

“A contribuição da Engenharia de Produção para alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.”
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 22 a 24 de Maio de 2024.

TEORIA DAS FILAS APLICADA AO SISTEMA DE CARREGAMENTO DE ETANOL DE UMA EMPRESA DO SETOR SUCROENERGÉTICO DISTRIBUIDORA DE ETANOL NO ESTADO DE SÃO PAULO

Alessandra Berenguer de Moraes (UFPB) alessandra.moraes@academico.ufpb.br
Lívia Maria Santana Pereira (UFPB) liviasantana@gmail.com

Resumo

Com finalidade de aumentar a capacidade de carregamento para o aumento da produtividade e agilidade dos processos existentes em uma empresa do setor sucroenergético, distribuidora de etanol, foi realizada a aplicação dos modelos de filas de espera para a tomada de decisão no gerenciamento das operações de carregamento dos caminhões autotanque.

Através do acompanhamento in loco, foi elaborado um fluxograma das atividades referente ao carregamento coletando-se dados sobre tempos e quantidades de serviços diários durante um período de 30 dias. Nesta análise, os cálculos de dimensionamento das filas foram efetuados trazendo conclusões acerca do sistema e das medidas relacionadas às taxas de ocupação, taxas de chegada e de atendimento dos clientes. Essas informações trouxeram embasamento para aprofundar o estudo referente à capacidade deste sistema em atender a demanda proposta pelo setor comercial, que propôs o carregamento diário de 70 caminhões voltados para atender a exportação de Etanol.

As análises, considerando-se diferentes números de postos de atendimento, evidenciaram o dimensionamento ideal do número de baias necessárias para executar o solicitado. Dessa forma, sugeriu-se ao departamento, a partir da aplicação da teoria das filas, designar 4-baias para este atendimento, atingindo assim um dimensionamento adequado. As devidas validações do modelo foram realizadas através de um experimento real, onde não apenas houve a validação dos resultados encontrados, como também um recorde histórico de carregamento/dia foi alcançado com segurança e confiabilidade.

Palavras-Chaves: *Capacidade Operacional, Setor Sucroalcooleiro, Distribuição de Etanol, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística, Sustentabilidade.*

1. Introdução

Este estudo busca otimizar o carregamento de caminhões auto-tanques destinados a distribuição de Etanol, utilizando modelos da Teoria das Filas de Espera, concentrando-se nos postos de carregamento diante das futuras demandas.

As empresas sucroenergéticas, inseridas no mercado agroindustrial, evoluíram de antigos engenhos para modernas usinas, produzindo açúcar, álcool, aguardente e outros derivados da cana-de-açúcar, incluindo o relevante etanol (Moura, 2022).

A urgência em mitigar as mudanças climáticas destaca os biocombustíveis, como o etanol, como alternativas sustentáveis, sendo o Brasil notável pela produção e pelo mandato obrigatório de 18% a 27,5% de etanol na gasolina (Moura, 2022).

A eficiência operacional, focalizada em custo, qualidade, flexibilidade e entrega, é vital para empresas sucroenergéticas Corrêa (2017). Na distribuição de etanol, a priorização dessas características garante operações seguras, rápidas e automatizadas.

O transporte do etanol ocorre por tubulações até as baías de carregamento, o processo principal inclui o carregamento e descarga de caminhões tanques. No carregamento, veículos são carregados com etanol na plataforma, enquanto na descarga, o etanol é transferido dos caminhões para os tanques, onde a formação de filas impacta na satisfação do cliente e aumenta custos operacionais (Prado, 2017).

Esta etapa final da cadeia produtiva do etanol envolve armazenamento e distribuição, sendo crucial para o negócio, de modo que este estudo contribui para o setor logístico do carregamento do etanol, oferecendo uma solução baseada em modelos matemáticos para atender aos clientes internacionais e podendo ser facilmente adaptável para outros centros de distribuição.

2. Metodologia

Como metodologias para a estruturação do problema foram utilizadas ferramentas de teoria das filas de espera da pesquisa operacional e suas estruturações voltadas à tomada de decisão.

