

# DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE GRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DE UM MODELO DE PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO DE REFINARIAS

**Aluno: Ivan Campello Lopes**  
**Orientador: Silvio Hamacher**

## Introdução

O método de tomada de decisões baseado em modelos de otimização que utilizam a programação matemática é cada vez mais usado. Todavia à medida que o porte dos modelos aumenta, atingindo algumas vezes milhões de variáveis e restrições, cresce também a necessidade de ferramentas para visualizar os resultados obtidos pelos otimizadores. Para o sucesso de um sistema baseado em otimização, se faz necessária a fácil compreensão por parte dos usuários finais dos resultados advindos do modelo. Usualmente estes profissionais não possuem um profundo conhecimento dos equacionamentos matemáticos ou da lógica de programação computacional aplicada, e precisam, portanto, de uma ferramenta que seja a mais prática e intuitiva possível.

O Laboratório Nexo – Núcleo de Excelência em Otimização, do Departamento de Engenharia Industrial da PUC desenvolveu um modelo de programação não-linear para o planejamento operacional de refinarias, considerando incertezas relacionadas ao abastecimento de petróleo e à capacidade das refinarias. Devido ao grande porte e complexidade deste modelo, é imprescindível o desenvolvimento de uma ferramenta que permita visualizar os dados de saída de forma clara e objetiva, não só para a interpretação dos resultados como também para a validação do modelo.

Este projeto de iniciação científica teve como principal objetivo a criação dessa interface. Cabe destacar que a representação gráfica de modelos de otimização é um campo onde ainda há muito a se realizar em termos de pesquisa.

Além disso, como objetivo secundário procurou-se obter uma maior compreensão sobre o planejamento do refino, os modelos de otimização utilizados nesses processos e a estrutura real de uma refinaria.

A estrutura deste documento é a seguinte: Primeiramente, será apresentada uma visão geral do problema, abordando alguns conceitos relacionados à cadeia do petróleo. Depois de introduzir esse assunto, será feita uma revisão bibliográfica a respeito do planejamento do refino, da topologia de uma refinaria, com suas diversas unidades e fluxos e da criação de interfaces gráficas para representação desses modelos.

Após isso, será mostrada a metodologia utilizada no projeto, ou seja, quais foram os programas escolhidos e os passos que foram tomados.

Por fim, será apresentada a interface que foi desenvolvida para o modelo, detalhando as principais facilidades criadas.

## Referencial Teórico

A cadeia de petróleo possui fases distintas, desde a fase de exploração até a distribuição dos produtos, no entanto, tais fases costumam ser integradas. As atividades que compõem a cadeia do petróleo são divididas, basicamente, em três grandes fases: *upstream*, *midstream* e *downstream*. O *upstream* é a fase inicial, ou seja, trata da parte desde a exploração de petróleo até a sua produção. Após essa fase, temos um segmento intermediário

(*midstream*), que consiste no refino do petróleo e inclui também o seu transporte do local de produção até as refinarias. Por fim, no *downstream*, sobra a tarefa de elaborar toda uma logística de transporte para levar os produtos que saem das refinarias até os seus pontos de consumo.

Para este trabalho, atenta-se para o segmento do refino, que possui uma natureza extremamente dinâmica devido ao fato de as refinarias estarem constantemente interessadas em melhorar o planejamento de suas operações. O planejamento pode ser definido como uma estratégia desenvolvida para a alocação de equipamentos, sua utilidade ou ainda para os recursos de trabalho que serão necessários ao longo do tempo para executar tarefas específicas, a fim de produzir um único produto ou vários.

Em geral, o planejamento é dividido em três categorias de acordo com o horizonte de tempo que é levado em consideração: o estratégico (tempo longo, a partir de um ano), o tático (intermediário, ou seja, um espaço de tempo de alguns meses até um ano) e o operacional (curto prazo, no máximo de três meses) (Grossmann et al., 2001). Cada uma das etapas do planejamento é responsável por tomar decisões específicas. O estratégico, por exemplo, determina a estrutura da cadeia de abastecimento (a localização da produção, a expansão da capacidade, e as decisões de investimento). O planejamento tático preocupa-se com decisões, por exemplo, sobre o transporte realizado das refinarias até os centros de consumo. Por fim, a parte operacional determina a atribuição de tarefas às unidades em cada refinaria, considerando-se recursos e limitações de tempo. As variáveis de decisão operacional envolvem a escolha dos modos de operação, o nível de estoque, e a quantidade produzida em cada unidade para atender a demanda do mercado.

