



MODELO DE SIMULAÇÃO PARA UMA REDE REGIONAL DE DUTOS DE DERIVADOS DE PETRÓLEO CONSIDERANDO SEQUENCIAMENTO DE BATELADAS E CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO RESTRITA

Rafael F. S. Costa

Angelo Antonio de Miranda Freitas

Petróleo Brasileiro S.A.

Av. Henrique Valadares, 28 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil 202031-030

rafael.florencio@petrobras.com.br

angelof@petrobras.com.br

Celso F. Araujo F.

Claudio Duarte Pinto Limoeiro

Daniel Barry Fuller

Petróleo Brasileiro S.A.

Av. Nilo Peçanha, 151 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil 22020-100

celsoaf@petrobras.com.br

claudiolimoeiro@petrobras.com.br

fullerdb@petrobras.com.br

RESUMO

Empresas de petróleo frequentemente usam dutos para transferir e distribuir seus produtos. Em um contexto altamente integrado e geograficamente desafiador, isso pode resultar em sistemas logísticos complexos. Polidutos podem transportar múltiplos produtos e conectam tanques, formando um ambiente particular e autocontido onde rotas de movimentação, locais para armazenamento tático e critérios operacionais são definidos para transferir, receber e entregar derivados de petróleo líquidos. Este artigo descreve um modelo de simulação projetado para representar uma rede regional de dutos e inclui um estudo de caso de uma região brasileira com refinarias, um terminal marítimo, um terminal principal e terminais de distribuição.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Petróleo, Logística.

Área principal: PO na Área de Petróleo e Gás

ABSTRACT

Oil refining companies and distributors often use pipelines to transfer their products. In highly integrated, geographically challenging contexts, this may result in complex logistical systems. Pipelines which transport multiple products connect tanks, forming a particular, self-contained environment where distribution routes (called logistical channels), tactical inventory locations and operational criteria are defined to transfer, receive and deliver liquid oil derivatives. This paper describes a simulation model designed to represent such a regional pipeline network and includes a case study of a Brazilian region with refineries, a maritime terminal, a hub terminal and distribution bases.

KEYWORDS. Simulation, Oil, Logistics.

Main area: OR for Oil and Gas

1. Introdução

Empresas de petróleo e distribuidores frequentemente usam dutos para transferir e distribuir seus produtos. Em contextos altamente integrados e geograficamente desafiadores, isso pode resultar em sistemas logísticos complexos, especialmente se os dutos puderem carregar múltiplos produtos.

Polidutos conectam tanques, formando um ambiente particular e autocontido onde rotas de movimentação, locais para armazenamento tático e critérios operacionais são definidos para transferir, receber e entregar derivados de petróleo líquidos.

Este artigo descreve um modelo de simulação projetado para representar uma rede de dutos. Um estudo de caso de uma região brasileira com refinarias, um terminal marítimo, um terminal principal e outros terminais também é apresentado como parte dos meios de validação do modelo. A Figura 1 mostra essa região.

Quatro produtos principais são considerados: Gasolina, Nafta, Diesel (DS10 e DS500, respectivamente com baixo e alto teor de enxofre) e Querosene de Aviação (QAV). Suas demandas dentro da região considerada devem ser atendidas ou por produção local ou através de importações (relativas à região; não necessariamente internacionais). Produção em excesso é exportada (também em relação à região).

É relevante frisar que muitos dos dutos transportam múltiplos produtos, e alguns dutos podem até ser inversíveis. Estas características aumentam muito a complexidade do modelo e demandam uma solução de seqüenciamento.

Os objetivos principais do modelo são estudar a operação logística da produção da região e a rede de transporte de produtos, considerando atendimentos de demanda, gargalos, variações operacionais e a existência de seqüenciamento viável de bateladas de produtos nos dutos, além de avaliação de modificações futuras.

As próximas sessões deste artigo lidam com o modelo conceitual, detalhes do modelo, implementação do modelo, verificação e validação, cenários de simulação, análise de dados de saída e questões analíticas de canal logístico. Conclusões são apresentadas ao final.

2. Modelo Conceitual

De acordo com Robinson (2013), o processo de abstração de um modelo da parte do mundo real que ele representa (“o sistema real”) é conhecido como modelagem conceitual. Em outras palavras, isto significa escolher o que deve e o que não deve ser incluído no modelo. De acordo com o mesmo autor, um modelo conceitual inclui os objetivos, entradas, saídas, conteúdo, hipóteses e simplificações do modelo. Na instância inicial do trabalho, o modelo conceitual foi construído usando IDEF-SIM. De acordo com Montevechi et al (2010), a técnica IDEF-SIM tem sido desenvolvida com foco em simulação e a sua principal característica é a adequação de sua lógica à usada na simulação de eventos discretos, o que torna a fase de modelagem computacional mais fácil. A Figura 1 apresenta a rede logística do Estado de São Paulo com foco nos produtos e locais representados neste trabalho.

