

Capítulo 5: As simulações e os resultados

Este capítulo apresenta as simulações realizadas e os seus resultados. O capítulo está dividido em diversas seções, sendo que as seções centrais descrevem os cenários utilizados, os resultados obtidos pela simulação destes cenários e as suas respectivas análises. Uma seção inicial apresenta comentários de interesse a todos os cenários e a última seção apresenta comentários finais sobre o estudo em si.

5.1 Comentários preliminares

Este capítulo será dedicado às simulações realizadas, descrevendo-se os cenários considerados e os resultados obtidos. Nesta fase do trabalho, o modelo, construído e verificado conforme descrito no capítulo anterior, vai gerar todos os dados (resultados) referentes aos cenários simulados, permitindo sua análise e comparação. A observação dos resultados pode estimular o estabelecimento de novos cenários com o objetivo de aprimorar as análises originalmente planejadas ou ampliar o alcance das mesmas. Neste sentido, mais uma vez a agilidade permitida pelo *software* Arena[®] – a rapidez com que os valores dos parâmetros do modelo podem ser modificados e novos resultados gerados – foram fundamentais para o sucesso do estudo.

Nesta fase do trabalho ficou patente a utilidade da construção do modelo de forma modular. Esta característica facilita a alternância entre os cenários e a geração rápida de resultados. Além disso, interações entre as fases do estudo, como já citado anteriormente, ainda podem acontecer, induzindo a novas modificações no modelo. Neste trabalho houve diversas melhorias do modelo nesta fase, principalmente voltadas à visualização das variáveis durante a simulação e à geração de dados específicos para facilitar a análise dos resultados.

Cabe aqui comentar que, além da construção modular, o modelo desenvolvido contém algumas variáveis – tanto variáveis propriamente ditas como parâmetros informados pelo programador nos módulos *decide* – que contribuem para a sua flexibilidade. São exemplos disso a demanda de CT a serem carregados no dia a ser simulado (variável *Total_de_CT*) e a proporção entre CT dos tipos *bottom* e *top* presentes na frota (parâmetro definido no primeiro bloco *decide*). A

simples existência de uma variável, no entanto, não quer dizer que se deva utilizá-la diretamente no estudo. Sua função pode ser secundária, ou ser importante apenas durante a construção do modelo. Nestes casos, variar o valor destas variáveis durante a simulação definitiva pode adicionar uma dificuldade desnecessária na análise dos resultados. Neste sentido, vale lembrar o conselho sempre presente na literatura sobre simulação de sistemas: deve-se manter o modelo o mais simples possível.

A demanda – quantidade de CT a ser carregada no dia a ser simulado – é uma variável do modelo cujo valor é inicializado pelo programador e pode ser facilmente alterado caso haja interesse em simular cenários com demandas distintas. Caso se desejasse verificar o dimensionamento da PLECT de uma base existente ou da PLECT projetada para uma base a ser construída, este recurso seria fundamental, pois permitiria variar o número de CT a ser carregado no dia simulado e verificar o comportamento da instalação frente a diferentes demandas. No presente estudo, porém, não havia este interesse, pois aqui o foco é estudar a influência da compartimentação dos CT no tempo da operação de carregamento. Neste estudo, a demanda utilizada na simulação principal foi mantida constante em todos os cenários, e seu valor foi estabelecido com base em dois critérios:

- a) Ser grande o suficiente para manter uma alta ocupação dos recursos ao longo do dia, evitando a existência de folgas que poderiam dificultar a análise dos resultados, e
- b) Evitar a existência de um grande número de CT na base após o encerramento do horário de funcionamento normal da base, pois isto indica que estes CT, apesar de terem sido admitidos, não foram atendidos, o que distorceria as análises.

Considerando os critérios acima expostos, procedeu-se a testes preliminares com o modelo, variando o valor da demanda diária. Estes testes resultaram na definição da demanda diária em 100 CT.

Um ponto importante quando se fala em comparação dos resultados entre os cenários simulados é o estabelecimento de um cenário de referência. Neste estudo a escolha deste cenário de referência é bastante óbvia: deve ser o que refletir a situação atual, de forma a permitir a verificação da influência das

alterações a serem introduzidas no sistema por meio da comparação dos resultados entre os cenários com e sem alterações. O cenário de referência foi denominado Cenário 1, e suas características principais estão relacionadas na Tabela 4. Este Cenário 1, representa a “situação atual”, ou seja, a frota tem a compartimentação que atualmente prevalece no mercado: a parcela que atua na transferência tem um único compartimento de 30 m³, enquanto que a frota de entrega tem compartimentos de 5 m³. A proporção entre os diversos tipos de CT é igual à da amostra obtida durante a medição dos tempos dos processos na base visitada.

Tabela 4 – Cenário 1: principais características

Cenário 1 - situação atual						
Nº de CT no dia:		100				
Nº de compartimentos	Capacidade do compartimento (m ³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m ³)	nº de CT/dia	Volume total (m ³)	nº de compartimentos carregados
1	30	15	30	15	450	15
3	5	45	15	45	675	135
4	5	25	20	25	500	100
6	5	15	30	15	450	90
Totais		100			2.075	340

O objetivo deste trabalho é estudar a influência da compartimentação dos caminhões-tanque na operação das bases de distribuição de combustíveis automotivos. No entanto, o trabalho com simulação muitas vezes permite a realização de outras análises com a utilização do mesmo modelo, ou com ligeiras modificações neste. Estas outras análises, que são secundárias em relação ao objetivo do estudo, podem, no entanto, ser de grande utilidade para uma visão mais ampla do sistema. O cuidado aqui deve ser a manutenção do foco no objetivo do trabalho e na consistência entre os dados disponíveis e os resultados obtidos:

“Uma falha comum em estudos de simulação é tornar-se tão absorto em simular que mais detalhes são extraídos da simulação do que os necessários ou podem ser suportados pelos dados disponíveis.”
(Gordon, op. cit., pág. 21)

Como seria de se esperar, o modelo construído para este estudo permite diversas análises secundárias. Uma das análises secundárias para a qual este modelo demonstrou utilidade já na fase de sua construção é a comparação entre a duração da operação para cada um dos dois métodos de carregamento de CT existentes – *bottom* e *top loading*. Outra análise interessante, apesar de igualmente secundária em relação ao objetivo deste trabalho, diz respeito à influência da variação do ritmo de chegada dos CT à base ao longo do dia na produtividade da operação de carregamento. Ainda outra análise secundária pode ser feita: a da influência da composição da movimentação da base, dividida entre entrega e transferência. Estas análises serão descritas antes mesmo da análise principal, pois isto facilitará o entendimento desta.

