

PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO POR SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO PARA UM CONJUNTO REGIONAL DE REFINARIAS

Claudio Limoeiro

Petrobras

Av Almirante Barroso, 81 - 19o. andar
Rio de Janeiro, RJ
claudiolimoeiro@petrobras.com.br

Daniel Barry Fuller

Petrobras

Av Almirante Barroso, 81 - 19o. andar
Rio de Janeiro, RJ
fullerdb@petrobras.com.br

Barbara Pereira

Petrobras

Av Almirante Barroso, 81 - 19o. andar
Rio de Janeiro, RJ
barbara.pereira@petrobras.com.br

Guilherme Barbosa

Petrobras

Av. República do Chile, 65 Sala 2102
Rio de Janeiro, RJ
gaquibar@petrobras.com.br

RESUMO

Esse artigo descreve as linhas-guia de um processo genérico usado em uma companhia de petróleo para avaliar, por simulação, os impactos de investimentos em refinarias e suas cadeias de suprimento, que são, geralmente, compostas por transporte de petróleo por navios e dutos e seu armazenamento em tanques tanto das refinarias quanto de terminais. O processo apresentado cobre a modelagem conceitual, a implementação do programa, a validação da simulação e a análise dos resultados. O problema real e complexo que gerou essa iniciativa foi a necessidade de avaliar os impactos que poderiam resultar de novos investimentos em refinarias e terminais da região sudeste, que formam uma cadeia de suprimento única e integrada.

PALAVRAS-CHAVE. Petróleo e Gás, Tanques, Simulação.

Área principal: Petróleo e Gás.

ABSTRACT

This paper describes the guide-lines of a general process used in an oil company to evaluate through simulation the impacts of refineries' investments in their supply-chain, which is typically composed of oil transportation by ships and pipelines and storage in oil tanks located both in the refineries and in terminals. The presented process covers the conceptual modeling, the software implementation, the validation of simulation and the analysis of the results. The real and complex problem that provoked this initiative was the need to evaluate impacts that could result from new investments in the refineries and terminals of the southeast of Brazil that form a single, integrated supply-chain.

KEYWORDS. Oil and Gas, Tanks, Simulation.

Área principal: Oil and Gas.

1. Introdução

Os estudos realizados pela PETROBRAS para o planejamento de investimentos em tancagens de refinarias e terminais, freqüentemente, utilizam programas de simulação (ver, por exemplo, Barbosa et al. (2007) e Limoeiro et al. (2007)).

Neste trabalho, os investimentos contemplavam mudanças em duas refinarias existentes na região sudeste, sendo uma no Rio de Janeiro, junto à costa, e outra no interior, em Minas Gerais, e a construção de uma nova refinaria, também no Rio de Janeiro, com ênfase na produção de petroquímicos.

A preocupação com a necessidade dos investimentos nas refinarias produzirem os retornos esperados sugeria a realização de estudos para analisar como o sistema logístico da região funcionaria no futuro. Especialmente porque as características geográficas e os recursos disponíveis para a movimentação de petróleo formam um sistema logístico inter-relacionado de suprimento para as refinarias que precisa ser operado de modo integrado e com muita eficiência.

Atualmente, o compartilhamento de recursos e instalações entre apenas duas refinarias não causa maiores problemas. Contudo, temia-se que, após a implantação dos investimentos planejados e com o declínio de produção da principal fonte de petróleo, que precisará ser substituída, os meios disponíveis para o suprimento e armazenagem de petróleo tornar-se-iam críticos. Esta impressão foi confirmado pelo estudo realizado, mas alternativas viáveis foram propostas.

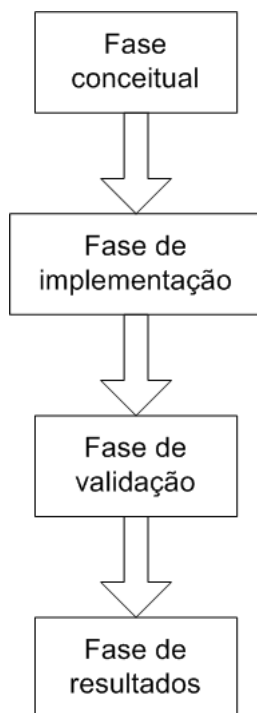


Figura 1. Processo de desenvolvimento da simulação.

Outro fator considerado foi o compartilhamento dos recursos de suprimento de petróleo com exportações e cabotagem, cada vez mais realizadas no maior terminal marítimo da região, localizado em Angra dos Reis.