As refinarias, embora possam variar em relação ao tamanho, possuem sempre um objetivo principal comum: transformar o petróleo bruto em produtos refinados de alto valor agregado, de maneira a maximizar o lucro gerado com a operação. Nesse contexto, a topologia de uma refinaria é construída visando tal objetivo. Para isso, são requeridos unidades de processo, tanques de armazenamento para produtos finais e intermediários e tubos (dutos) que fazem a ligação entre todos os componentes do local. Tais tanques e unidades de processamento são usados para misturar produtos ou ainda para produzir diversos fluxos de produtos intermediários que posteriormente poderão ser combinados, criando diferentes ofertas comerciais.

A grande dificuldade que envolve todo esse processo está no fato de que as refinarias utilizam diferentes tipos de processamentos, com inúmeras possibilidades de configurações e estruturas. Por essa razão, o refino do petróleo é considerado uma das atividades mais complexas existentes na indústria química (Khor and Elkamel, 2008).

O processo de refino que transforma o petróleo bruto em produtos comercializáveis pode ser realizado de três formas distintas:

- **Separação:** Esse processo é capaz de dividir o óleo em frações básicas ou ainda separá-lo de uma forma previamente calculada para se produzir um determinado grupo de produtos específico.
- **Conversão:** Responsável por transformar uma dada fração de produto em outra diferente, ou então modificar a estrutura molecular dessa fração.
- **Tratamento:** Remove ou ao menos reduz os contaminantes (enxofre, nitrogênio e metais) da estrutura do produto, promovendo um melhor aproveitamento dos produtos que ainda não foram finalizados.

Para se obter um bom modelo de planejamento para refinarias de petróleo deve-se tomar a decisão acertada sobre a mistura de óleo e ainda considerar uma manipulação

adequada dos fluxos intermediários de maneira que o produto final seja produzido nas quantidades e qualidades desejadas (Moro, 2000).

Decidir-se sobre o plano ideal de operações de refino e a melhor configuração para cada unidade de processo é uma tarefa difícil devido ao elevado número de variáveis e restrições presentes nesses processos. Por essa razão, a programação matemática, bem como a boa análise dos resultados apoiada pelo uso das interfaces gráficas, desempenham um papel importantíssimo na resolução deste problema, auxiliando no processo decisório.

Todas as refinarias possuem o constante objetivo de melhorar o planejamento de suas operações. Portanto, torna-se muito importante para as empresas que sejam avaliados os possíveis impactos que determinadas modificações numa refinaria podem causar para o seu desempenho global. Tais mudanças podem ocorrer nas especificações do produto final, na composição do petróleo bruto, ou ainda em qualquer outra alteração operacional, incluindo a capacidade disponível da refinaria.

Joly et al. (2002) mostraram que a integração de novas tecnologias para as operações do processo é um fator essencial de rentabilidade. A utilização de programação matemática em atividades de planejamento possui o potencial de conduzir a ganhos potenciais de US \$10 por tonelada de produto refinado (Moro, 2003) o que corresponde a um ganho de mais de cem milhões de dólares por ano em refinarias de grande porte. No entanto, tal ganho é extremamente difícil de ser alcançado devido à complexidade das atividades de refino de petróleo.

Alguns trabalhos para a otimização do planejamento operacional em refinarias podem ser citados. O modelo de programação inteira mista linear (MILP) proposto por Micheletto et al. (2007) otimiza a operação de uma refinaria no Brasil, considerando balanços de massa e energia, o modo operacional de cada unidade, e satisfação da demanda por vários períodos de tempo. Moro et al. (1998) também empregaram a programação matemática para o estudo de uma refinaria no Brasil. Eles desenvolveram um modelo de planejamento não-linear, que foi aplicada ao caso específico da produção de diesel para maximizar o lucro da refinaria.