Este sistema logístico de combustíveis supre cinco pontos de venda no Estado de São Paulo. Ele também é o principal corredor de abastecimento da região Centro-Oeste brasileira através do duto OSBRA. O seqüenciamento do OSBRA é modelado como demanda por bateladas de produtos que faz parte dos dados de entrada.

Três refinarias são consideradas no sistema: REPLAN, REVAP e RECAP. Elas processam, juntas, mais de 700k bpd de óleo cru e suas produções são otimizadas para abastecer o mercado nacional. Isso significa que produtos que sobrem ou faltam devem ser transportados através da rede de dutos. Em geral, há sobra de diesel de alto teor de enxofre e há falta de diesel de baixo teor de enxofre, QAV, nafta e gasolina. Para balancear a oferta e a demanda regionais, existe um terminal marítimo em São Sebastião. Este terminal é conectado ao sistema através do duto para derivados claros (OSPLAN 24). Este duto

transporta múltiplos produtos em ambos os sentidos (é inversível). As operações com óleo cru possuem uma rede dedicada e não fazem parte do escopo deste modelo. Os únicos recursos compartilhados por óleo cru e por derivados são o canal de acesso ao porto e um dos berços em São Sebastião. Para representar essas interferências, entidades “artificiais” foram criadas para deixar os recursos compartilhados indisponíveis por certos períodos de tempo. Um artifício similar foi usado para representar o uso dos dutos para o transporte de etanol, um produto considerado fora de escopo.

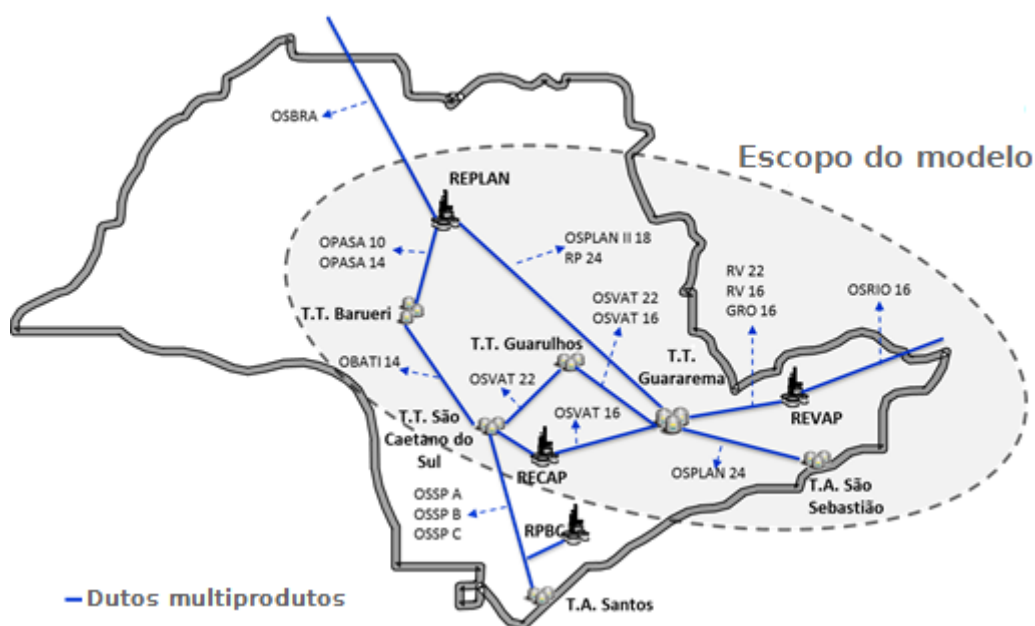


Figura 1: Sistema logístico de combustíveis da região de São Paulo

Para propósito de simplificação e acreditando que isto pode ser realizado sem prejuízos ao estudo, o escopo do modelo não incluiu detalhadamente a produção e as facilidades logísticas da região de Santos. O excedente de Santos para a região metropolitana de São Paulo é enviado por dutos. Estes dutos foram modelados como um duto de entrada que entrega bateladas de produtos em São Caetano do Sul (como mostrado na Figura 1) de acordo com um sequenciamento de entregas. Do mesmo modo, o duto OSRIO, que conecta a rede logística de São Paulo com a do Rio de Janeiro, foi representado como um duto que entrega ou recebe bateladas de produtos conforme sequenciamento.

O modelo conceitual da simulação inclui, em detalhe, todos os elementos (terminais e refinarias) apresentados na área destacada do escopo do modelo na Figura 1, o que produziu um diagrama muito grande. Como é impraticável representar o diagrama IDEF-SIM inteiro no formato deste artigo, a Figura 2 apresenta o diagrama IDEF-SIM restrito ao principal terminal terrestre, localizado em Guararema, que é um subconjunto do diagrama completo e inclui regras de negócio, recursos, entidades e fluxos logísticos representados por dutos de entrada vindos de diferentes origens e dutos de saída para diferentes destinos.