5.2 A comparação entre *bottom* e *top loading*

O carregamento do CT pelo método *bottom loading* apresenta algumas vantagens em relação ao carregamento pelo método *top loading*, sendo que uma das principais é a redução do tempo da operação. Esta vantagem – teórica – pode ser avaliada com o modelo construído para este estudo.

O modelo utilizado possui duas lajes *bottom* e duas lajes *top*. A proporção entre os dois tipos de laje deve ser definida, na prática, de forma a atender adequadamente a frota que opera na base. Neste estudo foi utilizada uma configuração com igual número de lajes do tipo *bottom* e do tipo *top* justamente para facilitar comparações: havendo recursos equivalentes disponíveis para o carregamento por ambos os métodos, eventuais diferenças no tempo da operação seriam resultado de produtividades distintas inerentes a cada um destes métodos.

No modelo utilizado, a divisão da frota entre CT do tipo *bottom* e do tipo *top* é feita logo no primeiro módulo *decide* (Figura 15) e a proporção desta divisão é inicializada pelo programador, podendo ser facilmente alterada caso haja interesse em simular outros cenários. Neste trabalho o modelo foi inicializado com uma proporção de 50% para cada tipo (CT *bottom* ou *top*), de forma a avaliar a diferença de produtividade entre os dois métodos de carregamento.

Assim, o próprio cenário de referência – Cenário 1 – pode ser utilizado para a comparação entre os métodos de carregamento de CT. Como é comum em

simulação, este cenário fornece várias outras conclusões úteis, além da comparação entre os dois métodos de carregamento. Os resultados obtidos com o cenário 1 estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Cenário 1: diferença entre *bottom* e *top*

	Média	Desvio padrão
Entraram (CT)	99	2,0
Saíram (CT)	96	1,9
Tempo em processo (min)	25,8	0,0
Tempo em espera (min)	24,8	2,1
Tempo em trânsito (min)	1,5	0,0
Tempo total (min)	52,1	2,1
Tempo <i>bottom</i> (min)	46,7	2,1
Tempo <i>top</i> (min)	56,4	3,0

Os resultados relacionados na Tabela 5 permitem as seguintes conclusões:

- A demanda diária de 100 CT está adequada às premissas adotadas para o seu dimensionamento, pois restam, em média, apenas 3 CT na base às 20:00 horas (diferença entre a quantidade de CT que entrou e a que saiu).
- O tempo gasto em filas é significativo, representando 48% do tempo total e 96% do tempo gasto nos processos.
- O tempo de deslocamento do CT dentro da base é muito pequeno, quando comparado aos demais tempos (3% do total).
- O tempo da operação com o método *top* é 21% maior que o tempo da operação com o método *bottom*, correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 10 minutos por CT.

Para verificar se a diferença mostrada acima entre os métodos *bottom* e *top* é influenciada pela demanda, foram criados dois cenários baseados na situação atual, variando-se apenas a quantidade de CT admitidos na base (e mantendo-se a proporção entre os tipos de CT). A comparação entre os resultados encontrados na simulação destes cenários com os da situação atual estão mostrados na Tabela 6. A exemplo da simulação da situação atual, todos os utilizaram 50 replicações.

Tabela 6 – Cenários 1, 1a e 1b - resultados

Cenário	transferência (%)	Nº de CT (CT/dia)	Volume carregado (m³/dia)	tempos ¹			
				filas (min)	<i>bottom</i> (min)	<i>top</i> (min)	médio (min)
1a	15	80	1.660	13,4	36,8	44,1	40,8
1	15	100	2.075	24,8	46,7	56,4	52,1
1b	15	120	2.490	41,6	60,5	75,8	68,9

¹ Os tempos *bottom*, *top* e médio incluem o tempo de espera em filas.

Para ilustrar eventuais tendências contidas nos resultados relacionados na Tabela 6, foi criado o gráfico mostrado na Fig. 17.

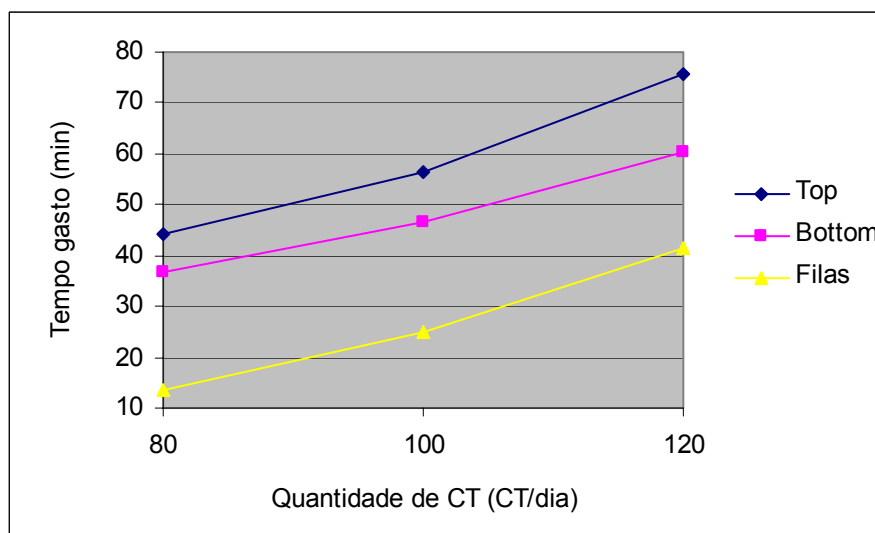


Fig. 17 – Influência da demanda no tempo da operação

Os resultados relacionados na Tabela 6 e ilustrados pela Fig. 17 permitem as seguintes conclusões:

- A relação entre o aumento da demanda e o tempo da operação de carregamento de CT não é linear.
- O aumento do tempo da operação à medida que a demanda cresce é diretamente relacionado com o crescimento das filas.
- A vantagem do método *bottom* sobre o método *top* aumenta com o crescimento da demanda.