Outras aplicações no Brasil podem ser encontradas em Neiro e Pinto (2004, 2005). Neiro e Pinto (2004) desenvolveram uma estrutura geral para a modelagem de cadeias de suprimentos de petróleo. O modelo multi-periodal de programação inteira mista não-linear (MILNP) foi testado em uma cadeia de suprimentos que considerava quatro refinarias brasileiras. Uma aplicação de programação inteira não-linear foi associada à incerteza foi investigada no trabalho de Neiro e Pinto (2005). Eles formularam um modelo estocástico multi-periodal onde a incerteza está relacionada com os preços do petróleo, dos produtos, e também à demanda do produto.

Pongsakdi et al. (2006) trataram a incerteza e riscos financeiros no planejamento de operações de uma refinaria na Tailândia usando um modelo estocástico linear de dois estágios. O problema consiste em determinar quanto de cada petróleo tinha que ser comprado e ao nível de produção antecipada de produtos diferentes com base em previsões de demanda. A incerteza foi introduzida por meio da demanda e os parâmetros de preço do produto. As decisões da primeira fase foram representadas pela quantidade de petróleo bruto comprado para cada período. Lakkhanawat e Bagajewicz (2008) estenderam o trabalho de Pongsakdi et al. (2006), integrando o preço do produto em seu estudo.

Como é possível notar, a quantidade de pesquisas já realizadas sobre o planejamento do refino é muito grande. Entretanto, o mesmo não se pode dizer da literatura relacionada à criação e uso de interfaces gráficas. Ainda assim, é possível encontrar algumas referências sobre o assunto.



Um ponto importante a ser destacado na interface de visualização de resultados é o fato de que ela foi estruturada de forma multidimensional, ou seja, é possível analisar as decisões do modelo sob diversos critérios. Por exemplo, é possível visualizar todo o fluxo de um determinado produto em um período específico apenas realizando um filtro, sem ter o trabalho de vasculhar em tabelas as informações correspondentes a esses elementos.

Tal multidimensionalidade do problema é um argumento a favor da utilização das ferramentas gráficas para análise de resultados, visto que as inúmeras combinações de dimensões do problema são muito mais facilmente analisadas com o visualizador que foi desenvolvido.

## Solução

O software escolhido para a construção da interface gráfica do PlanRef foi o Microsoft Visio®. A principal função do Visio é construir diagramas aplicados a diferentes áreas, tais como projetos de arquitetura, esquemas de produção, fluxogramas, esquemas de circuitos elétricos, redes, entre muitos outros. Tal versatilidade é obtida pelo fato de o Visio já conter em si bibliotecas (estênceis) de objetos pré-definidos para as mais diversas aplicações, cabendo ao usuário somente organizá-los da forma que lhe convier. A Figura 2 ilustra alguns objetos que foram utilizados para representar as diferentes unidades existentes em uma refinaria.



Figura 2 - Representações dos componentes de uma refinaria

O Visio, assim como todo software Microsoft Office, possui um editor de Visual Basic, onde é possível desenvolver uma rotina de programação. Nesse ambiente, foi utilizada a linguagem de programação Structured Query Language (SQL) e Visual Basic for Applications (VBA).

Outra facilidade deste software que foi utilizada para a construção da interface gráfica é a sua fácil comunicação com o Microsoft Access®. Este programa foi empregado para guardar tanto as informações de entrada, sempre utilizando tabelas vinculadas, de modo a garantir a integridade do banco, quanto as de saída, ou seja, as tabelas que continham os resultados do modelo de otimização.

Com o objetivo de armazenar as informações do projeto da melhor maneira possível e também proporcionar a integração entre o banco de dados e a representação gráfica foi adotada a seguinte estratégia de gestão de informações: para cada refinaria estudada foi criado um banco de dados principal, que contém todas as tabelas referentes à topologia da refinaria, tais como informações sobre as unidades, estoque e diversas propriedades, e também aos dados de saída do modelo. Todos esses dados possuem vínculos com outros bancos que correspondem aos diversos cenários estudados pelo projeto.