Em adição aos diagramas IDEF-SIM, o modelo usa informações operacionais sobre mais de 150 tanques (localização, produto e capacidade), 15 trechos de dutos (vazão, orientação, disponibilidade e taxa de falhas), produtos (complexidade de duto, tempos de testes e certificação, vazão de produção), demandas de mercado, regras de retirada de produto e operações de navio (regras e vazões).

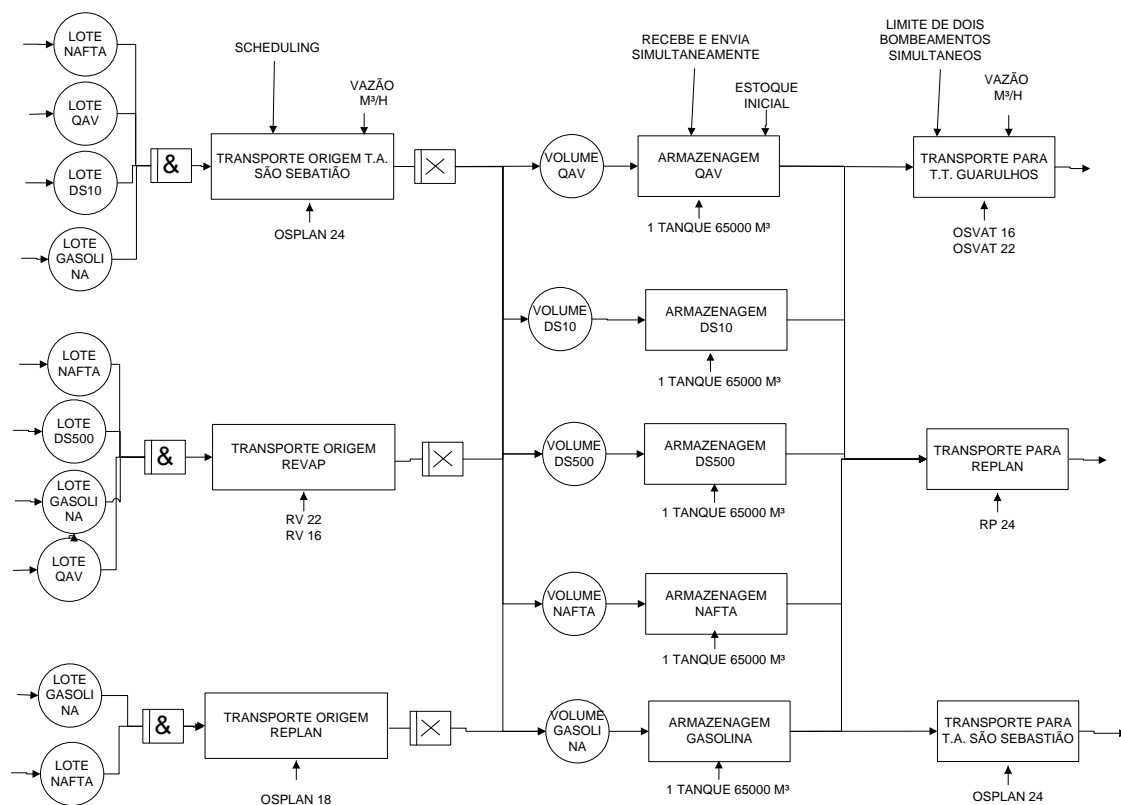


Figura 2: Diagrama IDEF-SIM para o Terminal Principal, em Guararema.

3. Requisitos Do Modelo

Existe um grande número de possíveis transferências de produtos dentro da rede. Estas transferências são sujeitas a regras e o modelo deve ser capaz de representá-las fielmente. O modelo deve produzir saídas que permitam a avaliação da eficácia dessas operações também considerando todo o escopo regional.

Há eventos aleatórios que afetam as operações, como falhas em equipamentos e atrasos em transportes.

O modelo deve tentar cumprir completamente com as demandas de mercado (vendas), pois este é o objetivo da Empresa; sendo que a primeira oferta a ser usada nesta meta deve ser a produção das destilações das refinarias locais.

A transferência de líquidos também possui uma característica de continuidade que deve ser representada. Como em trabalhos anteriores (Limoeiro et al, 2008 e Limoeiro et al, 2010), uma técnica chamada de simulação pseudocontínua foi usada. Nesta abordagem, uma série de eventos discretos executados hora-a-hora associados às taxas de vazão emulam a transferência contínua de líquidos. Estas transferências contínuas, entretanto, ainda são associadas a eventos discretos, como tanques ficando vazios, navios chegando etc. É necessário permitir que estas diferentes operações se comuniquem.