Cabe lembrar que as diferenças medidas entre os métodos *bottom* e *top* estão associadas aos cenários relatados acima. É preciso ter em mente que o sistema simulado é suficientemente complexo para que se tome cuidado com a generalização de qualquer conclusão. Variáveis como a demanda, proporção entre CT *bottom* e *top* e compartimentação da frota influenciam os tempos dos processos, e, portanto, influenciam no tempo da operação de carregamento. Algumas destas influências ficarão mais claras quando da análise de outros cenários simulados, como se verá adiante.

5.3 A influência do ritmo de chegada dos caminhões-tanque à base

O ritmo de chegada dos CT à base varia ao longo do dia, conforme já foi comentado anteriormente. Considerando a existência desta variação, e também que os processos envolvidos são estocásticos, é de se esperar que haja uma grande variação no tempo total da operação de carregamento de CT ao longo do dia. Grandes variações no ritmo de produção são geralmente responsáveis por ineficiências ou perdas; um ritmo constante é geralmente mais eficiente e econômico. A inevitabilidade da existência de variação na operação sob estudo faz com que o dimensionamento das bases apresente um desafio clássico: encontrar o equilíbrio entre um ou mais “gargalos” nos horários de pico e a ociosidade nos horários mortos.

Não é objetivo deste trabalho tratar do dimensionamento de bases, mas o modelo construído pode facilmente demonstrar a influência do ritmo de chegada dos CT no tempo total da operação de carregamento. Para tanto, basta substituir a planilha *schedule* associada ao módulo *create* por uma fórmula que expresse um intervalo constante entre chegadas dos CT. O tempo entre chegadas deixaria de ser estocástico, tornando-se determinístico:

$$T = 16 \text{ h} / 100 \text{ CT} \Rightarrow T = 9,6 \text{ min/CT}$$

Assim, para demonstrar a influência do ritmo de chegada dos CT no tempo da operação, foi feita uma simulação utilizando o Cenário 1, mantendo-se a demanda de 100 CT/dia, porém fixando o intervalo entre chegadas de CT em 9,6 minutos. Este cenário foi denominado Cenário 1c. Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cenário 1c: intervalo entre chegadas constante

	Média	Desvio padrão
Entraram (CT)	100	0,0
Saíram (CT)	97	0,2
Tempo em processo (min)	25,8	0,0
Tempo em espera (min)	5,3	0,3
Tempo em trânsito (min)	1,5	0,0
Tempo total (min)	32,6	0,6
Tempo <i>bottom</i> (min)	29,9	0,6
Tempo <i>top</i> (min)	35,0	0,9

Os resultados permitem as seguintes conclusões:

- A demanda diária de 100 CT está adequada às premissas adotadas para o seu dimensionamento, pois restam, em média, apenas 3 CT na base às 20:00 horas.
- O tempo gasto em filas representa 16% do tempo total e 20% do tempo gasto nos processos.
- O tempo de deslocamento do CT dentro da base é muito pequeno, quando comparado aos demais tempos, representando apenas 5% do tempo total¹.
- O tempo da operação com o método *top* é 17% maior que o tempo da operação com o método *bottom*, correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 5 minutos por CT.
- Os tempos totais da operação, tanto no método *bottom* como no método *top* ficaram muito menores do que no caso da demanda aleatória.

Os resultados da simulação com o Cenário 1c (Tabela 7), indicam uma grande diminuição do tempo da operação em relação ao Cenário 1 (Tabela 5). O tempo médio de operação foi 36% menor no método *bottom* e 38% menor no método *top*. Estes números comprovam, portanto, a grande influência do ritmo de chegada dos CT no tempo total da operação.

¹ Neste cenário, o tempo de deslocamento representa uma parcela maior do tempo total devido à diminuição deste. O tempo de deslocamento mantém-se constante em todos os cenários, pois não é influenciado por nenhuma das variáveis presentes no modelo, o que é coerente com a realidade.

5.4 A influência da transferência

Como foi mencionado anteriormente, o transporte de produtos para efetuar a entrega aos clientes é conhecido na atividade de distribuição simplesmente como *entrega*, enquanto que o transporte de uma base para outra é denominado *transferência*. Todas as bases operam com a entrega e muitas operam também como com a transferência, em especial as bases primárias. Desta forma, é comum que uma parte das operações de carregamento de CT se refiram à transferência, que se caracteriza por utilizar CT com um único compartimento. As demandas referentes à entrega e à transferência de produtos e, conseqüentemente, o peso de cada uma na movimentação total é uma característica de cada base.

No modelo construído para este estudo é possível simular qualquer composição entre a quantidade de CT de entrega e a quantidade de CT de transferência. O percentual de CT referente à transferência é inicializado no modelo por meio do segundo módulo *decide* (denominado Numero de compartimentos) que encaminha a respectiva parcela da frota ao módulo *Assign Comp 1*. Neste módulo os CT receberão os atributos característicos da transferência, que no modelo utilizado são: 1 compartimento e 30 m³ de capacidade. Os demais CT, que compõem a frota de entrega, são encaminhados a outros módulos *assign* e recebem outros atributos característicos.

O cenário de referência deste trabalho considera que a frota de transferência na base representa 15% do total, a exemplo da base real em que foi feito o levantamento de campo. Os CT que compõem esta parcela da frota têm apenas um compartimento, e, portanto, não consomem tempo para a troca de braço de carregamento durante a operação, como ocorre com os CT compartimentados. Este fato pode naturalmente gerar uma expectativa de que uma base que tenha um percentual de transferência maior que o do cenário de referência obtenha uma produtividade maior no carregamento. No entanto, a comparação entre cenários com percentuais de transferência distintos não é trivial. Um CT de transferência tem uma capacidade geralmente maior do que a dos CT de entrega. Desta forma, o tempo médio de bombeio necessário para o carregamento de um CT de transferência se refere ao volume de 30 m³ (neste modelo), enquanto que o mesmo tempo médio para um CT de entrega se refere à média ponderada dos diversos volumes possíveis (neste modelo, 15, 20 ou 30 m³).