Assim como na estruturação dos bancos de dados, cada refinaria recebeu uma interface, ou seja, um arquivo Visio. Nesse arquivo, foi feito inicialmente o diagrama do esquema da refinaria, utilizando a biblioteca de objetos (Figura 2) para representar as unidades e as informações de dados de entrada advindas do banco de dados. Neste esquema os nós representam as unidades de processo e os tanques de armazenagem e os arcos direcionados mostram os possíveis fluxos de produtos entre as unidades de processo. A disposição vertical das unidades de processo e dos fluxos no diagrama foi assumida pelo critério de se colocar aquelas que carregam produtos mais leves na parte de cima do esquema, enquanto que as que contêm produtos pesados ocupam a parte de baixo. Já o posicionamento horizontal obedece a uma ordem da programação, colocando mais para esquerda aquelas unidades por onde os produtos passam primeiro.

A Figura 3 mostra o desenho feito em Visio da topologia de uma refinaria

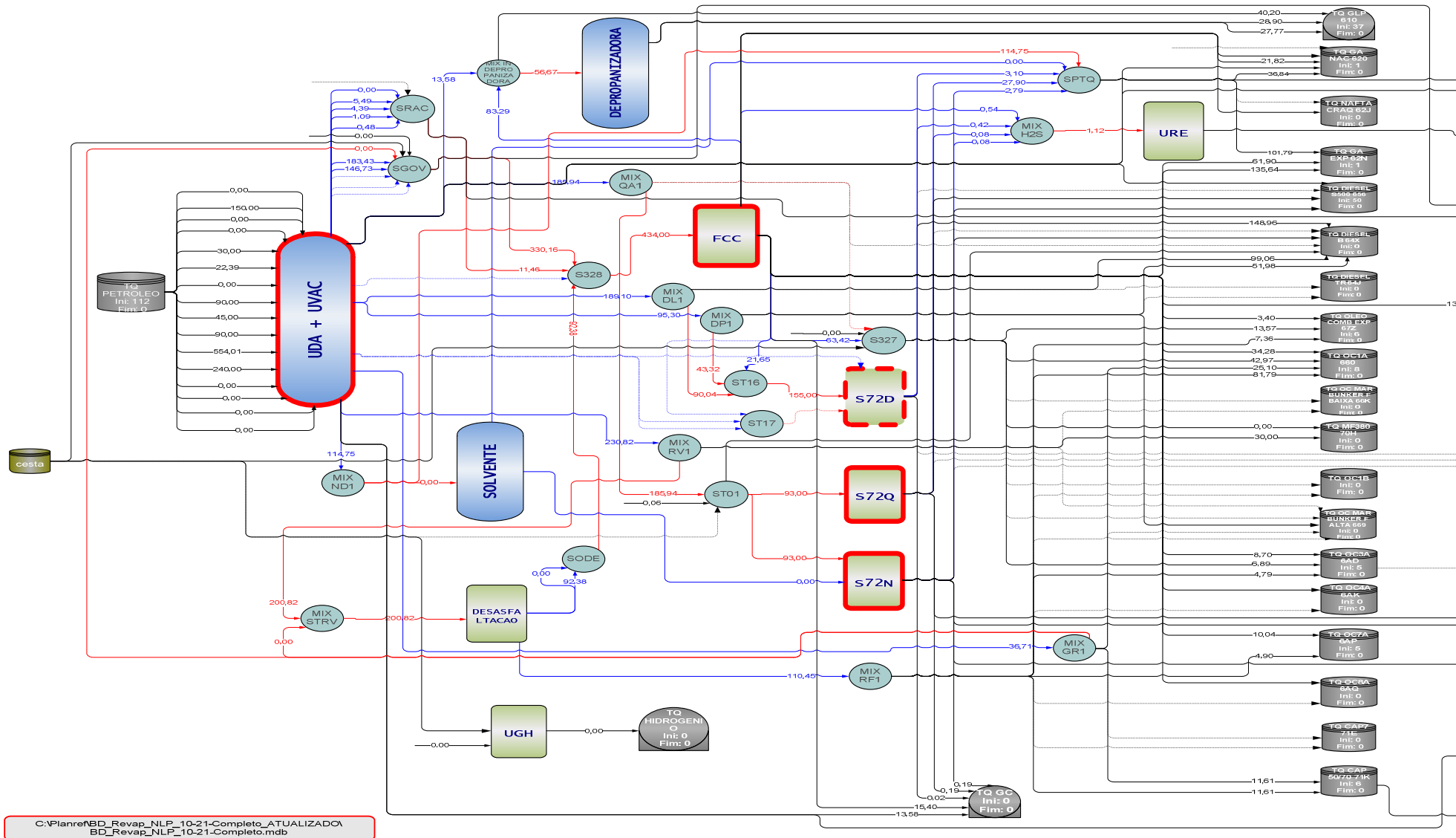


Figura 3 - Topologia da refinaria Henrique Lage (REVAP), localizada em São José dos Campos, SP.

No diagrama, observam-se todas as unidades e fluxos da REVAP, uma refinaria considerada de grande porte para os padrões brasileiros e, por isso, com uma quantidade considerável de processos químicos realizados em seu interior.

Localizando-se na metade esquerda do esquema, estão as unidades de separação, como a UDA+UVAC e a DESPROPANIZADORA. Com localização mais central, encontra-se, por exemplo, o FCC, que é um dos responsáveis pela conversão dos produtos. No último grupo, pode-se listar a S72p, a S72q e a S72n como exemplos de unidades de tratamento. Após passarem por diversos processos químicos na refinaria, os produtos chegam aos tanques finais (localizados à direita do desenho), onde serão armazenados e transportados até um ponto de entrega.

