



## PROJETO DE ENSINO: DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA ANÁLISE ECONÔMICA DE PROCESSOS QUÍMICOS

**Bruna Lopes Bravo de Andrade** – e-mail: brunab@gmail.com

Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.

Endereço: Travessa 45, nº1650 - Bairro Malafaia - Bagé - RS

CEP 96413-170 – Bagé – RS

**Marcelo de Alcino** – e-mail: marceloalcino1@hotmail.com

Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.

Endereço: Travessa 45, nº1650 - Bairro Malafaia - Bagé - RS

CEP 96413-170 – Bagé – RS

**Alexandre Denes Arruda** – e-mail: alexandrearruda@unipampa.edu.br

Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.

Endereço: Travessa 45, nº1650 - Bairro Malafaia - Bagé - RS

CEP 96413-170 – Bagé – RS

***Resumo:** Avaliação econômica de processos é uma etapa importante na seleção de um equipamento ou mesmo de uma planta industrial inteira. Estas avaliações são realizadas nas diferentes etapas de um projeto, desde o estudo conceitual até a básica e o detalhamento. Na Engenharia Química, nas disciplinas de Síntese e Análise de Processos e Projetos Industriais de Processos, as avaliações econômicas são solicitadas continuamente. A literatura apresenta uma metodologia detalhada para o cálculo dos custos de engenharia utilizando-se de diversas equações e gráficos que tomam um tempo bastante longo em avaliações preliminares de projetos. Devido a necessidade de agilizar as etapas de cálculo econômico foi desenvolvido um aplicativo chamado Análise Econômica de Processos Químicos (AEPQ) que permite a determinação de custos de diferentes equipamentos, bem como custos de utilidades (água, vapor, ar e eletricidade), além de permitir uma avaliação a longo prazo da rentabilidade do projeto. O aplicativo AEPQ pretende ser uma ferramenta para auxiliar o estudante a realizar avaliações mais rápidas de modo a permitir maior tempo no estudo econômico e na seleção de diferentes processos ou equipamentos industriais.*

***Palavras-chave:** Análise Econômica, Custos, Projetos Industriais.*

### 1. INTRODUÇÃO

A avaliação econômica de processo em um projeto de engenharia é dividida em cinco etapas. Estas etapas estão relacionadas aos custos estimados de projeto e dividem-se como mostrado na Tabela 1 (TURTON, 1998):

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**o ENGENHEIRO  
PROFESSOR E O  
DESAFIO DE EDUCAR**



Tabela 1 – Estimativas de custos e suas precisões.

| <b>Estimativa de Custos</b> | <b>Faixa de Precisão</b> |
|-----------------------------|--------------------------|
| Por ordem de magnitude      | + 40% a - 20%            |
| Estudada                    | + 30% a - 20%            |
| Projeto Preliminar          | + 25% a - 15%            |
| Definitiva                  | + 15% a - 07%            |
| Detalhada                   | + 06% a - 04%            |

Desta forma, cada estimativa de custos possui um tipo de análise diferente, variando assim, o tempo de realização e seu valor econômico. Quanto mais ampla a faixa de precisão, mais superficial é a análise, e consequentemente, menor o seu custo.

Na estimativa por ordem de magnitude as informações de custo são obtidas de plantas existentes, que são ajustadas ao projeto em estudo. Na estimativa estudada o custo de capital é obtido pelo dimensionamento dos maiores equipamentos do processo. Enquanto na estimativa preliminar se requer maior acurácia no dimensionamento dos equipamentos da etapa anterior incluindo a avaliação econômica dos custos de tubulação, instrumentação e elétrica. Já na estimativa definitiva os custos de todos os equipamentos, utilidades, instrumentação e elétrica são obtidos. E por fim no custo detalhado os custos da planta inteira são calculados, o que inclui, áreas de apoio ao processo.

Neste trabalho é apresentado o aplicativo chamado de AEPQ (Análise Econômica de Processos Químicos) que possibilita o cálculo de custos de vários equipamentos de processos. Ao mesmo tempo em que permite avaliar os custos de mão de obra, matéria prima e utilidades. O AEPQ foi desenvolvido em Visual Basic Net versão 2010 para sistemas Windows 7, Vista e XP.

