

Simulação de uma Base de Distribuição de Combustíveis

André Rebouças Cruz

Universidade Federal Fluminense
R. Doze - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ
andrerc@id.uff.br

Reinaldo Crispiniano Garcia

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia, Bloco E, Asa Norte, Brasília - DF
rcgarcia@unb.br

Tiago Araujo Neves

Universidade Federal Fluminense
R. Doze - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ
tneves@id.uff.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação para os processos de carregamento de caminhão tanque em uma base de distribuição de combustíveis. Por meio de uma abordagem quantitativa empírica, foi possível estruturar um banco de dados relativos a quatro meses de operação, levando em conta as regras e características do terminal. Com isso, desenvolveu-se um modelo descritivo para essas atividades, capaz de mensurar custos operacionais ao longo do tempo, e que pôde ser aplicado a um estudo de caso real, de forma a prescrever a melhor alternativa entre duas opções de investimento. O projeto também contribuiu com a proposição de uma nova métrica de custeio, desenvolvida em conjunto com a equipe de supervisão da base.

PALAVRAS CHAVE. Simulação.Eventos Discretos.Distribuição. Combustíveis. Logística.

Tópicos (Simulação, PO na área de Energia, Óleo e Gás)

ABSTRACT

This work aimed to develop a simulation model for tank truck loading processes in a fuel distribution terminal. Through an empirical quantitative approach, it was possible to gather data from four months of operation, taking into account the rules and characteristics of the terminal. Thus, a descriptive model for these activities was developed, capable of measuring operating costs over time, which could be applied to a real case study, in order to prescribe the best alternative between two investment options. The project also contributed by proposing a new costing metric, developed together with the terminal's supervision team.

KEYWORDS. Simulation.Discrete Event.Fuel Distribution. Logistics.

Paper topics (Simulation, OR in Energy, Oil and Gas)

1. Introdução

Quando Bowersox et al. [2013] trata da importância da logística para a economia, comenta que ela adiciona valor aos processos da cadeia de suprimentos posicionando (ou condicionando) estrategicamente um estoque para atender as demandas. Esse esforço é custoso, e em 2016 os gastos totais com operações logísticas somaram 7,5% do produto interno bruto (PIB) dos Estados Unidos naquela época, sendo 4,8% gastos somente com transporte, totalizando 895 bilhões de dólares.

O mercado de combustíveis tem um papel fundamental na economia mundial, alcançando os consumidores por meio de uma cadeia logística longa e complexa. Essa cadeia de suprimentos pode ser afetada por crises geopolíticas e volatilidade de preços, ampliando a importância da previsão e otimização dos recursos em horizontes de tempo cada vez menores. Por isso, a busca por ferramentas de integração, que possam tornar essas cadeias de suprimentos mais adaptáveis, auxiliando a tomada de decisão e reduzindo custos, é cada vez maior. [Lima et al., 2016]

Em uma breve explicação sobre a cadeia de suprimentos do setor de combustíveis, Lima et al. [2016] descrevem o *upstream* como a etapa de extração e transporte de matéria prima para as refinarias e usinas. Nelas, os insumos transformam-se em produto final, atendendo a todas as especificações de qualidade cabíveis, completando a etapa chamada de *midstream*. A partir desse momento, na fase de *downstream*, a logística começa a ganhar maior complexidade. O combustível precisa ser distribuído para bases de distribuição, localizadas estrategicamente por todo o país, levando em conta suas respectivas demandas, capacidade de armazenamento e o modal mais adequado (por caminhão, trem, duto ou navio). Essa é conhecida como a distribuição primária, e já incorre em custos relevantes. [Fernandes et al., 2014]

A operação das bases de distribuição está no centro do *downstream*, e serve como ponto de partida para a distribuição secundária, que leva os produtos até os postos de combustíveis. A infraestrutura dessas instalações é determinante para garantir um nível de serviço adequado e uma boa utilização dos ativos da empresa. Por isso, manter uma base com excessivo tempo de espera para carregamento de caminhões impacta diretamente a margem de lucro das vendas, e pode inviabilizar muitos negócios. A Figura 1 ilustra a cadeia de suprimentos de combustíveis, onde se encontram as bases de distribuição pertinentes a este projeto com o nome *Bulk Terminal Storage*.

