combustível. Há grande dificuldade na estimativa de custo do combustível uma vez que o mesmo impacta de forma significativa no preço de outras utilidades como a eletricidade.

1.1.3. Depreciação

Quando uma companhia constrói e opera uma planta de processo químico, a planta física (equipamentos e construções) possui um tempo limitado de vida. O valor da planta tende a diminuir com o tempo.

Apesar de existir diversos métodos de depreciação os mais comumente utilizados são os métodos de linha direta e duplo. Tem-se para esses métodos a relação:

Tabela 1 - Métodos de depreciação.

Método	Fórmula
Linear	$d_k^L = \frac{FCI - S}{n}$
Soma dos Dígitos dos Anos	$d_k^{SDA} = \frac{(n + 1 - k)(FCI - S)}{\frac{n}{2}(n + 1)}$
Balanco Declinante Duplo	$d_k^{BDD} = \frac{2}{n} \left(FCI - \sum_{j=0}^{j=k-1} d_j \right)$

Fonte: Turton et al. (2008).

FCI é o custo fixo de investimento, *S* o valor de salvamento, *n* de vida do equipamento, *k* o ano vigente e *d_k* o valor de depreciação anual.

REFERENCIAL TEÓRICO

Por meio de Santos (2019), observa-se o potencial do uso da metodologia apresentada por Turton et al. (2018) na análise de viabilidade econômica de processos químicos, a partir da análise de investimentos, critérios de rentabilidade e dos custos de produção. Assim como Shintaku (2006), ao aplicar a metodologia fornecida para análise dos custos de produção ou custo de manufatura.

Na literatura é possível encontrar diversos métodos que relacionam um custo base a uma capacidade ou dimensão do equipamento, tal como os métodos apresentados por Guthrie (1969), Turton et al (2018) e Seider et al. (2017). Por meio de Gutierrez (2003) é possível observar gráficos que aplicam o método de Guthrie. Iglesias et al (2004) desenvolve um simulador de processos simplificado, chamado *SimPro*, no *Excel*® associado a linguagem *VBA* usando planilhas que permitem entre outros cálculos, a análise de custo de equipamentos.

Estimativas econômicas aproximadas servem como ferramentas de decisão ao longo de todo o projeto. Conceição (2016), mostra o potencial da ferramenta de análise econômica do

software Aspen HYSYS® ao estimar o custo de diversos equipamentos. Para Towler e Sinnott (2012), esse é um dos *softwares* mais sofisticado para estimativas de custos preliminares.

Andrade et al (2012) desenvolve um aplicativo de análise econômica com foco na aplicação em disciplinas de Engenharia Química que permite avaliar fatores importantes em uma análise preliminar, como determinação de custos de equipamentos, produção e alguns critérios de rentabilidade. Apesar do aplicativo fornecer resultados importantes, para uma análise com resultados mais robustos observa-se a necessidade da avaliação de outros fatores como análise de depreciação e análise de investimentos.

Um dos principais desafios no uso dos simuladores de processo é o custo de aquisição das licenças que com o passar dos anos se tornou cada vez mais caro. Por isso é importante o desenvolvimento de ferramentas de acesso gratuito disponíveis em plataformas acessíveis e de uso prático com módulos que garantam bons resultados de acordo com a necessidade da análise.

METODOLOGIA

O script do programa foi desenvolvido no ambiente integrado de desenvolvimento da *Microsoft*, o *Microsoft Visual Studio 2017* que permite o desenvolvimento de softwares de forma gratuita. O script foi desenvolvido na linguagem de programação C#. A interface da ferramenta foi criada utilizando o *Windows Presentation Foundation (WPF)*, um subsistema gráfico do *.NET Framework*.

Inicialmente foi desenvolvido o método de estimativa de custo de equipamentos por meio das correlações encontradas em Seider et al. (2017) e Guthrie (1969). Foi construído rotinas que incluem os principais equipamentos industriais. Utilizou-se o índice CEPCI divulgado periodicamente na *Chemical Engineering Magazine* para atualização dos preços de acordo com o ano para o qual a estimativa é feita.

Inicialmente foi desenvolvido o método de estimativa de custo de equipamentos por meio das correlações encontradas em Seider et al. (2017) e Guthrie (1969). Foi construído rotinas que incluem os principais equipamentos industriais.