No modelo, os dutos transportam múltiplos produtos e podem, até mesmo, ser invertidos. Estes dutos longos contêm múltiplas bateladas de produtos – geralmente, de diferentes produtos. Os tamanhos das bateladas podem variar dependendo do produto, origem, destino e demanda. Cada duto possui suas próprias dimensões (comprimento e diâmetro) e, conseqüentemente, volume interno.

Se uma batelada está para entrar num duto, sua entrada vai depender de muitos fatores que podem ser classificados como fatores capacitivos ou táticos.

Fatores capacitivos referem-se aos volumes e espaços no sistema. Na origem, é necessário que haja produto em quantidade suficiente e pronto para o envio e, no destino,

necessita-se de espaço suficiente. O novo produto deve também ser compatível com o produto que foi bombeado anteriormente através do duto.

Fatores táticos lidam com a escolha da próxima batelada a ser bombeada. Neste modelo, isso é baseado num índice de prioridade, que é calculado pela razão entre o volume transferido do produto no mês atual de simulação e o volume esperado a ser transferido no mês, considerando eventuais sobras ou faltas acumuladas até o mês anterior.

Estes fatores interagem entre si. Uma escolha tática ruim pode resultar em problemas de capacidade, como falta de espaço no destino para a descarga da batelada pelo duto ou falta de produto na origem para empurrar o conteúdo do duto. Deve-se salientar que as bateladas não podem ser modificadas uma vez que elas estejam no duto e, também, que suas sequências não podem ser trocadas. Além disso, os dutos estão permanentemente cheios, o que significa que nenhum produto deixa o duto a menos que haja um produto novo entrando e, do mesmo modo, nenhum produto pode entrar sem que haja saída de produto pela extremidade oposta.

Devido a esta característica de canal, há um tempo relevante entre a produção ou chegada de algum produto e sua entrega nos pontos de demanda. Por exemplo: quando algum produto chega ao terminal marítimo, ele é descarregado, preparado, transferido por duto para pelo menos um terminal e, então, ao ponto de demanda. Neste trajeto, ele é armazenado em alguns destes lugares e precisa ser repousado e certificado, o que consome tempo. Ele provavelmente também precisará esperar que outros produtos se movam em seus próprios canais que dividam recursos.

Quanto à contribuição das refinarias locais, considera-se que cada refinaria sempre seja capaz de realizar a destilação e, assim, os derivados são produzidos continuamente. Caso falte espaço em tanque, por problema logístico, para receber os derivados da produção, a destilação é interrompida e isso se reflete no nível de produção da refinaria (uma das variáveis de saída do modelo). É importante e busca-se, na simulação, que os níveis de produção estejam sempre próximos de 100%.

Toda esta coleção de operações em dutos e tanques caracteriza canais que possuem restrições capacitivas e podem ser vistos como um canal logístico interior. Em outras palavras, essa situação equivale à simulação de um processo de sequenciamento. Para lidar com regras de prioridade de modo eficiente, as operações, que representam transferências, precisam ser agrupadas baseadas nos recursos necessários do canal a que pertencem. Estes grupos precisam ser avaliados numa sequência pré-definida para evitar travamentos em que algumas operações possam bloquear permanentemente outras operações.

Operações de navios devem ser representadas a partir do momento em que um navio chega próximo ao terminal marítimo até o momento em que ele o deixa. A Figura 3 apresenta a sequência executada pelo navio neste período de tempo. Cada passo requer um tempo específico de execução e pode depender de tamanho de navio, produto ou qualquer outra característica identificável; este tempo não é necessariamente determinístico.



Figura 3: Representação sintética da movimentação de um navio no escopo do modelo

4. Implementação Do Modelo

Com o modelo conceitual pronto e tendo em mente os outros requisitos, os diagramas de balanço volumétrico, como o mostrado na Figura 4, foram elaborados para cada produto. Estes diagramas representam o fluxo de operações implementado no modelo

e incluem as produções das refinarias, transferências por dutos, cargas e descargas de navios e entregas ao mercado.