Desta forma, o tempo de bombeio para um CT de transferência pode ser tão maior que o seu equivalente para um CT de entrega que anule a economia de tempo na troca do braço de carregamento. Por outro lado, a comparação também deve levar em consideração a influência na movimentação total da base: como a capacidade média dos CT de transferência é diferente da dos CT de entrega, comparar o tempo de carregamento referente a uma certa quantidade de CT de transferência com o seu equivalente referente à mesma quantidade de CT de entrega implica em comparar movimentações distintas.

O modelo construído para este trabalho pode ser utilizado para verificar a influência do percentual referente à transferência no tempo da operação de carregamento de CT. Para esta verificação foram criados dois cenários que representam situações novas em relação ao cenário de referência: o primeiro – Cenário 1d – mantém a movimentação total da base, diminuindo, portanto, a quantidade de CT carregados, e o segundo – Cenário 1e – mantém a quantidade de CT, levando a uma movimentação maior do que a da situação atual. Nestes cenários o percentual da frota dedicado à transferência foi estabelecido em 50%. Quanto ao percentual restante da frota (50%), que fica dedicado à entrega, supôs-se que ficaria dividido entre os três tipos de CT possíveis ($3 \times 5 \text{ m}^3$, $4 \times 5 \text{ m}^3$ e $6 \times 5 \text{ m}^3$)² de acordo com o mesmo peso relativo que cada tipo detém na situação atual. Esta suposição significa que a variação do percentual referente à transferência não afeta a entrega, ou seja, as características da entrega numa determinada base se mantêm, independentemente desta base aumentar ou diminuir sua movimentação referente à transferência. Foi utilizado ainda um terceiro cenário – Cenário 1b, já citado anteriormente – no qual o percentual de transferência é o mesmo que na situação atual e a movimentação é a mesma que no cenário 1e. A utilização deste cenário 1b nesta seção tem como objetivo possibilitar a verificação das conseqüências de um aumento da movimentação, mantido o percentual de transferência da situação atual, de forma a possibilitar, entre outras coisas, uma avaliação crítica do cenário 1e. Em outras palavras, o cenário 1b permite verificar até que ponto as variações constatadas no cenário 1e são conseqüência do aumento do percentual de transferência ou do aumento da

² A notação utilizada exprime: 3 compartimentos de 5 m^3 cada, 4 de 5 m^3 cada, e assim por diante.

movimentação da base. As características destes cenários estão mostradas na Tabela 8.

Tabela 8 – Cenários 1, 1d, 1e e 1b - características

Cenário 1 - situação atual; transferência = 15%; 100 CT/dia					
Compartimentos (unid.)	Capacidade do compartimento (m³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m³)	nº de CT/dia	Volume total (m³)
1	30	15,0	30	15	450
3	5	45,0	15	45	675
4	5	25,0	20	25	500
6	5	15,0	30	15	450
		100,0			2.075

Cenário 1d - transferência = 50%; 85 CT/dia					
Compartimentos (unid.)	Capacidade do compartimento (m³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m³)	nº de CT/dia	Volume total (m³)
1	30	50,0	30	43	1275
3	5	26,5	15	22	337
4	5	14,7	20	13	250
6	5	8,8	30	7	225
		100,0			2.087

Cenário 1e - transferência = 50%; 100 CT/dia					
Compartimentos (unid.)	Capacidade do compartimento (m³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m³)	nº de CT/dia	Volume total (m³)
1	30	50,0	30	50	1500
3	5	26,5	15	26	397
4	5	14,7	20	15	294
6	5	8,8	30	9	265
		100,0			2.456

Cenário 1b - situação atual; transferência = 15%; 120 CT/dia					
Compartimentos (unid.)	Capacidade do compartimento (m³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m³)	nº de CT/dia	Volume total (m³)
1	30	15	30	18	540
3	5	45	15	54	810
4	5	25	20	30	600
6	5	15	30	18	540
		100			2.490

A simulações realizadas com os cenários 1d, 1e e 1b mostram variações importantes dos tempos de operação, como se pode ver na Tabela 9.

Tabela 9 – Cenários 1, 1d, 1e e 1b - resultados

Cenário	transferência (%)	Nº de CT (CT/dia)	Volume carregado (m³/dia)	tempos ¹			
				filas (min)	<i>bottom</i> (min)	<i>top</i> (min)	médio (min)
1	15	100	2.075	24,8	46,7	56,4	52,1
1d	50	85	2.087	22,0	50,2	52,5	52,2
1e	50	100	2.456	44,1	71,0	75,0	74,4
1b	15	120	2.490	41,6	60,5	75,8	68,9

¹ Os tempos *bottom*, *top* e médio incluem o tempo de espera em filas.

Os resultados mostrados na Tabela 9 permitem diversas conclusões, que são relatadas a seguir, tomando-se sempre a situação atual como referência:

- a) Em relação ao Cenário 1d (mantida a movimentação diária):
 - I. O aumento da transferência teve impacto negativo no carregamento *bottom* e impacto positivo no *top*. Percebe-se que a diminuição do tempo médio gasto para troca de braço (operação que não existe na transferência e cuja duração é “economizada” neste cenário), foi mais representativo no *top*. No *bottom*, prevaleceu o aumento da capacidade média dos CT.
 - II. O tempo ganho no carregamento *top* foi praticamente equivalente ao tempo perdido no *bottom*, como se nota na manutenção do tempo médio. Vale lembrar que neste cenário (assim como nos demais) a proporção de CT *top* é igual à de CT *bottom*.
 - III. O tempo perdido em filas foi reduzido em 11%.
- b) Em relação ao Cenário 1e (mantida a quantidade de CT):
 - I. O aumento da movimentação foi de 18%, mas provocou um aumento de tempo gasto em filas de 78% e um aumento do tempo médio da operação de carregamento de 43%.
 - II. A exemplo do cenário anterior (1d), verifica-se que quando o percentual de transferência aumenta a diferença entre o tempo de carregamento no método *bottom* e no método *top* diminui. Isto deve ao fato de que o carregamento simultâneo de mais de um

compartimento, vantagem característica do método *bottom*, só se aplica à entrega, ou seja, aos CT compartimentados.