2.1. Descrição do problema

Diante do cenário apresentado, o intuito do trabalho é analisar a capacidade de atendimento da operação, tendo em vista a demanda diária de carregamento. Nessa análise será considerado apenas o produto do tipo: etanol exportação, que possui duas baias de carregamento dedicadas especificamente para esse item no setor, sendo o produto mais rentável para a unidade. Além disso, surgiu outro desafio proposto pela equipe de comercial e trading da empresa que está buscando aumentar a média de carregamentos da exportação para 70 caminhões/dia nos próximos meses. O propósito desse projeto é identificar a quantidade necessária de baias para atender a demanda proposta e trazer resultados assertivos para possíveis investimentos da empresa. Dessa forma, este trabalho visa contribuir para aumentar a capacidade do sistema, aplicando os conceitos da pesquisa operacional, especificamente da área de teoria das filas, no gerenciamento das operações de carregamento de uma empresa do setor sucroenergético distribuidora de etanol.

O problema a ser solucionado consiste em dimensionar o número de postos de atendimento, ou seja, de baias destinadas ao carregamento do etanol exportação.

Nesse sentido, este estudo tem como Questão de Pesquisa (QP): “Como a aplicação da Teoria das filas de espera, pode ser utilizada para otimizar o carregamento dos caminhões no pátio da empresa, visando consequentemente melhorar a eficiência logística de carregamento dos caminhões e atendimento ao cliente”.

3. Fundamentação teórica

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), “Um problema decorrente é que, à medida que aumentam a complexidade e especialização, torna-se cada vez mais difícil alocar os recursos disponíveis para as diversas atividades”, ou seja, o grande desafio da PO é buscar as alternativas para encontrar a solução ótima para a empresa que abrange a melhor alocação dos recursos disponibilizados. Assim como as demais áreas de pesquisa, o método científico também é aplicado para a pesquisa operacional.

Dessa forma, para que o propósito final seja alcançado serão realizadas algumas etapas:

- Definição do problema de interesse;
- Coleta de dados;
- Formulação de um modelo científico para representar o problema;
- Derivação de soluções de acordo com o modelo;

- Validação do modelo;
- Preparação para aplicar o modelo;
- Implementação.

A Pesquisa Operacional, ou PO como é comumente chamada, é empregada em diversos setores, como cadeia de suprimentos, gestão de risco, gestão de processos, cadeia de abastecimento, cultura organizacional, planejamento estratégico e logístico. Sua importância reside na abordagem correta dos problemas e na otimização global dos processos organizacionais (Andrade, 2015).

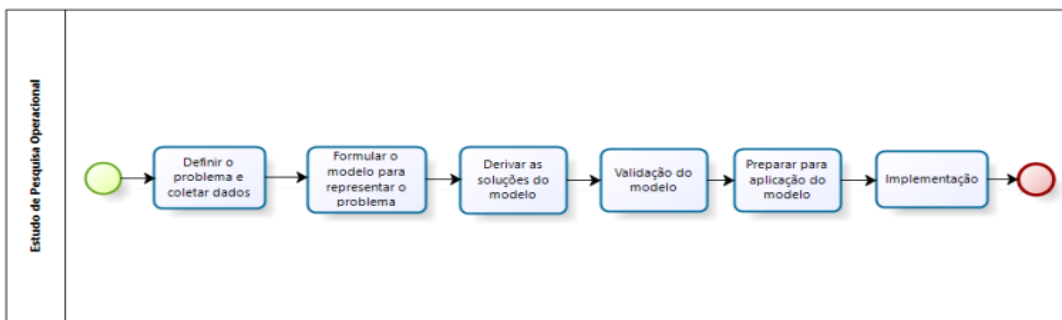
Ao longo dos anos, a PO passou de buscar a solução correta para identificar corretamente o problema e determinar a solução ótima viável. Segundo Andrade (2015), a influência da PO vai além da resolução de problemas, impactando a forma como os administradores abordam e comunicam questões, visando otimizar processos organizacionais.

Para Andrade (2015), a importância dessa área está “na sua influência sobre o modo como os administradores abordam os problemas, na maneira como os formulam, na avaliação que fazem da relação com outros problemas e na forma adotada para comunicá-los a outras pessoas”. A resolução desses problemas visa otimizar os processos como um todo. A organização deve ser enxergada não apenas como uma junção de diferentes departamentos especializados, mas sim como um único organismo com os mesmos objetivos finais.

3.1. A pesquisa operacional

A pesquisa operacional (PO) oferece ferramentas relevantes para a resolução de problemas, sendo crucial contextualizar o cenário para a aplicação dessas técnicas.