Flow of crude oil and gasoline to your local gas station

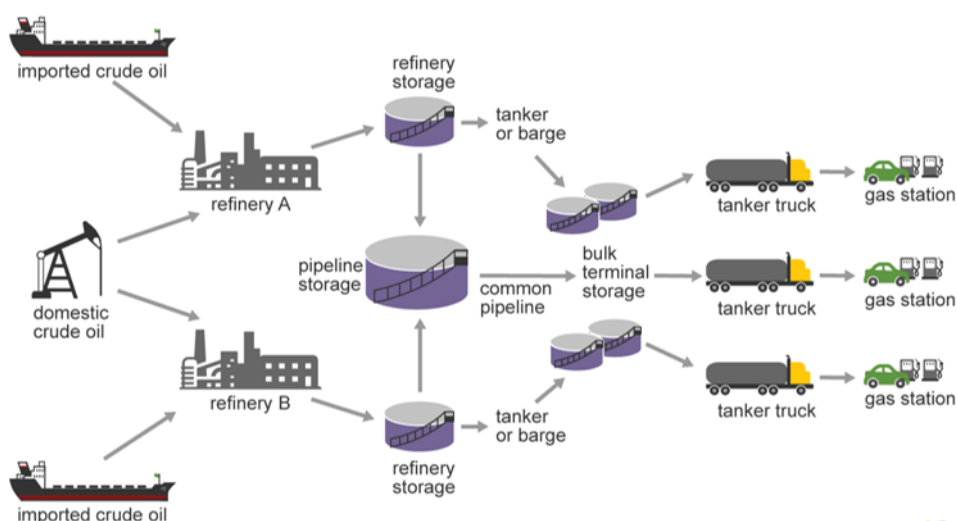


Figura 1: Esquema da cadeia de suprimentos de combustíveis. Fonte: U.S. Energy Information Administration

A pesquisa operacional dispõe de várias ferramentas úteis de otimização e análise de decisão. Entre elas, Hillier e Lieberman [2013] destacam a simulação como uma das mais utilizadas e flexíveis, imitando o funcionamento de um processo inteiro. Nem sempre é possível aplicar técnicas mais conhecidas, como modelos de filas ou transportes, em razão da complexidade e incerteza inerente às atividades em análise. A simulação, por sua vez, é capaz de incorporar todas essas variáveis num modelo específico para cada caso. Trabalhos como o de Rodrigues et al. [2024] reforçam como essa técnica é útil, principalmente no setor de combustíveis.

Brailsford et al. [2014] reforçam a importância da disciplina, destacando a abordagem de simulação por eventos discretos como uma das mais comuns no meio acadêmico e empresarial. Trata-se de uma modelagem de objetos individuais (chamados de entidades) que percorrem um fluxo de atividades, alterando constantemente variáveis de estado do sistema ao longo do tempo. Toda vez que ocorre uma mudança de estado, registram-se as informações desse instante. Os intervalos de tempo relativos a essas atividades podem ser descritos por curvas de probabilidade, e cada entidade pode receber uma série de atributos que determinam seu comportamento no sistema.

Tendo isso em vista, este estudo se propõe a analisar o funcionamento de uma base de distribuição de combustíveis, a fim de desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão. A instalação, objeto do presente estudo, conta com tanques de armazenamento, podendo ser abastecida em modal ferroviário, rodoviário e por duto. No entanto, ela se destina a distribuir somente no modal rodoviário, e, por isso, o enfoque do trabalho se deu nas operações de carregamento de caminhão tanque. Além disso, o terminal possui indicadores relacionados a esses processos que serão levados em conta para a validação e avaliação de diferentes cenários no modelo: Custo Unitário e *Gate to Gate*.

O restante deste trabalho será organizado da seguinte maneira: Na seção 2 será feita uma breve explicação das operações da base. Já na seção 3, será discutida a metodologia que embasou o projeto, seguida de um mapeamento do processo na seção 4. Em seguida, nas seções 5 e 6 serão apresentadas respectivamente as análises dos dados e validação do modelo e uma aplicação do mesmo em um caso real. Finalmente, na seção 7 serão apresentados os resultados do estudo e as conclusões.

2. Descrição das Operações

Todas as atividades que resultam no carregamento de caminhões tanque são chamadas de carregamento, e ocorrem somente em plataformas de abastecimento. Existem duas modalidades conhecidas como *top* e *bottom*. Na primeira, os braços de carregamento são posicionados acima do autotanque, e o operador os insere pela escotilha de cada compartimento. Uma vez que o braço do produto programado está posicionado na escotilha do compartimento a ser carregado, aciona-se a liberação do fluxo. Esse mesmo procedimento se repete para cada compartimento, um de cada vez.

Já no carregamento *bottom*, os braços estão posicionados no nível do solo, e o operador os acopla em bocais situados nas laterais do caminhão, um para cada compartimento. Da mesma forma que no carregamento *top*, cada braço de carregamento corresponde a um produto, com a diferença de que é possível acoplar múltiplos braços simultaneamente (um para cada compartimento). Isso permite o abastecimento dos compartimentos do veículo em paralelo e portanto agiliza a operação.