Sendo assim, foi necessário estudar alternativas para enfrentar este futuro problema, que pode ser caracterizado como de dimensionamento de recursos.

A questão fundamental do estudo pode ser explicitada como:

dimensionar o sistema logístico de movimentação de petróleo numa região limitada onde é preciso ser capaz de abastecer plena e equilibradamente três refinarias e minimizar os impactos nas operações de exportação e cabotagem de petróleo que existem na região e não se destinam ao suprimento das refinarias.

O processo de construção da ferramenta de simulação para analisar o problema consistiu em detalhar seu contexto, sua logística e suas implicações geográficas. Na sua implementação, utilizou-se códigos genéricos de uma família de modelos, muito utilizada para avaliar tancagem nas refinarias da empresa, conjugadas com rotinas usadas e testadas originalmente em outros estudos que tratavam de operação de navios em portos. Complementou-se a modelagem com rotinas novas que tratavam da interligação dos elementos geograficamente distantes do sistema através de dutos.

O processo de desenvolvimento foi validado a cada etapa de sua implementação e suas principais fases, que serão detalhadas ao longo do artigo, podem ser observadas na figura 1 e discutidas nas seções 3, 4, 5 e 6.

2. O sistema real estudado

Antes de se apresentar o estudo, é necessário mostrar o sistema estudado.

Ele é um conjunto regional integrado de plantas que compartilham vários recursos para abastecer refinarias e realizar operações logísticas. Há um esquema na figura 2.

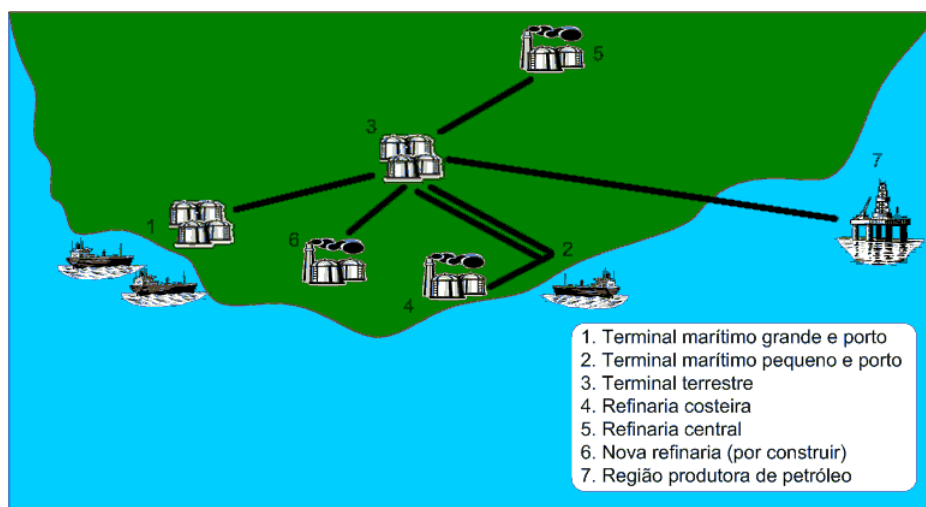


Figura 2. Esquema do sistema real.

Os elementos e funcionalidades desse sistema podem ser assim explicados:

- Os petróleos para alimentar as refinarias são recebidos por dois terminais marítimos e um duto terrestre proveniente de uma região produtora na Bacia de Campos. Esse duto é, atualmente, a principal fonte de petróleo para as refinarias, porém a produção de seus campos está em declínio.
- Um dos terminais marítimos é de porte pequeno no tocante a petróleo, pois sua principal função é a movimentação de derivados, e localiza-se junto à refinaria próxima à costa. Apesar de poder descarregar petróleo, esse terminal não possui tanques para armazená-lo, devendo enviá-lo prontamente para sua refinaria de destino.