Através da interface é possível analisar todos os fluxos existentes na refinaria. Para facilitar a visualização, é escrito o valor de cada fluxo sempre que o esquema é atualizado. O valor de estoque de um produto existente numa dada unidade também é relatado no desenho pelas letras “ini” e “fim”, representando os estoques iniciais e finais. Esses valores se mostraram importantes ferramentas de validação do modelo, visto que através deles é possível verificar facilmente o balanço de massa de uma unidade em um determinado período.

Como essa questão de entrada e saída de componentes de uma unidade é algo que precisa ser muito bem controlado nos processos de refino, optou-se por circular de vermelho as unidades que receberam mais de 90% de sua capacidade máxima. Na prática, isso funciona como uma espécie de alerta para que o usuário tenha uma noção dos gargalos do processo.

Após uma visão geral de como foi feita a representação das refinarias no Visio, parte-se para uma descrição mais detalhada das facilidades que foram criadas no desenvolvimento da interface:

- **Escolha do cenário:**

Sempre que abrir o visualizador ou a qualquer momento durante a utilização do mesmo, é permitido ao usuário selecionar o cenário que deseja analisar. Essa é uma maneira eficiente de se fazer uma comparação entre os diferentes resultados que foram gerados pelos otimizadores à medida que algumas mudanças foram feitas no modelo.

- **Filtros:**

Foi criada na interface uma barra de ferramentas chamada PLANREF com a função de proporcionar ao usuário uma análise mais específica da solução. No sistema é fornecida ao usuário a opção de escolha de filtrar determinadas propriedades e produtos, ou ainda decidir-se sobre qual o período que deseja analisar. Com a ajuda dessa ferramenta, a possibilidade de serem apresentadas informações desnecessárias diminui muito.

Na Figura 4 é mostrada a barra de ferramentas PLANREF, criada exclusivamente para o sistema.

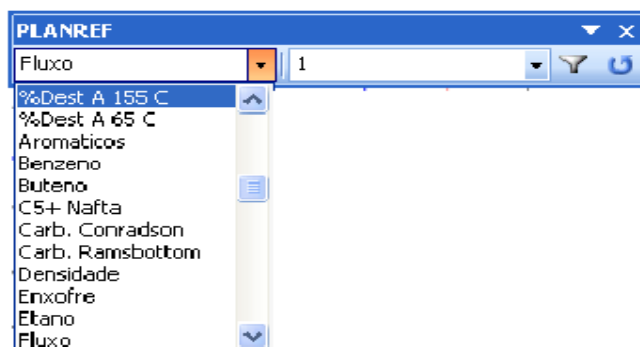


Figura 4 - Barra de ferramentas PLANREF com as opções de filtragem

- **Informações dos Arcos:**

A fim de não poluir demais o desenho, os fluxos que possuíam a mesma origem e o mesmo destino foram todos agregados em um só. Assim, o número mostrado nesse arco pelo esquema representa a soma de todos os fluxos que ali se encontram.