Figura 1 - Aplicação da Pesquisa Operacional



Fonte: Elaborado pelas autoras

Ao longo do tempo, a pesquisa operacional evoluiu do buscar apenas a solução correta para identificar o problema correto. Segundo Andrade (2015), sua importância reflete na influência sobre a abordagem dos administradores aos problemas e na avaliação das relações entre eles. A resolução desses problemas visa otimizar os processos, considerando a organização não como uma junção de departamentos especializados, mas como uma única empresa com objetivos finais comuns.

A resolução desses problemas visa a otimização dos processos como um todo, a organização deve ser enxergada não apenas como uma junção de diferentes departamentos especializados, mas sim como uma só empresa que possui os mesmos objetivos finais. De acordo com Hillier e Lieberman (2013), “Um problema decorrente é que, à medida que aumentam a complexidade e especialização, torna-se cada vez mais difícil alocar os recursos disponíveis para as diversas atividades”, ou seja, o grande desafio da PO é buscar as alternativas para encontrar a solução ótima para toda a empresa abrangendo a melhor alocação dos recursos disponibilizados.

Inicialmente, é importante ter o entendimento do real problema, e dos verdadeiros incômodos da organização. Portanto, faz-se necessário uma coleta dos dados relevantes sobre a situação em análise, ao mesmo tempo em que é necessário contar com o apoio dos tomadores de decisão da organização. O levantamento dos dados tem suma importância no processo, pois serão usados tanto para obtermos o entendimento correto do problema analisado, como para fornecer informações necessárias para o modelo científico que será desenvolvido na próxima fase; não há como obter uma solução certa para um problema incorreto.

A pesquisa operacional emprega o método científico, que abrange etapas como a definição do problema, coleta de dados, formulação de um modelo científico, derivação de soluções, validação do modelo, preparação e implementação (Carter et al., 2019)

Um modelo é definido por ser uma representação simplificada da realidade, seja esse algo um objeto, um sistema ou um processo (Carter et al, 2019).

Assim, um modelo matemático nada mais é que uma representação simplificada composta por elementos matemáticos como equações, matrizes, funções, inequações e operações. Existem diferentes tipos de modelos que variam de acordo com o problema analisado, a área de aplicação e a estrutura do sistema.

Segundo Carter et al (2019), “O intuito de construir modelos matemáticos é desenvolver um entendimento do sistema real, prever o seu comportamento, aprender sobre os limites de capacidade, e eventualmente tomar decisões”. Com isso, a finalidade dessa etapa é encontrar a solução ótima para o problema através da resolução do modelo. Em seguida, há a fase de validação que consiste na realização de testes para encontrar o maior número de falhas possíveis e trabalhar na correção delas.

Os experimentos podem ser realizados de maneira retrospectiva, em que são utilizados dados históricos para reconstruir situações do passado e analisar os resultados por meio de simulações, utilizando-se novos dados, diferentes parâmetros, ou até mesmo novos usuários, partindo da premissa que nem sempre o passado é representativo para as futuras situações que o modelo poderá encontrar. Ainda que nem todos os defeitos sejam identificados na realização desses testes, é necessário que todos os pontos de melhoria sejam tratados para aumentar sua validade e real eficiência (Hillier e Lieberman, 2013).

Na etapa subsequente, ocorre o momento de preparação para aplicar o sistema em que é feito a documentação do modelo matemático e a criação de procedimentos operacionais, podendo contar com o apoio de programas computacionais e sistemas de informação gerenciais para facilitar a execução rotineira das atividades.

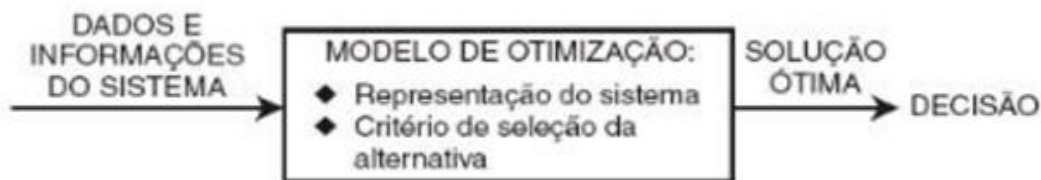
Por fim, realiza-se a fase de implementação, na qual o sistema criado é finalmente aplicado nas atividades do negócio. É fundamental que essa etapa final possa contar com a participação de todos os envolvidos no processo, a gerência precisa conceder um cuidadoso treinamento para a equipe que realizará as tarefas operacionais e os benefícios do novo sistema devem estar claros para todos.