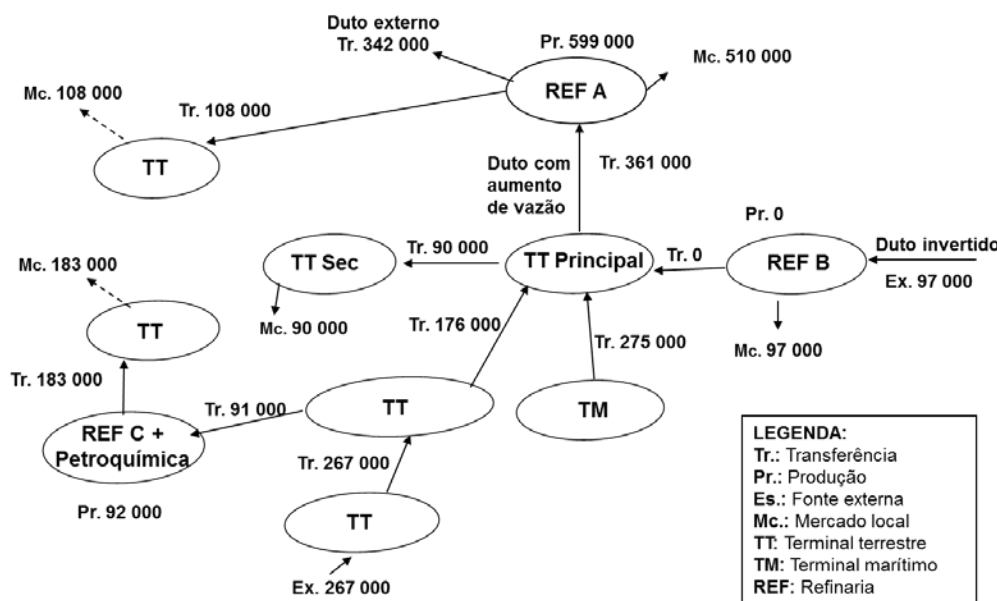


Figura 4: Balanço volumétrico para um produto

Cada diagrama garante que os volumes que entram no sistema (produção ou importação) correspondam aos que saem do sistema (entregas ao mercado ou exportação). Sem isso, o modelo não representaria a realidade, criando ou destruindo produtos.

A Figura 5 apresenta o fluxo básico da simulação. Este é, na verdade, composto de duas partes que interagem entre si: uma que lida com os navios e outra que lida com as transferências de produtos. Ambas são executadas independentemente a cada hora de simulação. Existe, entretanto, uma conexão fundamental entre elas: quando um navio é atracado e pronto para transferir produto, um tanque temporário é criado e funciona exatamente como qualquer outro tanque no modelo. Quando um navio está pronto para sair, o tanque temporário é desabilitado.

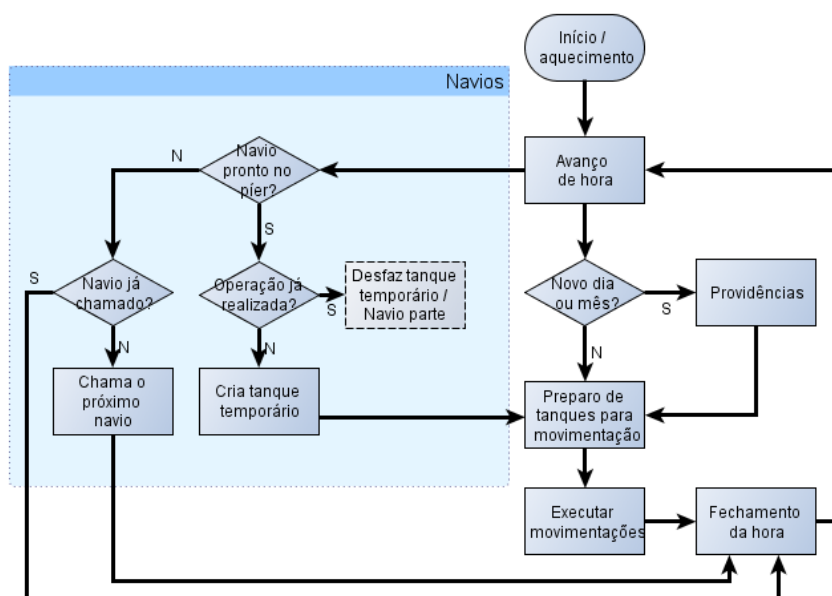


Figura 5: Diagrama de fluxo da implementação da simulação

5. Verificação E Validação Do Modelo

De acordo com Sargent (2013), a validação de um modelo computacional é um passo importante em um estudo de simulação. O autor define a validação como a prova de que um modelo computacional possui acurácia consistente com a aplicação pretendida. O modelo, além dos exaustivos testes para detecção de erros comuns de implementação, foi verificado e validado por diferentes áreas da companhia envolvidas no projeto: áreas de planejamento de curto prazo, de operação de terminais e de estudos comerciais e logísticos. Adicionalmente, Sargent (2013) apresenta alguns procedimentos para a validação de um modelo. Neste estudo, o modelo conceitual foi validado com os especialistas e o modelo computacional foi validado pela observação do comportamento do sistema (através da animação do modelo) e por comparação de resultados do modelo com resultados do sistema real.

Para alguns cenários futuros, que incluíram novas operações de transferência, algumas análises de sensibilidade foram executadas em combinação com a validação face-a-face (Chwif e Medina, 2006). Um conjunto de experimentos foi planejado e as corridas de simulação deram resultados incrementais que foram mais fáceis de entender e analisar. Este método passo-a-passo com a participação frequente de especialistas desde o estágio do modelo conceitual ajudou a gerar confiança no modelo.