No entanto, muitas vezes interessa ao usuário analisar de maneira individualizada as correntes agregadas. Por essa razão, foi criada a função de duplo-clique no arco, onde é apresentado um formulário com todas as informações existentes sobre o fluxo escolhido, separando as propriedades, seus valores e seus respectivos fluxos que antes eram vistos somados.

Para mostrar esse tipo de informação, foram programadas consultas em tempo real de execução, ou seja, quando o usuário decide qual fluxo ele deseja analisar aprofundadamente, o programa gera uma rotina utilizando as linguagens VBA e SQL para obter as informações no banco de dados e apresentá-las no esquema.

A figura 5 mostra um formulário de um determinado arco.

	A	B	C	D	E
1	Corrente	Nome da Propriedade	Propriedade	Fluxo	Propriedade Total
2	GP1	Buteno	32,07294083	2,42127E-07	7,76574E-06
3	GP1	Densidade	0,56220001	2,42127E-07	1,36124E-07
4	GP1	Enxofre	1E-04	2,42127E-07	2,42127E-11
5	GP1	Iso Butano	14,66458511	2,42127E-07	3,5507E-06
6	GP1	n Butano	16,50600624	2,42127E-07	3,99656E-06
7	GP1	Pressao Vapor Reid	10,39999962	2,42127E-07	2,51813E-06
8	GP1	Propano	9,677651405	2,42127E-07	2,34323E-06
9	GP1	Propeno	27,07881355	2,42127E-07	6,55653E-06
10	LN1	Enxofre	0,005687035	24,34690698	0,138461716
11	LN1	Iso Butano	2,799999952	24,34690698	68,17133838
12	LN1	n Butano	6,300000191	24,34690698	153,3855186
13	LN1	Octanagem DON	55,67398071	24,34690698	1355,48923

Figura 5 - Formulário exibido quando se deseja analisar os fluxos e propriedades existentes de maneira individualizada

- **Informações das Unidades**

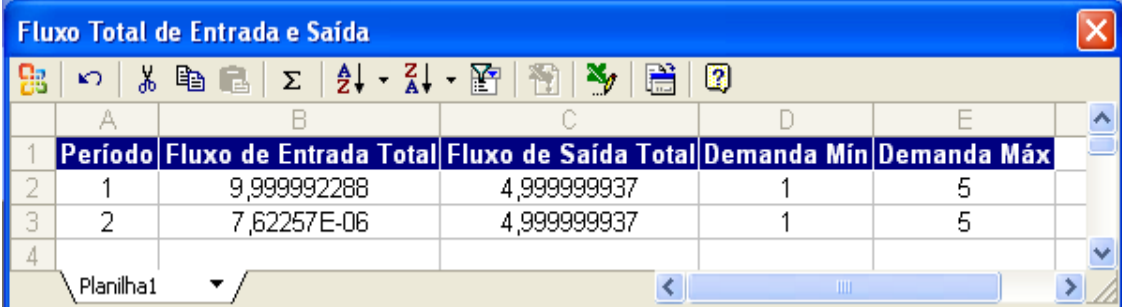
As unidades carregam importantes informações que estão relacionadas ao seu desempenho global, ou seja, analisando de uma só vez todos os períodos considerados e tendo, assim, a oportunidade de observar se existe qualquer tipo de problema em um dado período do modelo.

Como a lógica da interface é de analisar um período por vez, optou-se por desenvolver o duplo-clique da unidade, que fornece as informações de fluxos de

entrada e saída, bem como suas capacidades (ou demandas, no caso dos tanques finais) mínimas e máximas, para todos os períodos.

Assim como nas informações dos arcos, também é gerada uma rotina de programação para extrair os dados necessários do banco utilizado.

A Figura 6 revela a maneira como essa informação é apresentada ao usuário.



	A	B	C	D	E
1	Período	Fluxo de Entrada Total	Fluxo de Saída Total	Demanda Mín	Demanda Máx
2	1	9,999992288	4,999999937	1	5
3	2	7,62257E-06	4,999999937	1	5
4					

Figura 6 - Formulário referente a um tanque final.