Todos os comandos de liberação de fluxo para o abastecimento são controlados por um sistema automatizado chamado de *multiload*, que possui as receitas de todas as devidas misturas (entre álcool e gasolina, ou entre diesel e biodiesel) além de alimentar o servidor da base com os dados do carregamento: hora de início e fim do carregamento, para cada braço, em cada compartimento, para todas as viagens (forma com que se chama a entrada de um veículo para ser carregado). É a partir desses registros que a performance da base pode ser avaliada em tempo real. Os indicadores chave de performance (KPIs) relativos às operações de carregamento são definidos como:

- *Gate to Gate*: o *lead time* mensal médio entre a entrada de um caminhão no perímetro da base, para ser carregado, até a sua saída.

$$Gate\ to\ Gate = \frac{\sum_{n=1}^n Tempo\ da\ Viagem\ n}{n} \quad (1)$$

- *Custo Unitário*: a razão entre os custos operacionais mensais (OPEX) e volume carregado (ou volume movimentado em m³) total durante um mês de funcionamento.

$$Custo\ Unitario = \frac{OPEX\ Mensal}{\frac{Volume\ Movimentado}{1000}} \quad (2)$$

Uma vez que os caminhões finalizam o processo de carregamento, a sua programação pode exigir a aditivação dos produtos ou a tomada de amostras para fins de controle de qualidade. Esses procedimentos são realizados em uma plataforma separada, onde um funcionário da base se dedica a tarefa de aditivação manual e coleta. Nesse caso, não há registros de rotina no sistema de automação, sabendo-se somente o horário de saída do autotanque e o horário de finalização do carregamento.

O modelo deve monitorar esses indicadores por meio de módulos específicos que registram o tempo das viagens e o volume movimentado mensal. A variável de OPEX mensal, por sua vez, foi extraída dos relatórios mensais da companhia, detalhando os custos operacionais de cada mês no ano de 2020. Com isso, para os fins deste modelo, utilizou-se a média desses valores, resultando num custo unitário aproximado em reais por metro cúbico.

No entanto, mesmo usando essas informações no dia a dia, a equipe do terminal ainda sente dificuldade de medir os ganhos financeiros que podem surgir com a sua eficiência operacional. O motivo disso é que a estimativa do impacto de possíveis investimentos na infraestrutura do terminal está relacionada com muitas variáveis. Mas, com a simulação desses processos num modelo, torna-se possível associar dados gerados nas iterações, e assim chegar numa estimativa de desempenho com confiabilidade e coerência. Nesse sentido, uma nova métrica de custeio foi elaborada, em conjunto com a equipe de supervisão da base, afim de traduzir a eficiência operacional em termos monetários. A equação 3 representa o custo incorrido durante um mês de operação, levando em conta o custo unitário e a soma de todo o tempo dedicado ao carregamento, em minutos.

$$Custo\ Incorrido = \frac{Custo\ Unitario * \sum Tempo\ de\ Carregamento}{Tempo\ para\ carregar\ 1m^3} \quad (3)$$

Para garantir que o resultado da expressão resulte em um valor monetário, incluiu-se como variável o tempo que leva para se carregar 1m³. Dessa forma, a equação resulta num quociente cujo numerador está em min * $\frac{R\$}{m^3}$ e o divisor em $\frac{min}{m^3}$. Com a divisão, essas unidades se cancelam, agregando em um único indicador o comportamento do volume (com o custo unitário) e do gate to gate, com o tempo total de carregamento. Essa medida resume a cadeia de valor do terminal, e serve como mais um parâmetro para a tomada de decisão com a avaliação de cenários na simulação.

Outra expressão desenvolvida durante o projeto se dedica a traduzir o uso da capacidade instalada, levando em conta o tempo disponível para operação, a demanda, e os recursos disponíveis. Existem restrições físicas e temporais que limitam a operação do terminal e orientam a estimativa da sua capacidade. Assim, a expressão 4 calcula em termos percentuais quantas horas de fato tem sido gastas carregando diante de todo o tempo que a instalação tem disponível.

$$Capacidade\ em\ Uso = \frac{Gate\ to\ Gate\ Medio * N^o\ de\ Viagens}{60} * 100 \quad (4)$$

$$Horas\ disponiveis\ no\ ms * N^o\ de\ Baias$$

A companhia entende que uma medida ideal de capacidade deve ficar entre 60% e 70%, e que a partir desse ponto são cogitadas obras para ampliação da capacidade das instalações. Com isso, é possível ter uma noção do impacto de alguma mudança no modelo em função da estrutura operacional, de forma que se saiba quando certa situação seria viável ou não.

3. Metodologia

Cauchick [2019] contribui com uma visão geral da metodologia científica aplicada à engenharia, incluindo os paradigmas atuais da área de pesquisa operacional e simulação. O autor dá ênfase à pesquisa quantitativa baseada em modelos e técnicas de simulação por eventos discretos, discutindo os seus dois desdobramentos possíveis, entre as classes axiomática e empírica. Essa tipologia pode ser particularmente entendida como uma abordagem de geração de conhecimento racional, não somente pela premissa de que se pode explicar pelo menos parte dos processos reais, mas também porque as relações causais entre as variáveis permitem prever o futuro das atividades modeladas.