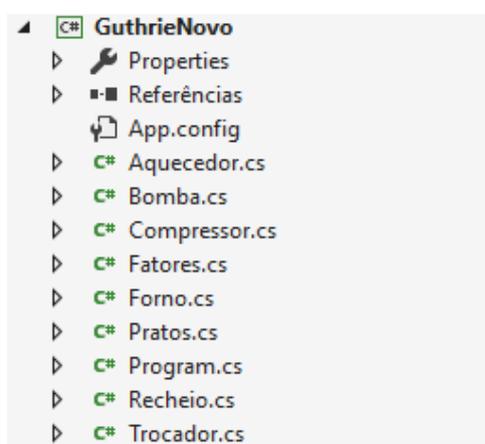
Desenvolveu-se também interfaces para estimativa dos custos operacionais como custos com matéria-prima, utilidades e mão de obra baseadas na metodologia apresentada por Turton et al. (2018). Também foi desenvolvido um módulo para depreciação dos equipamentos e análise de investimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pela concessão da bolsa PIBITI/CNPq-UFCG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

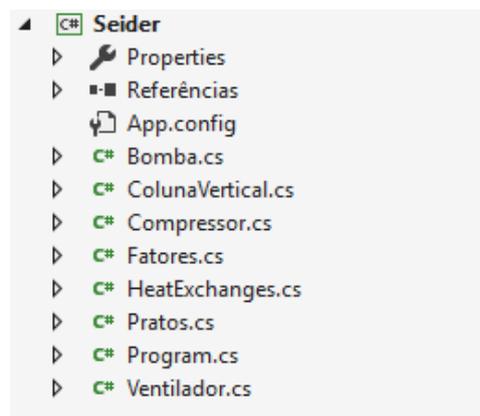
Ao fim do desenvolvimento do projeto, por meio de correlações encontradas na literatura, obtém-se uma ferramenta que possibilita a estimativa de custo dos principais equipamentos presentes em processos químicos ou petroquímicos. Nas figuras abaixo é possível observar as classes desenvolvidas para estimativa de diversos equipamentos através de dois métodos. Na Figura 1 para o método de Guthrie e na Figura 2 para o método elaborado por Seidel et al. (2017).

Figura 1 - Classes para o módulo de estimativa pelo método de Guthrie.



Fonte: Autoria Própria

Figura 2 - Classes para o módulo de estimativa pelo método de Seider et al. (2017).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O usuário entra com as informações e especificações do equipamento que deseja estimar o custo como as dimensões do equipamento, material de construção, pressão de operação e também o índice CEPCI para correções inflacionárias. Cada equipamento exige especificações diferentes.

Por exemplo, o custo de aquisição de um trocador de calor é influenciado principalmente por sua área de troca térmica. Com o valor da área de troca térmica o programa realiza o cálculo do custo base que é em seguida ajustado por outros fatores que influenciam no custo de compra do trocador, tal como design do trocador, pressão de operação e material do casco e do tubo.

Com a Tabela 2 é possível observar possíveis especificações de equipamentos industriais. Na Figura 3 e 4 tem-se a interface para estimativa de custos de equipamentos e a solução para a estimativa de custo seguindo as especificações dos equipamentos apresentados na Tabela 2 através dos métodos de Guthrie (1969) e Seider et al. (2017) respectivamente.

Tabela 2 - Características de equipamentos industriais.

Equipamento	Design	Material	Pressão (psi)	Potência (HP)	Carga Térmica (BTU/hr)	Método
Fornalha de Processo	Pirólises	Aço Carbono	800	-	70	Guthrie
Compressor	Centrifugo	Aço Inoxidável	-	9300	20	Seider et al. (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Interface para cálculo do custo de compra de uma fornalha de processos.

The screenshot shows a web-based application window titled "Custo Fornalha de Processo". At the top, there are navigation tabs: "Início", "Ajuda", and "Referência". The main interface is divided into two columns of input fields. On the left, under "Modelo de Fornalha", there are three radio buttons: "Aquecedor de Processo" (selected), "Pirólise", and "Reformador (Sem Catalisador)". Below this, under "Material de Construção", there are three radio buttons: "Aço Carbono", "Cromo / Molibdênio", and "Aço Inoxidável" (selected). On the right, there are three input fields: "Calor Absorvido (MMBtu/h)" with the value "70,00", "Pressão (psia)" with the value "800,00", and "Índice CEPCI" with the value "618,00". At the bottom, there are two buttons: "Limpar" and "Calcular". Below the buttons, a light blue box displays the result: "Resultado: \$3.192,55".

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - Interface para cálculo do custo de compra de um compressor.

Compressor

Início Ajuda Referência

Modelo de Compressor

- Centrifugo
- Reciprocating
- Screw

Potência Consumida (Hp)

9.300,00

Material de Construção

- Aço Carbono
- Aço Inoxidável
- Níquel

Índice CEPCI

618,00

Tipo de Motor

- Eletric Motor Drive
- Steam Turbine Drive
- Gas Turbine Drive

Limpar Calcular

Resultado: \$8.153.728,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Interface para Cálculo de Depreciação.