## **2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM ANÁLISE ECONÔMICA**

A engenharia econômica possui três papéis básicos no projeto preliminar de projetos (SMITH, R, 1995):

- Avaliação de opções de projeto. Cálculos dos custos são necessários para selecionar diferentes opções.
- Otimização preliminar de processos. Variáveis de processo que são dominantes no projeto, como por exemplo, a taxa de conversão em reatores, que são otimizadas nos seus valores ótimos.
- Lucro global do projeto. A análise econômica global do projeto deve ser avaliada em diferentes etapas durante o projeto de modo a verificar a viabilidade ou as modificações que sejam necessárias.

Para avaliar opções de projeto ou realizar otimizações de processo, critérios de análise econômica são requeridos. Nesta análise devemos determinar os custos fixos que incluem equipamentos, mão de obra, seguro entre outras. E os custos variáveis, como matéria prima, utilidades, os quais dependem da taxa de produção, e devem ser calculados. Após a determinação destes custos, as taxas são deduzidas e assim é calculado o lucro líquido (PETERS & TIMMERHAUS, 2003).



Três critérios econômicos podem ser utilizados para avaliar um projeto de processos: tempo, fluxo de caixa e taxa de juros. O período de retorno do investimento é o tempo requerido, após a partida de uma planta industrial, de recuperar o capital investido. O critério de fluxo de caixa avalia o lucro do projeto no final do empreendimento. E por fim o critério da taxa de juros, chamado de taxa de retorno do investimento, que representa o quanto o projeto lucrou em relação ao capital fixo investido (TURTON et al, 1998).

Os custos envolvidos em um projeto se dividem em três subgrupos como custos de capital, custos de manufatura e custos gerais.

Os custos de capital incluem os custos diretos de compra de equipamentos, tubulações e instrumentação, bem como os indiretos como terrenos e construção da planta, prédios auxiliares, taxas e seguros entre outras.

Os custos de manufatura também são chamados de custos de operação ou de produção e subdividem-se em custos diretos e indiretos dependendo de cada interpretação (PETERS & TIMMERHAUS, 2003).

Os custos gerais incluem as despesas com administração, distribuição e venda dos produtos finais, além de pesquisa e desenvolvimento de novos processos e produtos (TURTON et al, 1998).

## 2.1 Custos de capital

### *Equipamentos*

Para cada processo químico, é necessário um conjunto diferente de equipamentos com diferentes especificações. O custo de cada equipamento varia de acordo com seu modelo, tamanho e a pressão máxima de operação (TURTON et al, 1998).

O custo base do equipamento,  $C_B$ , pode ser calculado a partir do custo de aquisição de equipamento assumindo a pressão de operação ambiente e material de construção carbono,  $C_P$ , do fator de pressão,  $F_P$ , e o fator de material,  $F_M$ , da seguinte forma:

$$C_B = C_P(B_1 + B_2.F_M.F_P) \quad (1)$$

onde,  $B_1$  e  $B_2$  são constantes encontradas na literatura para cada tipo de equipamento e o  $F_M$  é o fator material, que depende do material utilizado nas peças do equipamento.

Para calcular o  $C_P$ , é utilizada a seguinte expressão:

$$\log_{10} C_P = K_1 + K_2 \log_{10} A + K_3(\log_{10} A)^2 \quad (2)$$

onde,  $A$  é a capacidade do equipamento e  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  são constantes relativas à cada tipo de equipamento.

Já o fator de pressão,  $F_P$ , pode ser calculado do seguinte modo:

$$\log_{10} F_P = C_1 + C_2 \log_{10} P + C_3(\log_{10} P)^2 \quad (3)$$

onde,  $P$  é a pressão, em bar, e  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  são as constantes relativas à cada tipo de equipamento (TURTON et al, 1998).

No aplicativo AEPQ, o usuário escolhe o equipamento que deseja calcular, e adiciona as especificações desejadas do equipamento a ser calculado na tela, como mostra a Figura 1. Ao



clique em *Calcular*, o aplicativo retornará ao usuário o custo base e o custo corrigido. Na versão atual do AEPQ é possível calcular o custo de torres, vasos, bombas, compressores e fornos.



Figura 1 – Interface do aplicativo AEPQ para o cálculo do custo de equipamento.