6. Corridas De Simulação

O modelo validado foi utilizado num estudo de caso cujo objetivo foi analisar a possibilidade de usar um duto que, atualmente, exporta produtos para outra região logística. Quatro cenários foram escolhidos:

- Cenário 1, que considera a inversão da orientação do duto e outras mudanças consideradas, a priori, necessárias;
- Cenário 2, que analisa as consequências de não construir novos tanques de nafta no principal terminal terrestre;
- Cenário 3, que é baseado no Cenário 2, e analisa a real necessidade de novos tanques de diesel no principal terminal terrestre;
- Cenário 4, também baseado no Cenário 2, onde analisa o impacto de aumentar em 50% a vazão de um duto importante ao invés de aumentar em 100%, como planejado originalmente. Esse duto apoia o suprimento de derivados da parte mais ao norte da região logística estudada.

O objetivo do estudo era determinar o cenário de investimento mínimo que ainda possibilitaria o completo atendimento da demanda do mercado.

As saídas principais do modelo são:

- Atendimento de mercado, que mede o volume total entregue contra a demanda total de mercado;
- Nível de produção das refinarias, que mede o volume produzido contra a capacidade nominal da planta, servindo também para indicar a potencial eficiência da destilação de petróleo;
- Taxa de ocupação de berços, que é o percentual de tempo de um berço contendo navio atracado;
- Taxa de ocupação de duto, que é o percentual de tempo em que algum produto está sendo bombeado;
- Giro mensal da tancagem, que é a razão entre o volume mensal que passa por um conjunto de tanques com função comum e sua capacidade total;
- Quantidade anual de navios que operaram para cada produto;
- Chegada de produtos externo através de duto comparada ao volume esperado

para essa modalidade de recebimento.

Cada corrida de simulação cobre um ciclo de um ano após um período de aquecimento de quatro meses. 30 replicações para cada cenário proveram precisão suficiente.

7. Análise De Saídas

A Tabela 1 mostra as saídas obtidas para todos os cenários.

Tabela 1: Saídas médias para todos os cenários neste estudo. TT significa terminal terrestre.

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Nível de atendimento de mercado	Refinaria A - Gasolina (duto externo)	100,1%	100,0%	100,0%	100,0%
	Refinaria A - DS10 (duto externo)	100,0%	100,0%	100,2%	100,0%
	Refinaria A - Gasolina (mercado local)	100,3%	99,7%	99,6%	91,6%
	Refinaria A - QAV (mercado local)	97,6%	97,0%	97,7%	96,8%
	Refinaria A - DS10 (mercado local)	99,6%	99,2%	92,6%	84,2%
	Refinaria A - DS500 (mercado local)	96,9%	96,7%	97,0%	92,4%
	Refinaria B - DS10	100,6%	100,2%	100,5%	100,3%
	Refinaria B – Gasolina	100,1%	100,1%	100,1%	100,1%
	TT Secundário - DS10	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	TT Secundário - Gasolina	100,0%	99,9%	99,9%	100,1%
	TT Secundário - QAV	100,0%	100,0%	100,0%	100,1%
Chegada de produtos por duto externo	Fonte do duto invertido - DS10	99,1%	99,5%	99,7%	99,6%
	Fonte do duto invertido - DS500	99,6%	99,6%	99,7%	100,1%
	Fonte do duto invertido - Nafta	100,2%	100,3%	100,4%	100,3%
Nível de produção (FUT)	Refinaria A	98,7%	98,9%	99,4%	99,9%
	Refinaria B	97,6%	97,4%	96,9%	96,6%
	Refinaria C	99,9%	99,8%	99,8%	95,5%
	Planta Petroquímica	97,2%	97,0%	97,0%	96,6%
	MÉDIA PONDERADA	98,8%	98,9%	99,1%	98,1%
Giro mensal da tancagem	Terminal Marítimo - Gasolina	2,9	2,9	2,8	2,6
	Terminal Marítimo - DS10	2,6	2,6	2,3	1,9
	Terminal Marítimo - QAV	1,6	1,6	1,5	1,6
	TT Principal - Gasolina	6,8	6,6	6,5	6,1
	TT Principal - DS10	4,1	4,1	7,7	3,4
	TT Principal - DS500	7,2	7,3	7,1	6,9
	TT Principal - QAV	4,7	4,7	4,7	4,7
	TT Principal - Nafta	2,4	3,9	3,8	3,9
	TT Secundário - Gasolina	3,1	3,2	3,1	3,1
TT Secundário - DS10	5,0	5,0	5,0	5,0	
TT Secundário - QAV	8,9	8,9	8,9	9,0	
Taxa de ocupação de dutos	Duto REF_B --> TT Principal	24,7%	24,7%	24,7%	23,6%
	Duto Refinaria A --> TT Principal	25,2%	25,4%	25,5%	25,8%
	Duto Terminal Marítimo --> TT Principal	37,3%	37,4%	34,8%	31,6%
	Duto TT Principal --> TT Secundário	18,6%	18,7%	18,7%	18,7%
	Duto com aumento de vazão	65,7%	65,2%	63,0%	77,0%
	Duto invertido	64,8%	65,0%	65,1%	65,1%
Taxa de ocupação de berços	Berço A	89,8%	90,4%	88,4%	85,8%
	Berço B	84,8%	85,2%	81,4%	77,4%
	MÉDIA	87,3%	87,8%	84,9%	81,6%
Quantidade anual de navios	Gasolina	102,7	101,8	100,4	92,2
	DS10	72,7	74,1	63,5	52,9
	QAV	44,1	43,9	44,0	44,6