- c) Em relação ao Cenário 1b (mantida a movimentação do cenário 1e):
- I. O aumento da movimentação foi de 20%, mas provocou um aumento de tempo gasto em filas de 68% e um aumento do tempo médio da operação de carregamento de 32%, impacto menor que o verificado no cenário 1e.
 - II. Fica nítida a diferença entre os tempos de carregamento com o método *bottom* e com o método *top*.

Como se viu nesta seção, a comparação dos resultados das simulações dos cenários 1b, 1d e 1e com o cenário de referência permite perceber algumas relações entre as variáveis do sistema e a parcela da movimentação da base relativa à transferência. Deve-se notar também a crescente complexidade para a análise do sistema à medida que se admite a variação de mais parâmetros. Neste sentido, é interessante destacar que é esta complexidade causada pela interação entre as variáveis do sistema, aqui verificada na prática, que recomenda, segundo a teoria, a utilização da ferramenta de simulação para este tipo de estudo.

5.5 A influência da compartimentação dos caminhões-tanque

As seções anteriores deste capítulo apresentam um relato de algumas das análises da operação de carregamento de CT que o modelo construído para este trabalho torna possíveis. Este relato, além de apresentar os cenários simulados e os resultados obtidos, visa tornar o leitor mais familiarizado com o modelo. As análises apresentadas destacam algumas relações entre as variáveis do sistema e demonstram que o modelo, como é comum acontecer em estudos de simulação, tem potencial para outras utilizações além daquela para a qual foi originalmente concebido. No entanto, apesar da relevância do exposto nas seções anteriores, o objetivo principal deste trabalho ainda não foi atingido. Esta seção apresentará as principais simulações deste trabalho, e seu objetivo maior: a análise da influência da compartimentação dos CT na operação de carregamento.

Para a simulação do carregamento de CT com compartimentação diferente do padrão atual, foram utilizados quatro novos cenários, além do cenário de referência já utilizado anteriormente. Dois destes novos cenários consideram a frota com compartimentos menores que os atuais, e os outros dois consideram a frota com compartimentos maiores que os atualmente utilizados. Desta forma, este estudo pretende analisar as conseqüências da alteração do padrão atual nos dois sentidos possíveis: para maior e para menor.

O principal cuidado na criação dos novos cenários citados foi estabelecer compartimentações possíveis de serem implementadas, além de realistas do ponto de vista da atividade econômica. Este cuidado se deve ao fato de que não é possível variar a capacidade do compartimento padrão de forma contínua, e, mesmo considerando variações discretas, seria pouco prático trabalhar com variações muito pequenas. Seria inviável, por exemplo, utilizar um grande número de cenários em que o compartimento padrão tivesse 4,9 m³, 4,8 m³, 4,7 m³, e assim por diante (além dos cenários simétricos, com 5,1 m³, 5,2 m³, 5,3 m³, etc), pois simular todos estes cenários consumiria muito tempo. Além de impraticáveis em função do consumo de tempo, a grande maioria destes cenários criaria CT irrealis, pois estes teriam tanques pequenos demais, desperdiçando sua capacidade de tração, ou grandes demais, excedendo tal capacidade.

Considerando o acima exposto, optou-se por estabelecer os cenários citados considerando um número inteiro de metros cúbicos para os novos padrões de compartimento. Como não se visa aqui encontrar o compartimento ótimo, e sim analisar as conseqüências e eventuais tendências geradas por volumes de compartimento diferentes do atualmente utilizado, esta abordagem é razoável. Os cenários criados são os seguintes:

- a) Cenário 2a, que considera uma “pequena” redução do compartimento padrão, fixando-o em 4 m³;
- b) Cenário 2b, com “grande” redução, para 3 m³;
- c) Cenário 3a, com “pequeno” aumento, para 6 m³, e
- d) Cenário 3b, com “grande” aumento, para 7 m³.

Os termos “pequeno” e “grande” utilizados nos itens acima não pretendem ter um sentido de mensuração da diferença entre o compartimento simulado e o

padrão atual, mas simplesmente descrever os cenários comparativamente entre si, para futura referência neste trabalho.

Convém relatar ainda um outro ponto importante na criação dos novos cenários para a simulação de CT com compartimentação diferente da atual: nem sempre é possível a utilização da nova capacidade padrão de compartimento para todos os tipos de CT, sob pena de criar, no cenário em questão, CT irreais. Conforme o caso, estes CT poderiam ter tanques pequenos demais, desperdiçando sua capacidade de tração, ou grandes demais, excedendo tal capacidade, recaindo-se no mesmo problema descrito mais acima. Desta forma, a nova compartimentação padrão estabelecida em cada um dos cenários 2a, 2b, 3a e 3b não pôde ser aplicada a todos os CT. A parcela da frota responsável pela transferência não é afetada por ela, e permaneceu com a sua compartimentação única atual, já considerada no cenário de referência. Quanto à frota de entrega, em cada cenário estabeleceu-se um novo compartimento padrão e procurou-se adequar a frota a ele. Quando não foi possível adequar algum tipo de CT ao novo compartimento padrão, o tipo de CT envolvido permaneceu com a compartimentação imediatamente acima da padrão (ou imediatamente abaixo, conforme o caso). Os cenários criados estão mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cenários 2a, 2b, 3a e 3b – características.