- O outro terminal marítimo é de grande porte. Ele está ligado ao restante do sistema regional de abastecimento de petróleo por um duto que transporta os óleos até o terminal terrestre. Este terminal marítimo opera principalmente com petróleo e sua principal função atualmente é servir como entreposto logístico, recebendo petróleo das regiões de produção e despachando-o para outros lugares via cabotagem ou exportação. O carregamento pode ser realizado tanto a partir dos seus tanques quanto por transbordo entre navios usando seus berços. Este terminal envia pouco petróleo para suprir as refinarias atualmente; apenas um grupo de petróleos importados leves. Contudo, esses petróleos são entregues por navios grandes, que mantêm os berços do terminal ocupados por muito tempo.
- O terminal terrestre localizado no Rio de Janeiro:
 - está interligado por duto ao maior terminal marítimo;
 - possui tanques para petróleo;
 - fica junto à refinaria da costa;
 - funciona como o principal centro de distribuição de petróleo na estrutura de abastecimento das três refinarias;
 - pode receber petróleo de qualquer um dos três pontos de entrada do sistema: do duto que vem da região de produção ou por duto dos terminais marítimos;
 - pode distribuir o petróleo através de dutos para as duas refinarias existentes e, no futuro, para aquela que será construída.
- Dutos transportam o petróleo em bateladas — geralmente com o volume do tanque de destino — entre as refinarias e terminais do sistema. Eles são reservados para petróleo e seus comprimentos variam entre 10 e 300 quilômetros.

3. Concepção do modelo

Na primeira fase do estudo por simulação, desenvolveu-se uma modelagem conceitual a partir de discussões sobre o sistema com a equipe envolvida em sua operação. Com este modelo, foram identificados os elementos que deveriam ser examinados pelo estudo por simulação.

Como o sistema a ser simulado é altamente complexo, o modelo conceitual é fundamental (Balci e Ormsby, 2007), por resumir organizadamente o que é importante para o sistema e ser a base para sua implementação. Os elementos necessários podem ser sintetizados na seguinte lista:

- quantidade e características de cada conjunto de tanques;
- finalidade de cada especificação de petróleo;
- características das frotas de navios;
- vazões dos dutos ou de transferências entre tanques;
- parâmetros para definir a seqüência de bateladas no interior dos dutos;
- tolerâncias na programação de chegada dos navios;

- regras de operação dos elementos do sistema.

As interações entre esses elementos podem ser representadas pela arquitetura de informação capaz de suportar o programa de simulação mostrada na figura 3.

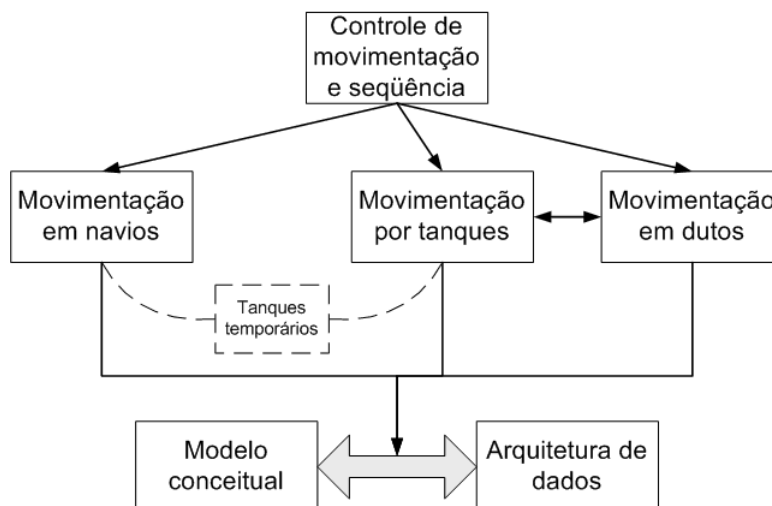


Figura 3. Arquitetura do modelo conceitual.

Nessa estrutura, os elementos que armazenam o petróleo são os tanques, que o fazem de modo estático, e os dutos, que o fazem de forma dinâmica.

Os mecanismos de fluxo de matéria são genericamente abordados como operações de movimentação entre recipientes e, conceitualmente, podem ser definidos dois grupos:

- Transferência de petróleo entre tanques: onde as regras determinam prioridades, estados, quais tanques estão envolvidos e os momentos de início e fim do processo. Cabe ressaltar que navios atracados nos píeres podem ser considerados tanques temporários e as unidades de destilação das refinarias, tanques sumidouros;
- Movimentação de petróleo através de dutos: Embora exista um tanque em cada extremo, o volume contido no duto é significativo e, em muitos casos, múltiplas bateladas, com especificações e destinos diferentes, coexistem em seu interior. Esse fato obriga que se tome e controle uma decisão de sequência a cada vez que se define que uma batelada vai passar pelo o duto.

Os tanques podem ser visualizados em duas camadas.

- Os parques de tanques (camada superior), que são conjuntos de tanques com as mesmas funções e regras e reunidos no mesmo local;
- Os tanques individualizados (camada inferior) que seguem as regras do parque a que pertencem, mas possuem atributos e estados próprios.