## 2.2 Custos de manufatura

### *Matéria prima*

Os custos de matéria prima e utilidades fazem parte dos custos de manufatura e são baseados nos Fluxogramas de Processo. Os custos de diversos produtos químicos podem ser obtidos na Internet (ICIS PRICING, 2008).

A Figura 2 apresenta o AEPQ e a tela para cálculo do custo de matéria prima.

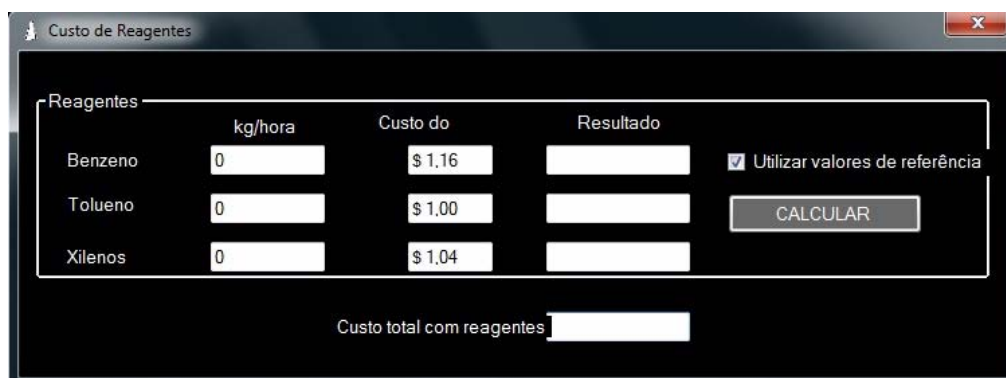


Figura 2 – Interface do aplicativo AEPQ para o cálculo do custo de matéria prima.

### *Utilidades*

As utilidades incluem energia elétrica, vapor em todas as pressões, água de resfriamento, água de processo, ar de instrumento entre outras (TURTON et al, 1998).

A Figura 3 apresenta o AEPQ e a tela para cálculo do custo de utilidades.



| Vapor          | kg/hora | Custo da utilidade | Resultado |
|----------------|---------|--------------------|-----------|
| Vapor de Baixa | 0       | \$ 6,62            |           |
| Vapor de Média | 0       | \$ 7,31            |           |
| Vapor de Alta  | 0       | \$ 8,65            |           |

Figura 3 – Interface do aplicativo AEPQ para o cálculo do custo de utilidades.

### ***Mão de obra***

Os custos de mão de obra fazem parte do custo direto de manufatura e para processos químicos, em geral contabilizam aproximadamente 15% do custo total do produto (PETERS & TIMMERHAUS, 2003). Tabelas fornecem a quantidade aproximada de pessoal para a operação de equipamentos específicos como por exemplo evaporadores, fornos ou torres (TURTON et al, 1998). A Figura 4 apresenta o AEPQ e a tela para cálculo do custo de utilidades.

Salário do Operador, R\$ 3600,00  
Número de operadores  
Custo anual com Operadores

Figura 4 – Interface do aplicativo AEPQ para o cálculo do custo de mão de obra.

## **2.3 Critérios de avaliação econômica**

### ***Período de retorno do investimento***

Conhecido como *Payback Period* (PBP), é o tempo requerido, para se recuperar o capital investido. Quanto menor for este tempo melhor.

### ***Razão de caixa acumulada***

Conhecido como *Cumulative Cash Ratio* (CCR), é definido através da Equação 4:



$$CCR = \frac{\text{Soma de todos os fluxos de caixa positivos}}{\text{Soma de todos os fluxos de caixa negativos}} \quad (4)$$

**Taxa de retorno sobre o investimento**

Chamado de *Rate of Return on Investment (ROROI)*, representa o quanto o projeto lucrou em relação ao capital fixo investido. A Equação 5 define este critério:

$$ROROI = \frac{\text{Média do lucro líquido anual}}{\text{Capital de investimento fixo}} \quad (5)$$

A Figura 5 apresenta os critérios de avaliação econômica exemplificado em um projeto com um tempo de duração de doze anos (TURTON et al, 1998).