cenário	Qtd. Compart. (unid.)	Capac. do compart. (m³)	Percentual da frota (%)	Capacidade do CT (m³)	nº de CT/dia	Volume total (m³)	nº de compart. carregados
Cenário 1	1	30	15,0	30	15	450	15
	3	5	45,0	15	45	675	135
	4	5	25,0	20	25	500	100
	6	5	15,0	30	15	450	90
			100,0			2.075	340
Cenário 2a	1	30	15,0	30	15	450	15
	4	4	45,0	16	45	720	180
	5	4	25,0	20	25	500	100
	7	4	15,0	28	15	420	105
			100,0			2.090	400
Cenário 2b	1	30	15,0	30	15	450	15
	5	3	45,0	15	45	675	225
	5	4	25,0	20	25	500	125
	10	3	15,0	30	15	450	150
			100,0			2.075	515
Cenário 3a	1	30	15,0	30	15	450	15
	3	5	45,0	15	45	675	135
	3	6	25,0	18	25	450	75
	5	6	15,0	30	15	450	75
			100,0			2.025	300
Cenário 3b	1	30	15,0	30	15	450	15
	2	7	45,0	14	45	630	90
	3	7	25,0	21	25	525	75
	4	7	15,0	28	15	420	60
			100,0			2.025	240

Pode-se observar na Tabela 10 que os cenários 2a, 2b, 3a e 3b, apesar de considerarem uma compartimentação dos CT diferente da considerada no cenário 1 (situação atual), utilizam o mesmo número de CT e praticamente a mesma movimentação daquele cenário. Este é um ponto importante e que permite a comparação entre estes cenários, pois, como se viu anteriormente, o tempo da operação de carregamento pode ser fortemente impactado pela demanda diária.

Os resultados da simulação destes cenários serão analisados em separado. Primeiramente serão analisados os resultados dos cenários em que o volume do compartimento padrão dos CT é menor que o atual, e, após, serão analisados os cenários em que este volume é maior que o atual. Estes resultados estão mostrados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11 – Cenários 1, 2a, 2b - resultados

Cenário	transferência (%)	Nº de CT (CT/dia)	Volume carregado (m³/dia)	tempos ¹			
				filas (min)	<i>bottom</i> (min)	<i>top</i> (min)	médio (min)
1	15	100	2.075	24,8	46,7	56,4	52,1
2a	15	100	2.090	33,7	57,1	66,4	62,6
				35,8%	22,1%	17,9%	20,0%
2b	15	100	2.075	32,4	52,2	69,0	61,8
				30,7%	11,7%	22,4%	18,6%

¹ Os tempos *bottom*, *top* e médio incluem o tempo de espera em filas.

Os resultados mostrados na Tabela 11 permitem diversas conclusões, que são relatadas a seguir, tomando-se sempre a situação atual como referência:

a) Em relação ao Cenário 2a (pequena redução do compartimento padrão):

- I. Houve aumento do tempo da operação, conforme era de se esperar, uma vez que neste cenário há mais compartimentos a carregar do que na situação atual. O impacto foi maior no carregamento *bottom* (aumento de 22,1%) do que no *top* (aumento de 17,9%).
- II. A operação com o método *bottom* permanece mais rápida do que com o método *top*. A diferença de tempo neste cenário (9,3 minutos) é muito próxima da diferença na situação atual (9,7 minutos).
- III. O tempo médio perdido em filas (33,7minutos) teve um acréscimo de 35,8% em relação à situação atual.

b) Em relação ao Cenário 2b (grande redução do compartimento padrão):

- I. Houve aumento do tempo da operação, conforme era de se esperar, uma vez que neste cenário há mais compartimentos a carregar do que na situação atual. No entanto, com o método *bottom* este aumento (11,7%) foi menor do que o verificado no cenário 2a (22,1%), enquanto que com o método *top* foi maior (22,4% contra 17,9%).
- II. A operação com o método *bottom* permanece mais rápida do que com o método *top*. A diferença de tempo neste cenário (16,8

minutos) aumentou muito em relação à diferença na situação atual (9,7 minutos).

- III. O tempo médio perdido em filas (32,4 minutos) teve um acréscimo de 30,7% em relação à situação atual.

Tabela 12 – Cenários 1, 3a, 3b - resultados

Cenário	transferência (%)	Nº de CT (CT/dia)	Volume carregado (m³/dia)	tempos ¹			
				filas (min)	<i>bottom</i> (min)	<i>top</i> (min)	médio (min)
1	15	100	2.075	24,8	46,7	56,4	52,1
3a	15	100	2.025	24,8	46,7	55,0	51,7
				0%	0%	-2,4%	-0,8%
3b	15	100	2.025	28,4	52,1	56,9	55,4
				14,6%	11,5%	1,0%	6,3%

¹ Os tempos *bottom*, *top* e médio incluem o tempo de espera em filas.

Os resultados mostrados na Tabela 12 permitem diversas conclusões, que são relatadas a seguir, tomando-se sempre a situação atual como referência:

- a) Em relação ao Cenário 3a (pequeno aumento do compartimento padrão):
- I. A expectativa de decréscimo do tempo da operação em função do menor número de compartimentos a carregar não se confirmou. O tempo da operação praticamente não se alterou, tendo havido apenas um pequeno decréscimo no *top loading*.
 - II. A operação com o método *bottom* permanece mais rápida do que com o método *top*. A diferença de tempo neste cenário (8,3 minutos) caiu aproximadamente 15% em relação à diferença na situação atual (9,7 minutos).
 - III. O tempo médio perdido em filas foi igual ao da situação atual.
- b) Em relação ao Cenário 3b (grande aumento do compartimento padrão):
- I. Houve aumento do tempo da operação pelo método *bottom* (11,5%), ao contrário do que se poderia imaginar, já que o número de compartimentos a carregar diminuiu. No carregamento *top* o tempo foi praticamente igual ao da situação atual (acréscimo de 1,0%).

- II. A operação com o método *bottom* permanece mais rápida do que com o método *top*, mas a diferença de tempo neste cenário (4,8 minutos) diminuiu bastante e representa aproximadamente a metade da diferença na situação atual (9,7 minutos).
- III. O tempo médio perdido em filas (28,4 minutos) teve um acréscimo de 14,6% em relação à situação atual.