Além disso, as observações que surgirem durante a implementação, os feedbacks e as revisões devem ser armazenados num banco de dados, pois essas informações possuem relevância considerável para correções futuras ou replicabilidade do sistema. Isto posto, com a aplicação de ferramentas da pesquisa operacional é possível trabalhar na resolução dos problemas das organizações de forma segura, e alcançar melhores resultados.

Segundo Carter et al. (2019), a construção de modelos matemáticos visa entender o sistema real, prever seu comportamento, aprender sobre os limites da capacidade do sistema e, eventualmente, tomar decisões. A fase seguinte é a validação do modelo, realizando testes para encontrar falhas e corrigi-las.

Na preparação para aplicar o sistema, é documentado o modelo matemático e criam-se procedimentos operacionais. A implementação envolve aplicar o sistema nas atividades do negócio, com treinamento cuidadoso e participação de todos os envolvidos.

Figura 2 - Processo de Decisão com Modelos de Otimização



Fonte: Andrade, 2015

De acordo com Carter et al. (2019), a pesquisa operacional traz confiança e justifica decisões de forma mais fácil para as pessoas impactadas, proporcionando uma solução ótima. Samuel Eilon (1972) destaca “Otimizar é a ciência do ideal, *satisficing* é a arte do factível”, a decisão deve considerar fatores específicos de cada instituição.

Outro modelo aplicável é o modelo de simulação, conforme Andrade (2015) define a simulação como “uma representação do mundo real com o objetivo de permitir a geração e análise de alternativas”, isso significa que é possível obter diversos cenários.

Para Carter et al (2019), o processo de tomada de decisões humano é normalmente guiado por intuição, contudo uma vez que determinada decisão tenha uma influência em um número maior de pessoas, sendo pertinentes para empresas, instituições governamentais, comerciais ou organizações políticas, é relevante trazer uma metodologia sistêmica além da intuição. As resoluções advindas de modelos matemáticos da pesquisa operacional trazem mais confiança e seus efeitos são justificados de forma mais fácil para as pessoas impactadas. Um termo bastante utilizado nesse ramo da matemática é a “solução ótima” que muitas vezes é vista como a solução admissível que apresenta o melhor valor para resolução do problema. Para Longaray (2013), esse conceito é abordado com a definição de que “A solução única e ótima de um modelo de otimização está contida na função-objetivo deste modelo, representada por uma equação linear, seja de minimização, seja de maximização”, reforçando essa busca por uma solução exata e única.

No entanto, cada vez mais se reconhece a existência de diversas alternativas para resolução de um problema e nem sempre a solução mais relevante numericamente será a melhor escolha. Para além dos parâmetros matemáticos, também é fundamental analisar fatores próprios de

cada instituição como clima organizacional, satisfação dos clientes, qualidade do serviço ou produto, entre outros que do mesmo modo impactam nos lucros finais.

Outro modelo que pode ser aplicado durante a tomada de decisão é o modelo de simulação. Já nesse caso, Andrade (2015) define a simulação como “uma representação do mundo real com o objetivo de permitir a geração e análise das alternativas”, isso significa que é possível obter diversos cenários, ambientes futuros prováveis e várias possibilidades para chegarmos a uma escolha de maneira mais flexível, abrangente e com maior grau de liberdade.

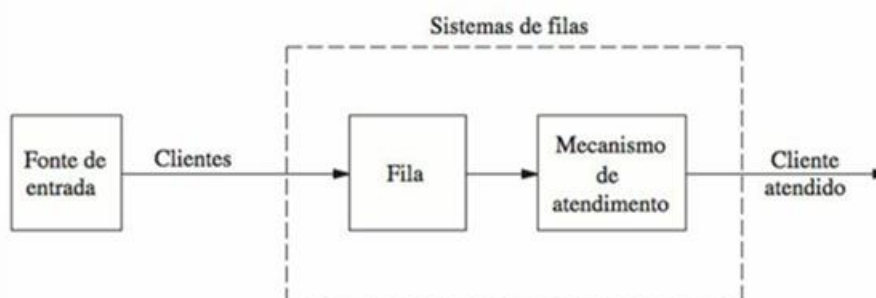
Independente do modelo utilizado na resolução do problema é notório a importância da análise detalhada dos parâmetros para a tomada de decisão. Esse entendimento aliado aos conceitos iniciais de pesquisa operacional e sistemas de filas, quando aplicados nas situações corriqueiras dentro das organizações, facilita o desenvolvimento de ideias e trazem a segurança necessária para as mudanças pretendidas.