A abordagem empírica concentra-se em garantir uma aderência entre o que se observa na realidade e o comportamento do modelo, envolvendo a interpretação do mundo natural com fontes de dados reais. Assim, essa abordagem também pode assumir um caráter descritivo e prescritivo. Por essa razão, aplicam-se a ela os seguintes passos, descritos por Bertrand e Fransoo [2002], para essa modalidade: identificação das premissas do problema; identificação dos tipos de decisões e processos envolvidos; a derivação de hipóteses quanto ao funcionamento do sistema; o desenvolvimento de métricas para o modelo; apresentação dos resultados; interpretação das observações em relação às hipóteses; e a confirmação ou rejeição do modelo.

Como o projeto prevê a validação de um modelo de simulação que descreve as operações da base de distribuição de combustíveis, seguida de uma aplicação prática para uma tomada de decisão, entende-se que o estudo usará, em um primeiro momento, um paradigma descritivo, para, posteriormente realizar um estudo de caso de caráter prescritivo. Sendo assim, as técnicas de validação do primeiro modelo serão baseadas nas contribuições de Law [2019] e Sargent [2010], a fim de garantir que o segundo também possa produzir resultados consistentes com a realidade.

4. Mapeamento do Processo de Carregamento

No formato de guia de boas práticas, Bilodeau et al. [2013] fazem uma coletânea do corpo de conhecimento do *Business Process Management* (BPM), constituindo uma referência importante para o *Business Process Management Notation* (BPMN). Essa técnica se difundiu como padrão de modelagem no mercado, definindo uma notação padronizada que facilita sua compreensão. Para os fins deste projeto, esses princípios foram usados para orientar a tarefa de estudo do processo de carregamento de caminhões tanque. Na Figura 2, a seguir, encontra-se um desdobramento em alto nível das atividades que um motorista realiza para carregar na base de distribuição.

O primeiro passo ao chegar nas imediações da base é a realização do *pre-check*. Essa atividade consiste na confirmação de chegada do motorista por meio de um console instalado na sala de espera. Com isso, a programação de carregamento é confirmada, emitindo-se um recibo com todos esses dados para o condutor, especificando quais serão os compartimentos carregados, o volume e com quais produtos. Desse ponto em diante o sistema reconhece que existe um caminhão esperando para carregar e o chama automaticamente se houverem baias disponíveis.

Assim que for chamado, o veículo tem quinze minutos para entrar no terminal, registrando sua entrada em um console instalado na cancela de entrada. A partir desse momento o sistema sabe

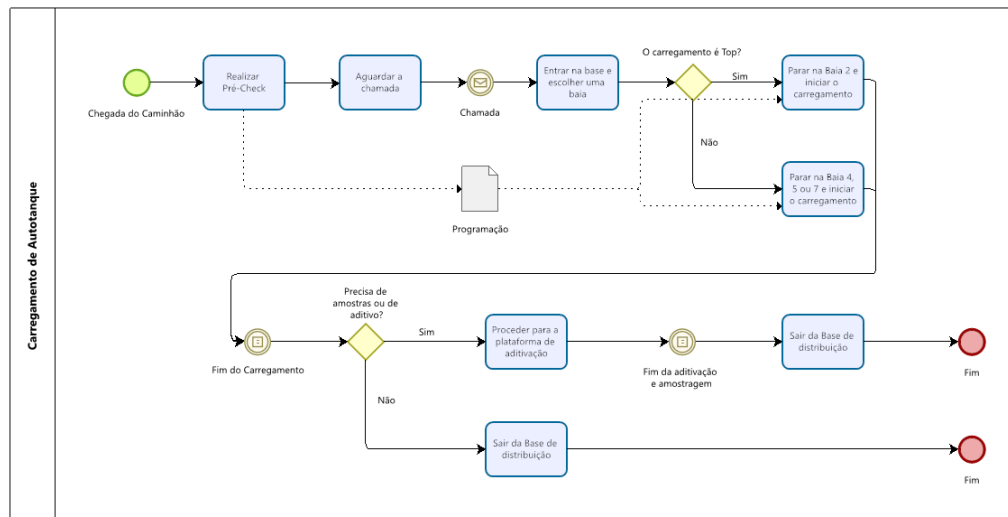


Figura 2: Mapeamento do processo de carregamento de autotanque na Base . Fonte: O Autor

exatamente o seu horário de entrada e passa a contar o tempo de estadia do caminhão na base. Em seguida, o condutor procede para a plataforma de carregamento, onde escolherá alguma baia disponível, a depender da configuração do seu autotanque: se ele for do tipo top, somente poderá carregar na baia 2, caso contrário, poderá optar pelas baias 4, 5 e 7.

Finalmente, uma vez que o processo de carregamento se conclui, o motorista pode prosseguir para a saída ou aditivção/amostragem dos produtos, na plataforma de aditivção. Esse processo não é integrado ao sistema de dados da base, sabendo-se somente a hora do fim do carregamento e a de saída do veículo. É possível, no entanto, determinar uma distribuição geral para essa fase do atendimento, a fim de tornar o modelo mais realista. O mapeamento facilita a identificação de pontos como esse, orientando a análise dos dados que irão compor o modelo. Na seção seguinte serão discutidas as premissas e passos dados na exploração dos dados empíricos da base.