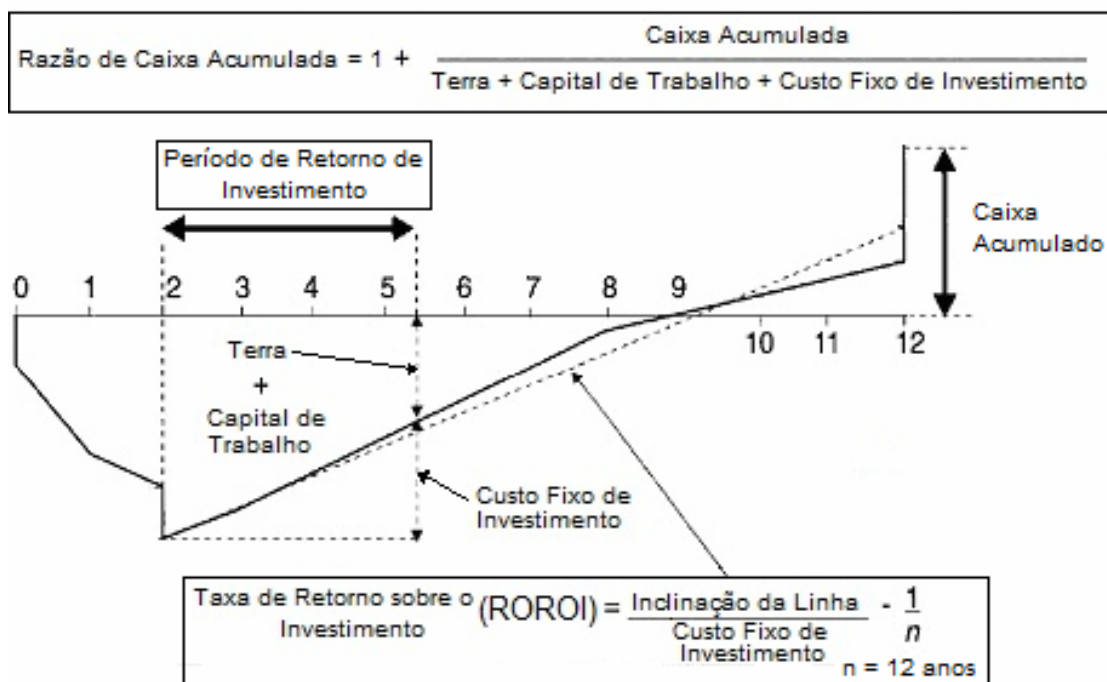


Figura 5 – Critérios de rentabilidade não descontada para avaliação de projeto.

Após a entrada dos dados necessários para se calcular os custos no aplicativo AEPQ, é possível gerar uma curva do fluxo de caixa ao longo dos anos, como mostra a Figura 6.

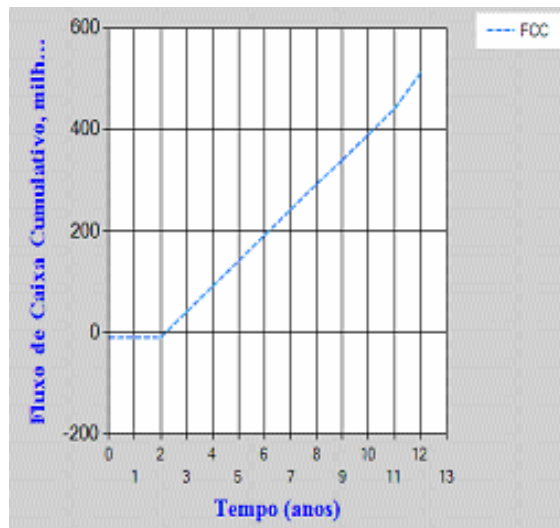


Figura 6 – Interface do aplicativo AEPQ com o fluxo de caixa do projeto.

### 3. ESTUDO DE CASO

Considere uma mistura de hidrocarbonetos contendo benzeno, tolueno e p-xileno em composições e volatilidades relativas como mostra a Tabela 2. Desejando-se separar esta mistura por destilação convencional temos duas sequências possíveis de separação como mostra a Figura 6.