O modelo conceitual também inclui definições dos mecanismos que acionam o processamento do programa de simulação.

O principal mecanismo que puxa o processamento do modelo é a produção das refinarias, que tem pouca complexidade, sendo representada apenas como uma retirada contínua do volume a ser processado nas torres de destilação.

O principal fator que empurra o processamento do modelo são as chegadas de navios de petróleo no terminal marítimo maior, cujas frequência e carga possuem incertezas. Tal processo é complexo e cabe lembrar que, independentemente do consumo das refinarias, é preciso receber o petróleo das regiões produtoras, dando destino a eles através de operações de transbordo, exportação e cabotagem, que usam os píeres e tanques do terminal.

Outros fatores que empurram o modelo são menos importantes, mas não podem ser desconsiderados. Um deles é a chegada constante de petróleo pelo duto que vem diretamente da região de produção e o outro é a chegada de petróleo pelo terminal marítimo menor, que também vem das regiões de produção, mas apenas complementa o serviço do outro terminal.

Ao final da modelagem conceitual, pode-se compreender que a estrutura de funcionamento do conjunto operacional regional, com seus relacionamentos intrínsecos, assemelha-se, apesar de sua geografia, a um sistema hidráulico, onde qualquer volume de petróleo que entre ou saia do contexto tem influência imediata em boa parte do sistema.

O fluxograma geral do modelo do sistema estudado pode ser visto na figura 4.

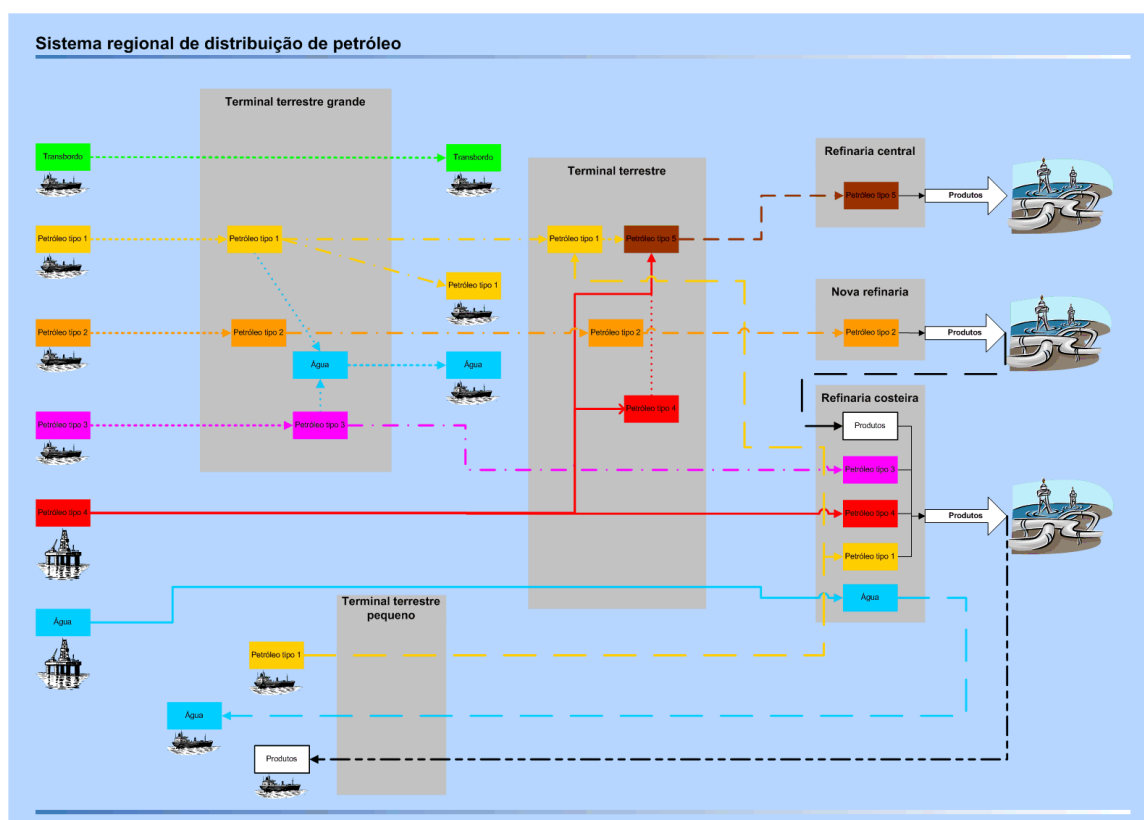


Figura 4. Fluxograma geral do modelo.