5. Análise Exploratória de Dados

O sistema de automação da base de distribuição disponibiliza relatórios mensais em dois formatos: os intervalos de tempo entre cada fase do processo de carregamento para cada viagem ocorrida; e o relatório de carregamento diário, que desdobra as informações de programação e volume em cada uma dessas viagens. Assim, em função de estruturar um banco de dados suficiente para uma simulação de um mês de operações, decidiu-se extrair relatórios dos meses de setembro a dezembro de 2020. Esse conteúdo foi compilado em uma planilha única, totalizando 11.595 viagens.

Levando em conta o mapeamento realizado na seção anterior, procurou-se entender o comportamento de diferentes aspectos da operação por meio de uma análise exploratória. O estudo de como ocorre a chegada dos caminhões, como estes estão configurados, sua compartimentação interna, quais são as programações esperadas, em quanto tempo se costuma carregar, a distribuição do volume carregado e os tempos de saída, é fundamental para que o modelo possa ser devidamente parametrizado de acordo com a realidade. Por esse motivo, as seções a seguir serão dedicadas a detalhar esse estudo.

É importante mencionar que as curvas de distribuição de probabilidade, apresentadas no decorrer desta seção, foram encontradas usando um módulo da plataforma Arena, chamado *Input Analyzer*. Essa aplicação compara diversas distribuições, escolhendo aquela que apresentar a

maior aderência entre todas as expressões testadas. No entanto, ao aplicar os testes estatísticos qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov, não foi possível verificar encaixe para todas as curvas teóricas, sendo necessário construir expressões específicas com as probabilidades cumulativas calculadas pelo próprio aplicativo. Assim, em concordância com a metodologia quantitativa empírica apresentada por Cauchick [2019], buscou-se descrever a realidade observada da melhor forma possível, mesmo que parcialmente, considerando, também, o que ensina Law [2019], de que a coerência do modelo final com a realidade confere, por si só, validação suficiente.

5.1. Chegada dos Caminhões

Os dados disponibilizados no sistema permitem a identificação das viagens com um código único, desdobrando, para cada uma, informações específicas como a data e hora de chegada na base. Por isso decidiu-se observar a frequência da chegada de caminhões por dia da semana, a fim de validar uma distribuição de probabilidade que descreva a demanda a cada dia da semana. O resultado foi uma expressão para cada dia da semana representando a quantidade de caminhões que chegam no dia dividido por 24 horas. Assim, a cada hora da simulação, geram-se veículos conforme a distribuição do dia.

Distribuições de Chegadas por Dia	
Dia	Expressão
Segunda	$NORM(112, 36.4)/24$
Terça	$NORM(104, 41)/24$
Quarta	$CONT(0,0,0.793,112,0.931,158,0.931,204,0.966,250,1,296)/24$
Quinta	$CONT(0,0,0.714,108,0.929,144,0.929,179,0.964,215,1,250)/24$
Sexta	$CONT(0,0,0.385,114,0.846,148,0.923,181,0.923,215,1,248)/24$
Sábado	$CONT(0,0,0.571,97.6,0.893,127,0.929,157,0.929,186,1,216)/24$
Domingo	$(4.5 + GAMM(4.23, 1.49))/24$

Tabela 1: Distribuições de chegadas de caminhão por dia da semana

5.2. Compartimentação e Programações

Os tanques transportados pelos caminhões podem ser subdivididos em compartimentos separados, permitindo o carregamento de diferentes produtos ao mesmo tempo. Por isso, ao realizar o *pre-check*, o motorista confirma quais combustíveis serão carregados em cada compartimento, bem como o seu volume em cada um, emitindo um recibo com essa programação.

O estudo da configuração típica dos veículos que frequentam a base é fundamental para a precisão do modelo no que diz respeito aos tempos de atendimento e volume movimentado. Caminhões que carregam um par de compartimentos com o mesmo produto podem vir a ser atendidos mais rápido ou demorar mais por conta disso. Afinal, se houverem dois braços *bottom* de um mesmo produto, é possível carregar um par de compartimentos em paralelo.

Por essa razão, a partir da base de dados estabelecida, foram filtrados os dados relativos à compartimentação e programação das viagens. Em primeiro lugar, analisou-se a distribuição dos compartimentos, a fim de entender o perfil médio dos caminhões que frequentam a base. E nesse sentido é importante mencionar que se entende por compartimento aquilo que efetivamente será carregado.

A programação dos caminhões, por sua vez, está relacionada com a compartimentação no sentido de que ela expressa indiretamente a demanda por um certo produto. Se a gasolina, por exemplo, tiver a maior demanda, espera-se que ela ocupe, em geral, mais compartimentos. Passa a ser necessário, então, conhecer previamente os compartimentos a serem carregados para então

estimar a programação mais provável de um determinado perfil. Por essa razão, foi feita uma matriz de frequências relacionando o número de seções a serem carregadas com os produtos da base: gasolina (GASA), álcool hidratado (ALCH), diesel S500 (DIESE) e diesel S10 (ODS10).