Tabela 2 – Mistura de hidrocarbonetos.

|   | Componente | Composição | Volatilidade |
|---|------------|------------|--------------|
| A | Benzeno    | 0,5        | 5,3          |
| B | Tolueno    | 0,2        | 2,3          |
| C | p-Xileno   | 0,3        | 1            |

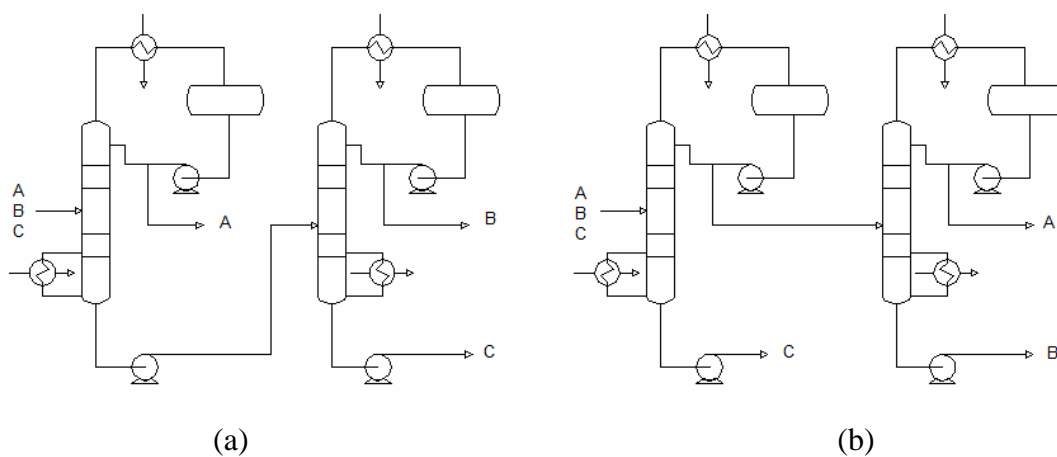


Figura 7 – Sequências de destilação (a) Direta (b) Indireta.



Em cada sequência temos os seguintes equipamentos de processos: uma torre de destilação, um vaso de refluxo, duas bombas e dois trocadores de calor. Os cálculos dos equipamentos, bomba (MATTOS & FAICO, 1998), número de pratos da coluna de destilação e diâmetro (SEADER & HENLEY, 2006), área de troca térmica (PETERS & TIMMERHAUS, 2003) e vaso de acúmulo (COPPER, 2005) foram estimados através de equações de projeto da literatura. O tipo e dimensionamento dos equipamentos para a sequência direta são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Sequência direta.

| Equipamentos     | Capacidade/Tamanho                    |                                     | Material               | Pressão Operação   |
|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
|                  | Coluna 1                              | Coluna 2                            |                        |  |
| Torre            | 22 pratos<br>D = 0,65 m<br>A = 14,0 m | 31 pratos<br>D: 0,60 m<br>A: 18,0 m | Vaso: AC<br>Pratos: AI | Topo: 10 <sup>5</sup> Pa   |
| Condensador      | 32,98 m <sup>2</sup>                  | 12,46 m <sup>2</sup>                | Tubo: AC<br>Casco: AC  | Tubo: 10 <sup>5</sup> Pa<br>Casco: 10 <sup>5</sup> Pa                        |
| Refervedor       | 45,92 m <sup>2</sup>                  | 8,33 m <sup>2</sup>                 | Tubo: AC<br>Casco: AC  | Tubo: 10 <sup>6</sup> Pa/4.10 <sup>5</sup> Pa<br>Casco: 3.10 <sup>5</sup> Pa |
| Bomba de refluxo | 270,0 W                               | 250 W                               | Ferro fundido          | Sucção 5.10 <sup>4</sup> Pa  |
| Bomba de fundo   | 270,0 W                               | 250 W                               | Ferro fundido          | Sucção 5.10 <sup>4</sup> Pa  |
| Vaso             | D: 1,52 m<br>L: 4,56 m                | D: 1,32 m<br>L: 3,95m               | Aço carbono            | 2.10 <sup>5</sup> Pa   |

\*AC – aço carbono, AI – aço inoxidável.

Inserindo os dados da Tabela 3 no aplicativo AEPQ obtemos os custo total de capital e o custo de manufatura (utilidades e mão de obra) que são comparados na Tabela 4 com a sequência indireta para as mesmas condições de alimentação.