Outros comentários de cunho mais geral podem ser feitos com base nos resultados mostrados nas Tabelas 11 e 12, destacando a complexidade do sistema e a utilidade do modelo para o estudo da operação em análise. Na alínea I do item b do cenário 2b, nota-se que o aumento do tempo da operação foi menor, com o compartimento padrão de 3 m³, do que no cenário 2a, com o compartimento padrão de 4 m³. Este resultado é, em princípio, contrário ao que se poderia esperar, uma vez que uma compartimentação com menor volume padrão significa mais compartimentos a serem carregados, já que o volume total diário é praticamente constante. Havendo mais compartimentos a carregar, haveria mais mudanças do braço de carregamento entre o compartimento anterior e o próximo a ser carregado, ou seja, maior gasto de tempo. No entanto, a simulação mostra que o carregamento *bottom* consegue uma produtividade melhor no cenário 2b do que no cenário 2a. Um dos fatores que influencia neste resultado é a vantagem característica do método *bottom*, que é a possibilidade de carregar mais de um compartimento simultaneamente. Portanto, quanto mais compartimentos o CT possuir, maior a probabilidade de haver esta simultaneidade, já que aumenta a probabilidade do CT estar programado para carregar o mesmo produto em diversos compartimentos. Assim, percebe-se que uma análise simples do sistema, baseada em apenas um parâmetro, pode levar a conclusões erradas, reforçando mais uma vez a recomendação de utilização de ferramenta de simulação para uma análise mais abrangente do problema.

Um outro comentário que convém relatar se refere à alínea I do item a do cenário 3a. Neste cenário, a simulação mostra que, apesar do volume do compartimento padrão ter aumentado, o tempo de carregamento pelo método *bottom* manteve-se inalterado. Um fator importante neste caso foi a compartimentação que foi possível estabelecer para a frota. Nesta, nota-se que,

além dos CT de transferência, que não foram alterados em nenhum cenário, os CT de 15 m³ (originalmente 3 x 5m³) também não foram alterados. Isto se deveu ao fato de que não seria possível modificá-los para o compartimento padrão deste cenário (6 m³), pois seu tanque teria que ter uma capacidade de 18 m³ (3 x 6 m³), o que excederia sua capacidade de tração. Alternativamente, transformá-lo para 12 m³ (2 x 6 m³) causaria um sub-aproveitamento do CT. Desta forma, optou-se por mantê-lo inalterado em relação à situação atual. Ocorre que este tipo de CT é o mais comum e, desta forma, somando-se a sua participação na frota (45%) com a dos CT de transferência (15%) verifica-se que neste cenário 60% dos CT tem a mesma compartimentação que na situação atual, o que com certeza contribuiu para que os resultados da simulação deste cenário sejam próximos dos resultados obtidos com o cenário de referência.

Convém destacar ainda que à medida que a compartimentação padrão aumenta, e conseqüentemente o número de compartimentos dos CT diminui, o método *bottom* perde eficiência. Isto é bastante natural, uma vez que a vantagem principal deste método é o carregamento simultâneo de mais de um compartimento. Note-se que no cenário 3b o CT mais comum, o de 15 m³, foi transformado para 14 m³ (2 x 7 m³). Assim, o método *bottom* só apresentará vantagem, neste cenário, se o CT for carregar o mesmo produto nos dois tanques, ou seja, se for carregar um único produto

Por fim, note-se que, de uma forma geral, as simulações mostraram que o método *bottom* é mais sensível e menos previsível em relação às mudanças na compartimentação dos CT do que o método *top*.

5.6 Comentários finais

Na última seção acima foram apresentadas as principais simulações realizadas durante este trabalho, e nas três anteriores foram relatadas outras simulações que demonstraram a possibilidade de aplicação do modelo para finalidades diferentes do objetivo central deste estudo. Em nome da objetividade, optou-se por não descrever todos os detalhes das simulações e da operação em si nas seções anteriores, mantendo-as concentradas em apresentar os resultados obtidos e as suas respectivas análises. Os detalhes complementares, como dados

do levantamento de campo, estatísticas e cálculos são apresentados nos apêndices deste trabalho, deixando ao leitor, conforme o seu interesse, a opção de consultá-los ou não. Alguns pontos importantes, no entanto, não foram citados ainda, pois têm relação com todo o trabalho e não com um cenário específico. Estes pontos serão esclarecidos a seguir nesta seção, completando este capítulo.

O primeiro ponto que deve ser esclarecido aqui é o número de replicações utilizado nas simulações. Este é um dado básico para o Arena[®] e é inicializado pelo programador. Neste trabalho, a título de teste final do modelo foram feitas algumas simulações utilizando o número de dez replicações. O relatório padrão de resultados do Arena[®] – denominado *Category Overview Report* – apresenta um parâmetro relacionado à precisão dos resultados chamado *half width*, assim definido na documentação (Arena[®] *Online Help*) do *software*:

“Confidence Intervals — Across Replications

The "Half Width" column of the Category Overview Report is included to help you determine the reliability of the results from all your replications. Two results are possible in the "Half Width" category:

Insufficient: If only one replication is executed, Arena will return the message "Insufficient" for that variable's half width, indicating there is insufficient data to accurately calculate the half width. Running the simulation for more than one replication will produce a value.

A value: If a value is returned in the Half Width category, this value may be interpreted by saying "in 95% of repeated trials, the sample mean would be reported as within the interval sample mean \pm half width". The half width can be reduced by increasing the number of replications.”

Para determinar o número de replicações a ser utilizado neste estudo, foram feitas simulações utilizando o cenário de referência com 30, 50 e 70 replicações, além do teste citado, com 10 replicações. Na análise dos resultados obtidos, utilizaram-se os valores referentes a dois processos que apresentaram as maiores dispersões de resultados: o tempo de espera em filas e a geração de CT. As Tabelas 13 e 14 mostram os resultados obtidos.

Tabela 13 – Efeito do aumento do número de replicações I

Processo	Replicações	Média (min)	Half width (min)	Desvio padrão
Espera em filas	10	30,8	9,0	4,6
	30	26,9	6,0	3,1
	50	24,8	4,2	2,1
	70	24,5	3,6	1,8

Os resultados mostrados nas Tabelas 13 e 14 mostram uma convergência dos valores dos tempos dos processos analisados (coluna *Média*). Ao mesmo tempo, estes resultados mostram uma progressiva diminuição do desvio padrão à medida que o número de replicações aumenta, o que seria de se esperar, já que os processos envolvidos são estocásticos. O parâmetro *half width*, diretamente relacionado com o desvio padrão, tem comportamento similar, como prevê a documentação do Arena[®] citada acima.