O relacionamento dessas variáveis numa matriz revela com clareza um perfil médio de carregamento para cada compartimento, conforme a Tabela 2.

Frequência de Atributos por Compartimento (%)										
Compartimentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caminhões	0,8	2,7	7,8	22,2	18,4	27,6	13,1	2,5	4,1	0,5
ALCH	8,6	10,3	9,0	10,9	11,0	11,4	16,3	34,8	8,8	80,7
DIESE	8,8	9,1	12,7	7,4	9,4	8,7	5,7	2,6	3,8	17,9
GASA	38,3	39,8	56,7	67,8	65,7	66,3	63,4	47,0	62,9	1,4
ALCA	44,3	40,8	21,6	13,9	14,0	13,6	14,6	15,6	24,5	0,0

Tabela 2: Matriz de Frequência de Atributos por Compartimento (%)

5.3. Distribuições de Tempos e Volumes

O processo de carregamento se inicia a partir do momento que o caminhão para na plataforma, e o motorista segue o procedimento padrão de aterramento, acoplando os braços nos bocais do autotanque. Há diversos fatores que podem afetar esse procedimento, (a oscilação da vazão das bombas, o volume a ser carregado e a compartimentação do tanque entre outros) por isso, optou-se pela abordagem de estudar o tempo de carregamento entre as baías bottom, o tempo de carregamento de um braço bottom, e o tempo de um braço top. O sistema reconhece o horário de início e fim da atividade, sendo possível levantar as estatísticas descritivas desse intervalo entre todas as viagens da base de dados.

O quadro da Figura a seguir resume as distribuições estatísticas encontradas para cada um dos conjuntos de dados mencionados. Cada uma das estimativas abaixo resulta de uma filtragem diferente de um mesmo conjunto de dados. Na primeira, estuda-se o tempo geral para se carregar um caminhão qualquer em uma baía *bottom*, levando em conta todas as viagens disponíveis. Já nas duas seguintes, houve um filtro no sentido de levantar o tempo que um braço *bottom* leva para carregar um compartimento (observando-se o funcionamento de um equipamento específico), e o mesmo para um braço top.

Com relação aos tempos de saída, conforme mencionado acima, após o término do processo de carregamento, os caminhões podem proceder para a plataforma de aditivação ou simplesmente para a saída. As informações pertinentes a essa etapa, no entanto são escassas, uma vez que o sistema de automação da base registra somente o horário de saída dos veículos. Isso torna a tarefa de determinar quais caminhões deverão ser aditivados mais difícil, já que o levantamento desses dados consumiria tempo até que se tenha um volume relevante para análise. Diante disso, optou-se por estudar de forma agregada os tempos de saída.

Para expressar o volume característico da frota atendida pela base de distribuição, utilizou-se uma abordagem de mais alto nível, definindo uma distribuição geral. Foi possível utilizar toda a base de dados e selecionar o volume total carregado pelas mais de onze mil viagens registradas. Com isso constatou-se que dado um veículo aleatório que entra no terminal, sua capacidade em termos de volume é descrita por uma distribuição *weibull*(24.2, 3.76), em litros.

6. Validação

Segundo Law [2019], uma das melhores formas de validar um modelo de simulação é comparando o seu comportamento com a realidade. Se o projeto conseguir espelhar aquilo que

Distribuições de Tempo(min)		Unidade
Tempo Bottom Geral	Lognormal(14.8, 9.54)	min
Tempo Braço Bottom	Lognormal(4.15, 0.85)	min
Tempo Braço Top	Normal(4.43, 1.12)	min
Tempo de Saída	Beta(1.89, 6.32)	min
Volume	Weibull(24.2,3.76)	litros

Tabela 3: Distribuições de tempo por operação em minutos

ocorre na prática de forma coerente, já passa a ser possível basear as decisões de negócio com os seus resultados. Neste trabalho, muitas simplificações foram feitas no sentido de englobar as variáveis mais importantes do problema de maneira resumida, porque seria muito custoso tratar as situações com um grande detalhamento. A literatura reforça que essa síntese faz parte da própria essência da simulação, e que aumentar muito o detalhamento dos processos pode levar a resultados tendenciosos.

Por essa razão, foram estabelecidos limites para cada variável do modelo, a fim de verificar se o mesmo é capaz de replicar o funcionamento normal da base de distribuição. Os valores retratados foram alterados com um índice, a fim de proteger informações sensíveis da companhia no que diz respeito aos valores absolutos da operação, sem perder, no entanto, a proporcionalidade entre si.

Esses dados foram submetido à apreciação de seis supervisores de operações da base de distribuição, todos com mais de 10 anos de experiência na atividade, a fim de validar os parâmetros de referência para a comparação do modelo com a realidade. Assim, a Figura 3 resume os intervalos considerados pelos supervisores da base como representativos de uma operação mensal normal, em comparação com os resultados obtidos no modelo.