4. Implementação do programa de simulação

A implementação do modelo conceitual consiste na configuração de um programa genérico que foi construído ao longo de vários estudos e continua em constante evolução. Neste estudo, por exemplo, foi testada e aprovada uma nova abordagem para representar movimentações por duto entre parques de tanques geograficamente distantes.

A figura 5 mostra o fluxograma básico do programa de simulação, cuja estrutura é mostrada na figura 6.

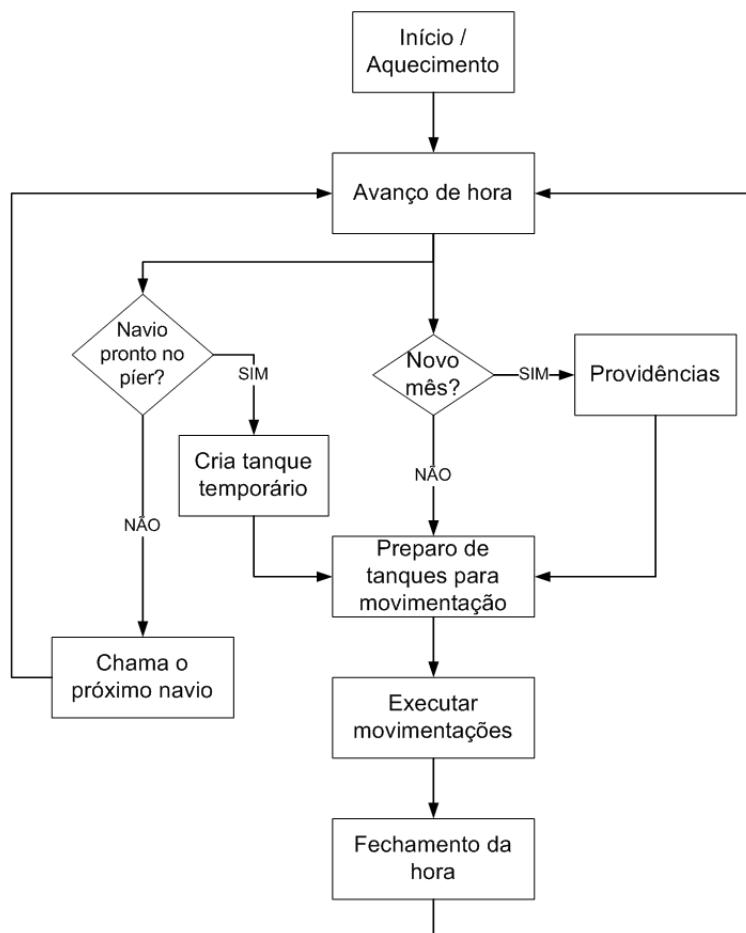


Figura 5. Fluxograma do programa de simulação.

As etapas seguidas na configuração do programa de simulação podem ser divididas em:

1. Levantamento de dados, em que foram buscadas e analisadas informações sobre:
 - especificações de petróleo;
 - descrição detalhada dos parques de tanques;
 - vazões de carga e descarga de navios;
 - vazões de dutos e transferências intra-terminais;
 - tempos de repouso de petróleo em tanques;
 - taxas de falhas em dutos;
 - intervalos de chegadas de navios e volumes transportados.
2. Detalhamento das operações e suas regras: foram mapeadas e representadas todas as operações referentes a transferências entre tanques, descarga e carga de navios, funcionamento das destilações e movimentação de bateladas de petróleo através dos dutos.
3. Construção de um modelo de dados representando as entidades e relacionamentos.

4. Cálculo consistente do balanço dos volumes de petróleos a serem movimentados e consumidos pelos terminais, refinarias e dutos no processamento do modelo.
5. Definição das variáveis de saída do modelo:
 - Ocupação das destilações: mede, em percentuais, qual é o nível de produção atingível pelas refinarias; busca-se valores tão próximos de 100% quanto possível e um equilíbrio entre todas as refinarias;
 - Falta de estoque pronto: mede períodos em que não houve estoque disponível para uso;
 - Ocupação dos píeres: mede o nível de ocupação dos píeres;
 - Ocupação dos dutos: mede o nível de uso dos dutos;
 - Dificuldades de descarga: mede o volume que precisa ser desviado de seu destino original por falta de capacidade para recebê-lo;
 - Ocupação crítica da tancagem: percentual do tempo que os tanques de um parque ficam ocupados acima de 80% de sua capacidade;
 - Número de navios descarregados: separados por especificação de petróleo e local de destino. Este número é comparado ao número previsto de chegadas;
 - Tempo de sobreestadia em cada porto: tempo perdido pelos navios nos portos acima do tempo necessário;
 - Estoque médio: média dos estoques de cada parques de tanques.
6. Configuração do programa: o software utilizado para desenvolver o programa genérico configurável foi o PROMODEL, carregando dados de planilhas do MS-EXCEL. O processamento do modelo é horário, com horizonte de cada replicação de um ano. As metas de programação de processamento de petróleo inseridas no modelo correspondem a períodos mensais.