Os Cenários 1 e 2 cumpriram com as demandas de mercado e mantiveram a produção das refinarias em níveis adequados. Todavia, o Cenário 2 é melhor porque ele requer um investimento menor.

Os Cenários 3 e 4 falharam em cumprir com as demandas de mercado e foram considerados más opções.

É relevante notar que as ocupações de berços são muito altas, o que impossibilita a opção de importar os produtos necessários por via marítima ao invés de inverter o duto.

Além disso, alguns casos de giros de tancagem altos, apesar de configurarem uma situação preocupante, não necessariamente provocam maus resultados. Isso é um indício de que fatores críticos isoladamente podem não ser determinantes no desempenho de um cenário.

8. Questões Analíticas De Canal Logístico

Além da análise das saídas, também foi possível realizar análises sobre os canais logísticos caracterizados nesta modelagem e obter outras importantes observações. Estes canais logísticos interiores são estruturas autocontidas que, apesar de compartilharem recursos, podem ser analisadas individualmente.

8.1. Travessia de canal logístico e atraso das entregas

Quando um navio começa a descarregar, o produto em forma de batelada leva um tempo potencialmente longo até estar pronto para entrega ao mercado. Um fluxo típico de eventos que consomem tempo seria:

1. Descarregar o navio em tanques do terminal marítimo;
2. Teste e certificação do produto nos tanques do terminal marítimo;
3. Transferência de produto para o terminal terrestre principal através de um duto longo;
4. Movimentação através do duto;
5. Enchimento dos tanques do terminal principal;
6. Preparo do produto nos tanques do terminal principal;
7. Transferência ao ponto de venda do destino através de outro duto longo;
8. Movimentação através deste duto;
9. Enchimento de tanques no ponto final de vendas;
10. Teste e certificação finais do produto, que agora está pronto para ser entregue.

Considerando taxas de vazão, capacidades de tancagem, volumes de dutos e tempos de teste e certificação, o tempo entre a chegada e a disponibilidade de produto pode ultrapassar 100h. E este é um tempo mínimo ideal, porque falhas em equipamento, interferência de outras bateladas nos dutos, falta de espaço nos tanques de destino e outras ocorrências bem comuns aumentam este tempo.

8.2. Sequências e frequência de bateladas

Quando múltiplas bateladas de diferentes produtos com diferentes destinos compartilham um duto, é necessário priorizá-las.

Esta prioridade, como explicado anteriormente, é baseada em demandas mensais. Portanto, espera-se que se, por exemplo, a demanda por transferência de diesel for o dobro da de gasolina através de um dado duto, deverá haver, em média, duas bateladas de diesel entre bateladas de gasolina. Entretanto, se outras circunstâncias, como falta de produto na origem ou de espaço no destino, impedirem qualquer destas bateladas de entrarem no duto na hora certa, a sequência deve ser revista e a decisão de esperar ou mudar a sequência deve ser feita. Em todo caso, atrasos em alguma parte do canal logístico significam que não

haverá produto pronto na hora certa em outros lugares à frente do fluxo, o que propaga os problemas.

Em muitos casos, existem na verdade muitos produtos compartilhando um duto, o que leva a situações como a da Figura 6, onde três produtos se alternam no duto e um problema em um deles afetaria os outros dois.

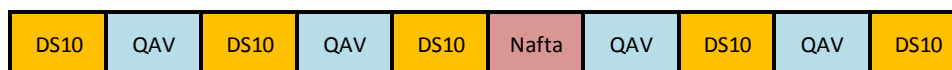


Figura 6: Exemplo de seqüência de bateladas

8.3. Disponibilidade de batelada que empurre

Outro problema crítico na rede de dutos é a necessidade de haver disponibilidade de bateladas para empurrar aquelas de dentro do duto para seus destinos. Isso significa que, uma vez que uma batelada entra num duto, seu fluxo não depende apenas de haver espaço disponível para a mesma no destino; também depende da disponibilidade de outras bateladas atrás dela para empurrá-la e de espaço para as bateladas a sua frente.

Um duto longo pode reter um grande volume de produtos; seu volume completo mais o volume da própria batelada devem ser empurrados para que uma batelada completa chegue ao seu destino. Isso leva tempo e depende de múltiplos fatores em ambas as extremidades do duto: na origem, deve haver produtos para serem bombeados e, no destino, deve haver espaço para receber os produtos.