	Valores Esperados	Resultados da Simulação
Viagens	2.250 a 2.610	2.382 Viagens / Mês
Volume Movimentado	45.000 a 54.000	50.535 m³ / Mês
Custo Unitário	3,30 a 3,68	3,57 R\$ / m³
Gate to Gate	28,8 a 31,5	29,0 Minutos
Custo Incorrido	95.150 a 142.450	111.925,16 R\$ / Mês
Capacidade em Uso	60 a 70	64,61 %

Figura 3: Quadro comparativo dos resultados do modelo básico. Fonte: Autor

Observa-se que, para todas as variáveis de interesse, o modelo é capaz de replicar valores coerentes, respeitando os limites estabelecidos. Como esses resultados foram obtidos com a execução de 1000 iterações de 1 mês de duração, pode-se concluir que a modelagem concebida é aderente à operação real.

7. Aplicação do Modelo

O caso que se apresentou para análise consistiu na estimação do impacto de um braço de carregamento adicional, de S10, na baía 5. Em suma, quais seriam os ganhos operacionais, e financeiros (em termos de redução de custos com a maior eficiência) diante dessa mudança? Além disso, buscou-se entender qual seria a melhor posição em que o braço deveria ser instalado. A Figura 4, a seguir, retrata de forma esquemática as duas situações possíveis.

A depender da sua posição, o braço poderá atender somente caminhões com um tanque, ou veículos do tipo bitrem. Portanto, na opção 1, a possibilidade de carregar compartimentos em

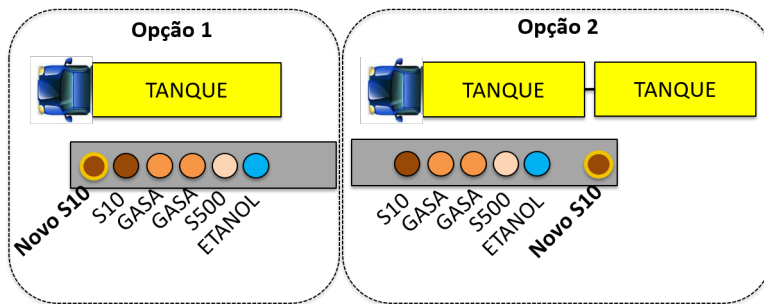


Figura 4: Esquema das opções de posicionamento para o novo braço de S10. Fonte: Autor

paralelo com combustível do tipo S10 só ocorrerá para caminhões com uma carreta. Já na opção 2, o benefício ocorrerá somente para os autotanques do tipo bitrem. Deseja-se demonstrar, assim, qual é a melhor alternativa.

O princípio de solução para esse caso se concentra em uma modelagem da expressão de tempo de carregamento na baía 5, utilizando os recursos lógicos fornecidos pela plataforma Arena. Diante da distribuição geral de tempo de carregamento presente no módulo, passa a ser necessário identificar quais são as entidades cujos atributos se qualificam para o uso do novo braço de carregamento em paralelo. Como se conhece o tempo geral de carregamento de um braço *bottom*, essa estimação de economia de tempo consistiria em deduzir essa distribuição da geral, agilizando o processo para o caminhão qualificado. A expressão 5 resume esse raciocínio:

$$LOGN(\mu_G, \sigma_G) - ((ODS10 \geq 2) * (ABS(ODS10/2)) * (LOGN(\mu_b, \sigma_b))) \quad (5)$$

onde:

- μ_G – a mdia da distribuio de tempo de carregamento geral.
- σ_G – o desvio padro da distribuio de tempo de carregamento geral.
- μ_b – a mdia da distribuio de tempo de um brao de carregamento bottom.
- σ_b – o desvio padro da distribuio de tempo de um brao de carregamento bottom.
- $ODS10$ – representa a quantidade de compartimentos a serem carregados com S10.
- ABS – a funo nativa do Arena que retorna a parte inteira de uma divisao.
- $LOGN$ – retorna um nmero aleatrio a partir da distribuio lognormal.

A expressão 5 retrata a adaptação feita no módulo de carregamento da baía 5, usando os parâmetros μ_G e σ_G para a distribuição de carregamento geral e μ_b e σ_b para a curva de carregamento de um braço *bottom*. No Arena, as expressões condicionais retornam 0, quando falsas e 1 quando verdadeiras. Assim, caso a entidade apresente dois ou mais compartimentos a serem carregados com S10, ativa-se o efeito de carregamento em paralelo. No entanto, esse desconto só pode ser aplicado para cada par de seções a serem abastecidas com o mesmo produto, e, para isso, será levado em conta a parte inteira da divisão $ODS10/2$.