Tabela 4 – Custos de capital e manufatura.

| Custos R\$ / ano | Sequência Direta | Sequência Indireta |
|------------------|------------------|--------------------|
| Capital          | 1.026.394        | 908632             |
| Utilidades       | 539052,42        | 887351,1           |
| Mão de obra      | 234.000          | 234.000,00         |
| Custo total      | 1.799.446,42     | 2.029.983,1        |

Os resultados da Tabela 4 mostram que a sequência direta apresenta o menor custo total anual. Este resultado está de acordo com as heurísticas de projeto que indicam retirar o componente de separação mais fácil primeiro (DOUGLAS, J.M., 1988) e retirar o componente em maior fração na alimentação primeiro (SMITH, R, 1995). Neste estudo de caso o benzeno é o componente em maior quantidade e o de separação mais fácil em relação aos outros





componentes. Entretanto existem casos em que as heurísticas se contradizem fazendo com que uma análise econômica seja necessária para a seleção do melhor projeto.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Quando se pensa em implantar um processo químico é imprescindível realizar uma análise dos custos. O aplicativo AEPQ demonstrou que é possível calcular tais custos em diversos equipamentos, de forma rápida, em um ambiente amigável para o usuário.

O estudo de caso mostrou que os custos dos equipamentos, das utilidades e da mão de obra são calculados separadamente, o que permite ter uma maior noção dos gastos parciais e do custo total obtido.

A utilização do AEPQ em disciplinas de Engenharia Química mostrou ser uma ferramenta útil para a avaliação rápida dos custos de capital e manufatura permitindo assim melhor discussão dos resultados.

Sendo que está previsto acrescentar no aplicativo AEPQ o cálculo de custos dos equipamentos como evaporadores, sopradores e turbinas. Bem como incluir uma verificação detalhada dos custos através dos critérios de avaliação econômica.

Salienta-se que a utilização do aplicativo AEPQ em sala de aula, ou na realização de trabalhos, deve auxiliar o processo de ensino-aprendizagem. De forma a complementar os conhecimentos adquiridos em disciplinas de análise econômica de projetos.

#### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem as bolsas oferecidas pela Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis e Comunitários (PRAEC/Unipampa) no Programa de Bolsas de Desenvolvimento Acadêmico (PBDA).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

COPPER, J. R., et al. Chemical Process Equipment. Selection and Design. 2. ed. Burlington, MA.: Elsevier, 2005.

DOUGLAS, J. M. Conceptual Design of Chemical Processes. New York, NY: McGraw Hill, 1988.

ICIS PRICING. Chemical price reports. Reed Business Information Limited, 2008. Disponível em: < <http://www.icispricing.com> > Acesso em: 21 mai 2012.

MATTOS, E. E., FAICO, R. Bombas Industriais. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ.: Interciência, 1998.

PETERS, M. S., et al. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 5 ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2003.

SMITH, R. Chemical Process Design. New York, NY: McGraw-Hill, 1995.

SEADER, J.D., HENLEY, J. H. Separation process principles. 2. ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2006.

TURTON, R., et al. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes. 3 ed. New Jersey, NJ: Prentice Hall, 1998.



## **TEACHING PROJECT: DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO ECONOMIC ANALYSIS OF CHEMICAL PROCESSES**

**Abstract:** *Economic evaluation of processes is an important step in the selection of an equipment or even a whole industrial plant. These evaluations are performed in different phases of a project, from conceptual to basic and the detailed study. In the Chemical Engineering disciplines like Synthesis and Process Analysis and Industrial Process Design, economic evaluations are required continuously. The literature shows a detailed methodology for the calculating engineering costs using various equations and graphs taking a very long time on preliminaries evaluations of projects. Due to the need to speed up the steps of economic calculation, a software called Economic Analysis of Chemical Processes (AEPQ) was developed to allow the determination of the costs of different equipments, as utilities costs (water, steam, air and electricity) as well as to realize a long term evaluation of project profitability. AEPQ software intends to be a tool to helping the student to perform faster evaluations so to allow more time on economic study on the selection of different process or industrial equipments.*

**Key-words:** *Economic Analysis, Costs, Industrial Projects.*