8.4. Possibilidade de triplo bloqueio

O duto que conecta o terminal marítimo ao terminal terrestre principal leva muitos produtos e é inversível, o que significa que ele pode transferir produtos do terminal marítimo para o terrestre e vice-versa. Enquanto o volume transferido cresce, a estrutura pode sofrer de três problemas que se somam aos mencionados anteriormente e podem causar um bloqueio em três vias:

A primeira possibilidade é que os berços podem se tornar muito ocupados, porque as vazões de descarga dos navios são menores que as vazões do duto;

A segunda possibilidade é uma insuficiente capacidade de armazenamento no terminal marítimo, o que significa que os navios devem aguardar para descarregar e o terminal principal pode ficar impossibilitado de transferir produtos pela falta de espaço no terminal marítimo;

A última possibilidade é que, se o duto precisar transferir um grande volume de muitos produtos diferentes, o sequenciamento não se torna apenas difícil – ele também é bem suscetível aos outros problemas elencados em seções anteriores.

8.5. Alternativa de conexão duto-a-duto

Dependendo das instalações existentes no terminal, é possível que uma batelada seja transferida diretamente de um trecho de duto longo para outro sem passar por tanque. Essa prática pode ser uma boa ação para agilizar a movimentação dos produtos. Entretanto, em contextos logísticos complexos, com muitas e diversas operações, isso pode acarretar problemas se, por exemplo:

- A vazão do duto de origem for menor que a do duto destino, que passará a operar numa vazão abaixo da sua normal;
- As tancagens das origens e dos destinos finais das bateladas podem não ter capacidade suficiente para suportar esse regime de recebimentos que implica bateladas e intervalos maiores.

9. Conclusão

Este artigo descreveu um modelo de simulação para redes regionais de dutos de derivados de petróleo considerando sequenciamento de bateladas e capacidade de armazenamento, um breve estudo de caso de sua aplicação e um sumário das suas fontes principais de complexidade. O modelo foi criado numa companhia de petróleo para resolver um problema real e atingiu seu objetivo.

Um elemento-chave no sucesso do modelo é que ele integrou pessoas que trabalham em áreas diferentes da companhia. Isso foi conseguido através da participação das equipes sobretudo nas fases de modelagem conceitual e de validação do modelo do processo de simulação.

Sobre a abordagem do modelo, ele é eficaz para analisar o comportamento operacional da transferência de produtos através de uma rede de dutos longos com restrições de capacidade. O sequenciamento das bateladas é a chave para viabilizar a simulação e é baseado numa heurística de priorização que, apesar de ser muito mais simples que outras metaheurísticas comumente utilizadas, de fato provê soluções de sequenciamento boas e realísticas.

Os caminhos seguidos pelos produtos de suas origens para seus pontos de venda foram identificados como canais logísticos individuais e autocontidos que compartilham recursos ao longo de suas rotas. Os produtos trafegam por um longo caminho através desses canais e são frequentemente atrasados pelas dificuldades de sequenciamento e restrições capacitivas, que precisam ser evitadas por meio ou de mudanças de regras ou pelo provimento de recursos.

A respeito de trabalhos futuros, o modelo e suas idéias serão usados em outros estudos na mesma região e, também, em outras regiões.

Referências

- Banks, J., J. S. Carson, B. L. Nelson, e D. M. Nicol.** (2000), *Discrete-Event System Simulation*. 3rd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Chwif, L., e Medina, A. C.** (2006), *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 1st ed. São Paulo, RJ: Editora dos Autores.
- Limoeiro, C., Fuller D. B., e Araujo, C. F.** (2010), *Modelo de simulação para analisar o escoamento da produção de derivados de petróleo a partir de terminal marítimo*. In *Anais do SBPO 2010*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Sobrapo.
- Limoeiro, C., Fuller, D. B., Pereira, B., e Barbosa, G.** (2008), *Processo de dimensionamento por simulação de um sistema integrado de suprimento de petróleo para um conjunto regional de refinarias*. In *Anais do SBPO 2008*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Sobrapo.
- Montevechi, J. A. B., F. Leal, A. F. Pinho, R. F. S. Costa, M. L. M. Oliveira, e A. L. F. Silva.** (2010), *Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company*. In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, edited by B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan, 1624-1635. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.
- Robinson, S.** (2013), *Conceptual modeling for simulation*. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, edited by R. Pasupathy, S.-H. Kim, A. Tolk, R. Hill, and M. E. Kuhl, 377-388. Washington, D.C.
- Sargent, R.** (2013), *An introduction to verification and validation of simulation models*. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, edited by R. Pasupathy, S. H. Kim, A. Tolk, R. Hill, M. Kuhl. 321-327. Washington, D.C.