Assim, para modelar a opção 2, basta incluir um termo condicional adicional, a fim de identificar se a entidade é bitrem. A expressão 6 mostra a variável BT como condição necessária a fim de contabilizar o desconto de tempo de carregamento nessa ocasião específica.

$$LOGN(\mu_G, \sigma_G) - ((BT == 1) * ((ODS10 \geq 2) * (ABS(ODS10/2)) * (LOGN(\mu_b, \sigma_b)))) \quad (6)$$

onde:

BT — igual a 1 caso a entidade seja bitrem.

A simulação dos dois cenários foi configurada para representar um mês de operação com 1000 iterações cada uma. Todos os indicadores presentes no modelo original também foram monitorados para as duas opções, agindo, também como referencial para a estimação de redução de custos. Por conseguinte, o capítulo a seguir tratará dos resultados encontrados, verificando a sua pertinência com a realidade das operações.

8. Resultados e Conclusões

A Figura 5 resume os resultados da simulação para as duas opções, onde se observa uma grande diferença em termos de redução de custos entre a opção 1 e 2. Em que pese o número de caminhões e custo unitário terem sido iguais e um volume movimentado muito parecido, houve uma melhora substancial em tempo de carregamento na primeira alternativa. Por essa razão, a base foi capaz de utilizar seus recursos de forma mais eficiente, ampliando sua capacidade de atender a uma demanda maior no futuro.

O principal motivo para essa diferença acentuada é a reduzida quantidade de caminhões bitrem, que representam em torno de 5,67% das viagens de acordo com os dados obtidos. No entanto, esse resultado não pode ser interpretado como definitivo, uma vez que mudanças contratuais podem vir a modificar o perfil de caminhões que abastecem na base.

	Resultados da Opção 1	Resultados da Opção 2
Viagens	2.385 Viagens / Mês	2.383 Viagens / Mês
Volume Movimentado	50.622 m ³ / Mês	50.580 m ³ / Mês
Custo Unitário	3,57 R\$ / m ³	3,57 R\$ / m ³
Gate to Gate	25,34 Minutos	28,8 Minutos
Custo Incorrido	87.439,77 R\$ / Mês	110.588,72 R\$ / Mês
Capacidade em Uso	56.54 %	64.22 %
Redução de Custos	24.248,62 \$ / Mês	1.098,79 \$ / Mês

Figura 5: Quadro comparativo dos resultados para as opções 1 e 2. Fonte: Autor

Dito isso, os resultados da simulação apresentam uma coerência quantitativa com o estado operacional atual, e mostram que a redução de custo da opção 1 é significativa, o que justifica os investimentos necessários para a execução da obra.

Este trabalho foi realizado em um terminal de médio porte de uma companhia que opera, atualmente, 64 bases espalhadas pelo Brasil. Cada uma dessas instalações conta com particularidades específicas, variando muito em suas dimensões e orçamento, e a análise detalhada dessa rede foge ao escopo do projeto. Contudo, foi feita uma estimativa do impacto a nível corporativo com os resultados obtidos localmente. O objetivo desta estimativa é verificar qual seria o impacto se a opção 1 fosse implantada em todas as bases da empresa. Novamente, por razões de sigilo, não é possível expor a relação entre a redução de custos com o OPEX real, no entanto, em valores absolutos, estima-se um impacto global de uma economia superior a 2.6 milhões de reais por mês.

Referências

- Bertrand, J. W. M. e Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Bilodeau, N., Vitkus, P., e Powell, E. (2013). *BPM CBOK Version 3.0*. ABPMP. ISBN 9781490516592. URL <https://books.google.com.br/books?id=QoT2ngEACAAJ>.

- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., e Bowersox, J. C. (2013). *Gestão logística da cadeia de suprimentos*. AMGH Editora.
- Brailsford, S., Churilov, L., e Dangerfield, B. (2014). *Discrete-event simulation and system dynamics for management decision making*. John Wiley & Sons.
- Cauchick, P. (2019). *Metodologia Científica para Engenharia*. Grupo GEN. ISBN 9788535290707. URL <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595150805/>.
- Fernandes, L. J., Relvas, S., e Barbosa-Povoa, A. P. (2014). Collaborative design and tactical planning of downstream petroleum supply chains. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(44):17155–17181.
- Hillier, F. e Lieberman, G. (2013). *Introdução à Pesquisa Operacional*. AMGH. ISBN 9788580551198. URL <https://books.google.com.br/books?id=-A88a0-KxQ0C>.
- Law, A. M. (2019). How to build valid and credible simulation models. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, p. 1402–1414. IEEE.
- Lima, C., Relvas, S., e Barbosa-Póvoa, A. P. F. (2016). Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions. *Computers & Chemical Engineering*, 92:78–92.
- Rodrigues, D. D. O., Souza, R. M. d., Silva, B. B., Santos, H. V., e Nogueira, T. H. (2024). SIMULAÇÃO DO FLUXO DE ABASTECIMENTO DE VEÍCULOS EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL EM MINAS GERAIS. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, volume 56, 2024, Fortaleza - Ceará, Brasil. Galoa.
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. In *Proceedings of the 2010 winter simulation conference*, p. 166–183. IEEE.