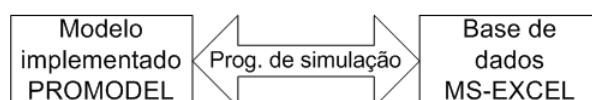


Figura 6. Programa de simulação genérico e configurável.

5. Estratégia para verificação e validação do modelo e do programa de simulação

Após a conclusão da configuração do programa de acordo com o modelo, foram realizados testes gerais de verificação e validação com várias combinações de parâmetros, às vezes propositalmente impossíveis, para comprovar que as rotinas de processamento, elaboradas com o maior grau de generalização possível e adaptadas à situação estudada, estavam consistentes e poderiam, portanto, ser usadas em estudos tanto das condições do momento atual quanto para condições futuras.

A última etapa para a completa validação do modelo conceitual foi alimentá-lo com os parâmetros relativos ao estado do sistema na época em que os dados usados na elaboração do modelo haviam sido levantados e comparar os resultados obtidos com os resultados históricos do sistema real. A comparação foi considerada capaz de validar o modelo completamente.

A verificação e a validação foram feitas em conjunto entre a equipe envolvida com a operação do sistema e a equipe de desenvolvimento da simulação, como mostra a figura 7.

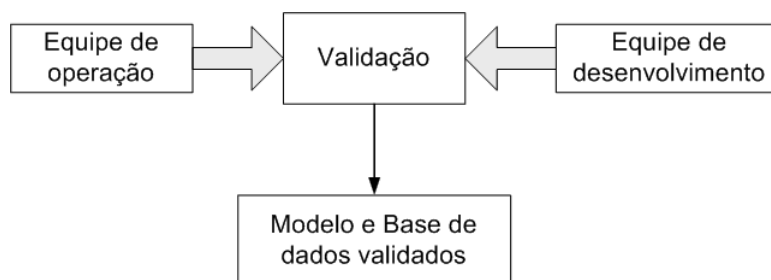


Figura 7. Validação do programa de simulação.

Com a versão inicial do programa de simulação aprovada, passou-se a ter uma base confiável a partir da qual as versões que incorporavam os investimentos futuros puderam ser configuradas tendo-se confiança que seus resultados eram seguros e representavam a evolução do sistema com os investimentos programados.

Cabe ressaltar os benefícios advindos da validação da simulação através da comparação direta com os resultados históricos do sistema real:

- forneceu uma base de comparação para as versões do programa que incorporavam investimentos futuros, o que permitiu detectar tendências nas interações entre os elementos do sistema que pudessem gerar gargalos operacionais;
- ajudou as diversas equipes responsáveis por diferentes investimentos a compreenderem-se e colaborar para obter o melhor resultado para a empresa como um todo.

6. Processamento da simulação e busca de resultados melhores

Com o modelo e programa de simulação implementados e validados, pôde-se partir para a análise dos resultados e busca de soluções para as dificuldades observadas.

O primeiro momento futuro que decidiu-se analisar foi cinco anos à frente. Configurou-se, então, uma segunda versão do programa inserindo-se as informações referentes à nova refinaria, às receitas futuras para carga de petróleo nas destilações das refinarias existentes e os ajustes na programação de suprimento feitos tanto via terminais marítimos quanto o recebimento pelo duto vindo da região de produção. Também foi incluída uma primeira estimativa de recursos adicionais contemplando aumento de vazão nos dutos e terminais e a construção de novos tanques.

Desse modo, quando o balanço de volumes para o modelo foi atualizado, pode-se constatar o significativo aumento de importância do terminal marítimo maior para o suprimento das refinarias; o que, conseqüentemente, tornou mais crítica a operação do duto que liga esse terminal ao restante do sistema. Esse terminal substituirá o duto da região produtora em declínio como a fonte mais importante de petróleo para as refinarias.