Tabela 14 – Efeito do aumento do número de replicações II

Processo	Replicações	Média (unid.)	Half width (unid.)	Desvio padrão
Entrada de CT	10	105	9,64	4,9
	30	100	4,97	2,5
	50	99	3,95	2,0
	70	100	3,07	1,6

Um aspecto que deve ser considerado na escolha do número de replicações é o tempo disponível para a execução do estudo. Mesmo que uma replicação consuma um tempo aparentemente pequeno, a escolha de um grande número de replicações pode levar a simulação de cada cenário a consumir um tempo razoável. O Arena[®] permite o controle da velocidade na execução da simulação, e a utilização deste recurso é altamente recomendável. No entanto, não há no *software* um indicador desta velocidade, não estando disponível, portanto, uma medição absoluta deste parâmetro. A título de exemplo, registra-se aqui a informação de que, nas condições utilizadas neste estudo, o Arena[®] gastava na simulação de cada cenário aproximadamente 11 minutos para realizar 30 replicações, 18 minutos para 50 replicações e 23 minutos para 70 replicações. Um estudo deste tipo normalmente envolve um número de corridas de simulação

significativamente maior do que as que constam no relatório final, já que durante o trabalho é necessário realizar corridas de teste do modelo, corridas para comparação entre opções, corridas em baixa velocidade para verificação visual do correto funcionamento do modelo, etc. Assim, fica clara a importância da escolha de um número adequado de replicações devido ao seu impacto no tempo total de execução do estudo.

Levando em conta os aspectos expostos acima, decidiu-se utilizar neste trabalho um número de replicações que garantisse um desvio padrão dos resultados igual ou menor que 10% da média. Pode-se verificar na Tabela 13 que a partir de 50 replicações o tempo gasto com a *espera em filas* atende a este critério. Os resultados da Tabela 14 mostram que o processo *entrada de CT* apresenta menor dispersão de resultados que o parâmetro *espera em filas* e já a partir de 10 replicações atende ao critério citado. Os resultados dos cenários 1 e 1c, constantes nas Tabelas 5 e 7, respectivamente, mostram que o desvio padrão para 50 replicações também atende ao critério citado, assim como os resultados mostrados no Apêndice D referentes às tabelas 6, 9, 11 e 12. Considerando que o número de 50 replicações é suficiente para atender ao critério estabelecido para todos os parâmetros do modelo, este foi o número de replicações utilizado ao longo deste trabalho. Assim, que o critério estabelecido para determinar o número de replicações garante uma boa precisão dos resultados, com um número de replicações razoável.

O segundo ponto a esclarecer nesta seção é de cunho operacional. Trata-se da existência de outros processos na base, além dos considerados neste estudo, e que não constam no modelo. Como se viu na revisão bibliográfica, recomenda-se que o modelo seja construído focando o problema específico a ser estudado, mantendo-o o mais simples possível. Desta forma, não há necessidade de incluir no modelo todos os processos que ocorrem na base, mas apenas aqueles que têm influência direta na operação a ser estudada, ainda que ocorram simultaneamente. Durante a análise da operação a ser simulada, uma outra operação destacou-se como a maior “candidata” a ser incorporada no modelo: a operação de descarga de CT. Descreve-se aqui sucintamente a análise que resultou em sua não inclusão no modelo construído, visando não só justificar esta não inclusão, como também a de

outras operações que, por serem menos importantes em relação à operação principal do que esta, por consequência também não deveriam ser incluídas.

As operações de descarga de CT mais comuns nas bases são as relativas ao recebimento de álcool, proveniente da coleta nas usinas produtoras, e ao recebimento de combustíveis transferidos de outra base. Estas operações compartilham com a operação de carregamento de CT a infra-estrutura e os funcionários da base nos processos de entrada pelo *drive-in* e de saída pelo *drive-out*. Os demais processos que compõem a operação de descarga são independentes do carregamento. Assim, para verificar a necessidade ou não de incluir a operação de descarga de CT no modelo, bastaria averiguar a eventual influência da demanda da frota de recebimento de produtos nos processos do *drive-in* e do *drive-out*. Para tanto, recorreu-se à simulação com um novo cenário, constituído pelo cenário de referência, porém com os tempos gastos no *drive-in* e no *drive-out* dobrados. Este artifício foi a forma mais simples e rápida de encontrar a resposta procurada, uma vez que não envolveu nenhuma mudança no fluxograma do modelo; simplesmente acrescentou-se nas fórmulas dos tempos dos processos o seu próprio valor, apurado na simulação do cenário de referência, dobrando, portanto, o seu tempo total. Na realidade, ao “dobrar” o tempo conforme relatado acima, o tempo resultante do processo pode ser ligeiramente diferente do dobro do valor original, uma vez que o *software* vai executar nova simulação e os processos são estocásticos. Este artifício de dobrar os tempos dos processos no *drive-in* e no *drive-out* equivale a considerar que a demanda referente à descarga de CT nesses processos seria igual à referente ao carregamento, o que por si só já é uma hipótese mais impactante do que qualquer situação real. Desta forma, se a verificação realizada com o cenário modificado como descrito acima mostrasse um pequeno impacto nos resultados gerais da operação de carregamento, ficaria comprovado que a operação de descarga de CT não deveria ser incluída no modelo. O resultado desta simulação mostrou um impacto máximo de 9% no tempo da operação de carregamento, e um acréscimo de tempo do *drive-in* de 100,3% e no *drive-out* de 99,6%. Considerando a coerência dos resultados e que a hipótese testada era bastante mais penosa para o sistema do que qualquer situação real possível, decidiu-se não incluir nenhum aspecto referente à descarga de CT

no modelo, já que esta operação pode ser desprezada para os efeitos deste trabalho.

Esta seção encerra o capítulo 5, no qual foram apresentados os cenários considerados, suas simulações, seus resultados e as suas respectivas análises. Foram relatadas as simulações principais, diretamente relacionadas ao objetivo deste estudo, assim como algumas outras análises da operação de carregamento de CT que o modelo utilizado torna possíveis. Para o encerramento desta dissertação, apresentam-se a seguir as conclusões do trabalho.