## Conclusões

Ao final desse projeto, pode-se concluir que, de fato, a interface gráfica desenvolvida foi muito útil tanto para a validação do modelo, quanto para análise dos resultados gerados.

O software Visio se mostrou bastante eficiente. Sua facilidade em construir diagramas usando uma biblioteca de objetos particular foi de grande utilidade para que as refinarias pudessem ser representadas da melhor maneira possível. Além disso, seu ambiente de programação se adaptou perfeitamente à estrutura do sistema, visto que a comunicação com o banco de dados em Access se deu de forma bem simples.

Há de se destacar as consultas realizadas em tempo real, que proporcionaram ao esquema mostrar um conjunto de informações que não teriam sentido se fossem estáticos no desenho.

Em relação ao estudo sobre o planejamento do refino, pode-se dizer que o conhecimento adquirido ao longo do projeto foi bastante proveitoso.

A complexidade envolvida nos processos de refino faz com que os estudos nesse campo cresçam exponencialmente. Espera-se que com tal avanço, desenvolva-se também a técnica de construção das interfaces gráficas.

## Referências

**Draman, M., Altinel, K., Bajgoric, N., Ünal, A., Birgören, B.** (2001) A clone-based graphical modeler and mathematical model generator for optimal production planning in process industries

**Grossmann, I. E., van den Heever, S. A., and Harjunkski, I.** (2001), Discrete optimization methods and their role in the integration of planning and scheduling, *Proceedings of Chemical Process Control Conference 6*, Tucson (<http://egon.cheme.cmu.edu/papers.html>).

**Joly, M., Moro, L. F. L., and Pinto, J. M.** (2002), Planning and scheduling for petroleum refineries using mathematical programming, *Brazilian Journal of Chem. Eng.*, 19, 207.

**JONES, C. V.** (2004) Visualization and optimization. *Operational Research Society of America* v.6, n.3, p.221-257.

**Khor, C.S. and Elkamel, A.** (2008). “Optimization Strategies: Petroleum Refinery Planning under Uncertainty”, VDM Verlag Dr. Mueller e.K Publishing House, ISBN-10: 3836477920, ISBN-13: 978-3836477925, 328 pages.

**Lakkhanawat, H. and Bagajewicz, M.J.** (2008), Financial Risk Management with Product Pricing in the Planning of Refinery Operations, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47(17), 6622–6639.

**Micheletto, S., Carvalho, M., and Pinto, J.** (2007), Operational optimization of the utility system of an oil refinery, *Computers and Chemical Engineering*, 32(1-2), 170-185.

**Moro, L., Zanin, A., and Pinto, J.** (1998), A planning model for refinery diesel production, *Computers and Chemical Engineering*, 22, 1039-1042.

**Moro, L. F. L.** *Mixed Integer Optimization Techniques for Planning and Scheduling Production in Oil Refineries*, Ph. D. thesis – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química, 2000.

**Moro, L. F. L.** (2003), Process Technology in the Petroleum Refining Industry – current situation and future trends, *Computers and Chemical Engineering*, 27(8), 1303-1305.

**Neiro, S. and Pinto, J.** (2004), A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains, *Computers and Chem. Engineering*, 28, 6-7, 871-896.

**Neiro, S. and Pinto, J.** (2005), Multiperiod Optimization for Production Planning of Petroleum Refineries, *Chemical Engineering Communications*, 192, 1, 62-88.

**Nunes, P., Oliveira, F., Hamacher, S., Hamacher, P., Teixeira, W., Munck, F** (2010) Análise do Planejamento de Abastecimento da Cadeia de Petróleo do Brasil.

**Oliveira, F. ; Hamacher, S** (2007). Desenvolvimento de uma ferramenta gráfica para sistemas de otimização do abastecimento de petróleo e derivados. *XXXIX SBPO - Simpósio da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional*.

**Pongsakdi, A. Rangsunvigit, P., Siemanond, K., and Bagajewicz, M.J.** (2006), Financial risk management in the planning of refinery operations, *International Journal of Production Economics*, 103, 64-86.