Sendo assim, puderam ser definidos três esquemas operacionais focados na importância logística do terminal maior e sua associação ao outro, menor, que funciona como seu complemento.

A seguir, foi realizado o primeiro processamento dos esquemas definidos, cujos resultados não atenderam às expectativas, ou seja, as ocupações das destilações das refinarias estavam abaixo do nível satisfatório e desbalanceados entre as refinarias.

A partir desse ponto, a estratégia passou a ser a de usar o programa de simulação como uma ferramenta de busca por uma configuração viável para a operação do sistema

logístico após a entrada em operação dos novos investimentos. Os três esquemas operacionais foram mantidos até o fim da busca.

A figura 8 mostra o processo geral da busca por resultados melhores.

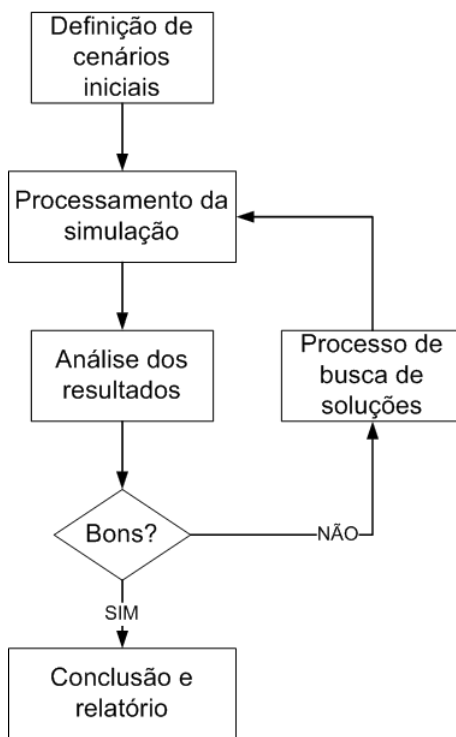


Figura 8. Busca por resultados melhores.

O processo de busca por uma situação aceitável consistiu em realizar uma série de ações, como aumento do número de tanques, aumento de vazões e melhoria da programação de chegadas dos navios, o que definiu vários cenários a serem testados.

A definição de novos cenários foi feita em duas etapas. A primeira etapa buscava, através da evolução por estágios acumulativos, a obtenção de uma solução viável. O algoritmo dessa primeira fase pode ser detalhado assim:

1. analisar os resultados de um estágio e avaliar qual deles parece indicar o maior gargalo;
2. melhorar, caso possível, o ponto do aparente gargalo, através do aumento da capacidade do recurso associado ou alterando práticas operacionais;
3. processar novamente o modelo e, caso não se consiga êxito, repetir o processo até que não se consiga mais melhora alguma.

A segunda etapa só foi realizada depois que se obteve êxito na primeira. Nela, fez-se uma análise de sensibilidade das ações tomadas na primeira etapa. A razão desta segunda etapa foi que, durante a primeira, a ordem de inclusão das melhorias poderia não ter sido a melhor, resultando na inclusão de ações com pouco impacto no resultado final.

Assim, a segunda etapa consistiu em testar algumas das ações tomadas na primeira etapa para decidir sobre sua permanência ou exclusão. Evidentemente, os passos que foram examinados prioritariamente foram aqueles onde a melhoria relativa foi pequena, que

inseriram ações custosas ou que pudessem prejudicar operações logísticas que se desejava preservar. A segunda etapa foi concluída quando todas as ações suspeitas foram avaliadas.

A figura 9 mostra as duas etapas do processo de definição de novos cenários a serem testados na busca por melhorias.