Depreciação

Início Ajuda Referência

Método de Depreciação

Soma dos Dígitos do Ano

Valor de Salvamento (\$)

10.000.000,00

Custo Fixo de Investimento (\$)

160.000.000,00

Anos de Vida

7

Limpar Calcular

Resultado: 150.000.000,00

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pela concessão da bolsa PIBITI/CNPq-UFCG.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao testar o módulo de depreciação o usuário entra com os dados de custo de investimento, valor de salvamento, o tempo de vida dos equipamentos e o ano em que deseja realizar o cálculo dos subsídios de depreciação que serão os atributos do método. É possível escolher o método de depreciação sendo possível o método linear, soma dos dígitos dos anos e balanço declinante duplo. Na Figura 5 é possível observar a interface para aplicação do método de depreciação.

Para o módulo de estimativa dos custos de produção o usuário pode avaliar os custo com a operação da planta a partir de informações como custos com matéria-prima, utilidades, tratamento de efluentes e operadores. Também foi desenvolvido módulos para a estimativa desses custos. Na Figura 6 tem-se o módulo para estimativa de custos de correntes do processo, seja para avaliação de custos com matéria-prima ou receita das correntes de produto.

Figura 6 - Interface para estimativa do custo de correntes do processo

\$ Custo Material

Início **Ajuda** **Referência**

Material

Tolueno

Vazão da Corrente

Vazão Molar (mol/h) Vazão Mássica (Kg/h)

10.000,00

Massa molar (g/mol)

Dias de Funcionamento da Planta por Ano

346

Limpar Calcular

Resultado: \$84.617.760,00/ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta se mostrou de fácil aplicação e com os módulos criado foi possível calcular fatores importantes em uma análise econômica. A ferramenta permite o cálculo da estimativa do custo de aquisição de equipamentos, manufatura, depreciação e análise de fatores de investimentos.

As relações fornecidas para estimativa de custo de equipamentos se mostraram amplas no número de equipamentos. É possível ainda a aplicação de outros métodos e a comparação entre quais métodos se mostram mais eficientes para determinados equipamentos.

A ferramenta foi testada a partir da aplicação da estimativa de custo de equipamentos com características disponíveis na literatura afim de garantir a funcionalidade correta da ferramenta. A ferramenta também dispõe de mensagens de erro e alerta caso o usuário cometa algum erro ao preencher os dados de entrada.

Para o aperfeiçoamento do módulo de análise econômica é possível incluir outros cálculos importantes para uma boa avaliação econômica como a análise de sensibilidade e construção de gráficos de fluxo de caixa.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pela concessão da bolsa PIBITI/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, B. et al. **Projeto de Ensino: Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Econômica de Processos Químicos**. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém, 2012.

CONCEIÇÃO, S. **A Análise Econômica de Processos como Ferramenta de Decisão no decurso do seu Desenvolvimento**. Tese (Mestrado em Engenharia Química e Biológica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, p. 123, 2016.

FRARE, L. M. et al. **Correlações para Estimativas de Custos na Remoção de Ácido Sulfídrico de Biogás**. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 28, n.1, p. 29-37, 2006.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pela concessão da bolsa PIBITI/CNPq-UFCG.

GUTHRIE, K. M. **Data and Techniques for Preliminar Capital Cost Estimating.** Chemical Engineering, 1969.

GUTIÉRREZ, A. J. **Diseño de Processos em Ingeniería Química.** Barcelona: Editorial Reverté, S.A. 2003.

IGLESIAS, O. A. et al. **Spreadsheet use in Conceptual Design of Chemical Processes.** International Journal of Engineering Education, Grã-Bretanha, v. 20, n. 6, p. 999-1004, 2004.

PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K. D.; WEST, R. E.; **Plant Design and Economics for Chemical Engineers.** 5th ed. Edição Internacional: Editora McGraw Hill India, 2013.

SANTOS, A. G. **Simulação e Avaliação Econômica da Produção de Ácido Sulfúrico via Processo de Contato.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. p. 52, 2019.

SEIDER, W. D. et al. **Product and Process Design Principles, Synthesis, Analysis and Design.** 4th ed. Ed. Wiley, 2017.

SHINTAKU, A. **Obtenção de extrato proveniente do aproveitamento de resíduo da indústria sucroalcooleira, utilizando CO₂ supercrítico: parâmetros de processo e estimativa do custo de manufatura.** Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

TOWLER, G; SINNOTT, R. **Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design.** 2nd ed. Ed. Butterworth-Heinemann, 2012.

TURTON, R.; SHAEIWITZ, Joseph A.; BHATTACHARYYA, D.; WHITING, Wallace B. **Analysis, Synthesis and Design of Chemical Process.** 5th ed. Ed. Prentice Hall, 2018.