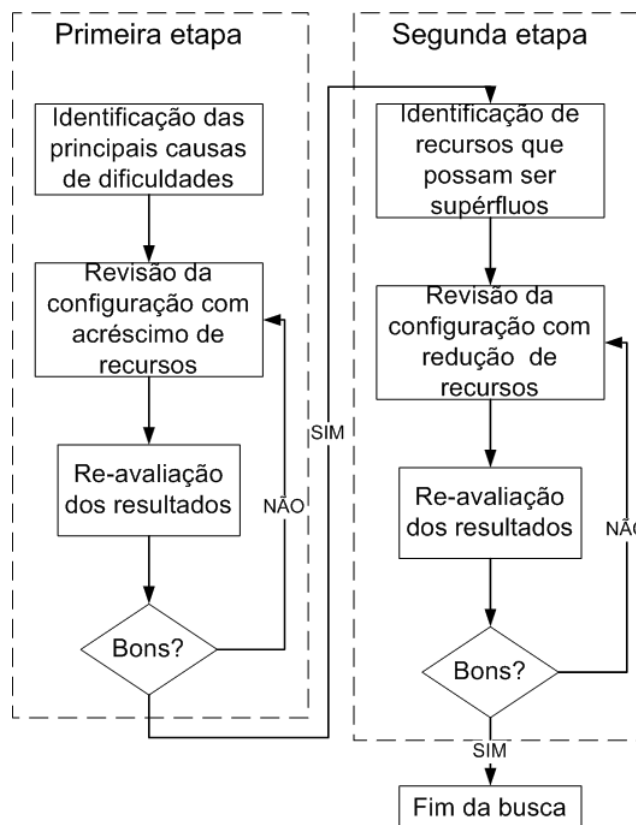


Figura 9. Definição de cenários em duas etapas.

Na execução das duas etapas do processo de definição de cenários, foi fundamental analisar as variáveis de saída de acordo com sua importância relativa.

7. Resultados finais e conclusão

Com o processo de dimensionamento concluído, chegou-se aos resultados finais que indicaram que dois dos três esquemas poderiam ser considerados aceitáveis, enquanto o terceiro possuía restrições.

“Aceitável” significa que as três refinarias atingiram níveis médios de ocupação das destilações próximos entre si (equilibrados) e da ordem de pelo menos 95%. Quanto às operações logísticas no terminal maior, que usam petróleos não destinados às refinarias, observou-se que elas poderiam, com alguma dificuldade, ser mantidas em níveis próximos ao atual.

Alguns resultados ilustrativos estão na tabela 1 como exemplo.

Dos dados da tabela 1, pode-se observar que, devido ao desequilíbrio, mostrado pela diferença entre as ocupações máximas e mínimas dos níveis de ocupação das refinarias, o suprimento de uma delas seria prejudicado no Esquema 2 mesmo após a busca por melhorias.

Tabela 1. Resultados ilustrativos. São apresentados alguns resultados obtidos inicialmente e seus resultados correspondentes obtidos depois da busca por melhorias.

	Esquema	Ocupação das destilações			Transbordo	Exportação
		Mínimo	Máximo	Média		
Pré-busca	1	81,5%	98,1%	87,4%	87%	75%
	2	73,5%	89,9%	80,3%	85%	75%
	3	77,2%	87,6%	81,8%	87%	73%
Pós-busca	1	94,5%	96,8%	95,6%	91%	83%
	2	92,2%	97,6%	94,7%	91%	90%
	3	96,2%	96,6%	96,4%	87%	88%

Algumas das ações recomendadas foram:

- aumento do número de tanques nos terminais e refinarias;
- organização da logística dos navios com baixa tolerância a desvios de programação para manter o nível atual das operações de transbordo e exportação de petróleo;
- sugerir o uso de frotas de navios mais adequadas às operações.

Quanto às possibilidades futuras deste tipo de estudo, existe uma grande perspectiva no sentido de aplicá-lo para estudar novos eventos que poderão ocorrer na região depois do prazo inicial de cinco anos, como novos investimentos ou a provável mudança de elencos de petróleo nas refinarias.

Além disso, seu caráter genérico permite que ele seja aplicável a várias outras situações de planejamento de investimentos em outras refinarias ou regiões.

Concluindo, o desenvolvimento deste estudo de simulação contribuiu para a consolidação de três estratégias já utilizadas pela equipe há algum tempo:

1. abordagem genérica quando o modelo tem que representar operações que envolvam tanques de armazenamento de petróleo e derivados líquidos.
2. associação de modelos com transferências entre tanques e navios através do uso de tanques temporários.
3. o processo de busca de melhorias com base em uma análise iterativa e acumulativa e em análise de sensibilidade.

Referências

- Balci, O. e Ormsby, W. F. (2007), “Conceptual modeling for designing large-scale simulations”, *Journal of Simulation* **I**(3), 175–186.
- Barbosa, G., Tito, M., Fuller, D. B. e Limoeiro, C. (2007), Use of simulation model to evaluate the use of vegetable oil in a new refining process for diesel using existing installations, in “IASH 2009 Conference”, IASH, Tucson, Arizona, U.S.A.
- Limoeiro, C., Barbosa, G., Lima, M., Bezerra, D. e Fuller, D. B. (2007), Planejamento de capacidade de tancagem numa refinaria de petróleo para atender o projeto de duplicação da unidade de lubrificantes usando simulação estocástica, in “Anais do SBPO 2007”, Sobrapo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.