3.2. Teoria das Filas

Dentro de uma empresa, a execução rotineira de diversos processos frequentemente resulta em diferentes desafios. Após elucidar como a pesquisa operacional pode abordar algumas dessas dificuldades, torna-se pertinente aprofundar a análise de um dos problemas mais comuns: as filas.

As filas se formam quando um ou mais indivíduos do sistema aguardam a realização de uma atividade subsequente. Conforme Hillier e Lieberman (2013), "a teoria das filas é o estudo da espera em todas essas formas diversas. Ela utiliza modelos de filas para representar os vários tipos de sistemas que surgem na prática".

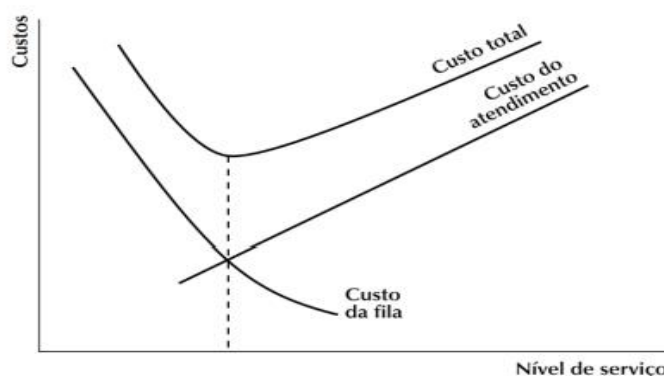
Figura 3 - Estrutura de uma Fila



Fonte: Hillier e Lieberman 2013

Segundo Prado (2017), a eficiência considera que a formação de filas não apenas resulta na insatisfação dos clientes, mas também gera um aumento nas despesas da empresa. O sistema ideal deve encontrar o equilíbrio entre o custo de serviço e o tempo de espera.

Figura 4 – Gráfico: Custos x Nível de Serviço



Fonte: Moreira, 2018

Ao analisar o gráfico acima, conclui-se que os custos de atendimento tendem a aumentar com a melhoria do nível de serviço, enquanto o custo da fila tende a diminuir com o aumento do nível de serviço. Moreira (2018) destaca que um maior nível de serviço implica em um atendimento de melhor qualidade, embora mais caro o serviço ocorra mais rapidamente, reduzindo o tempo de espera na fila. A solução está no ponto de equilíbrio entre essas duas curvas do gráfico, buscando o balanço adequado entre custo e qualidade.

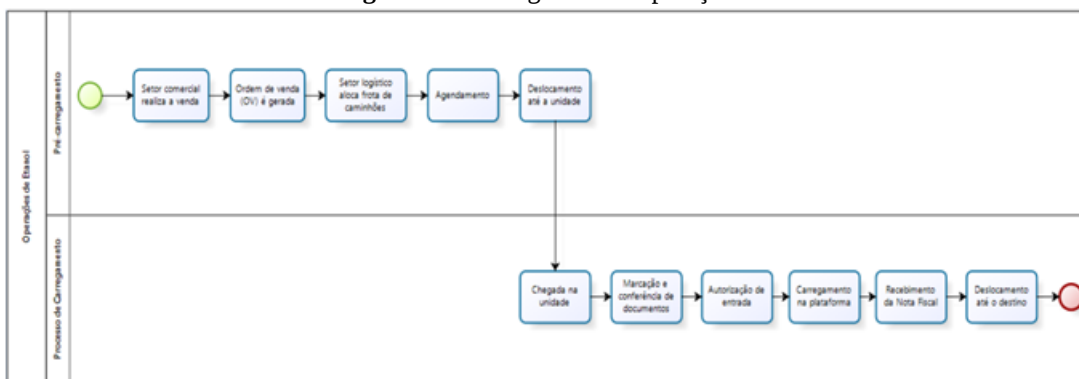
4. Proposta de solução

A teoria das filas será aplicada no setor de operações em uma base de distribuição de etanol. Este tópico aprofundará o fluxograma operacional para uma compreensão mais detalhada dos métodos utilizados na coleta e tratamento de dados.

4.1. Fluxograma operacional

O setor de operações de etanol, situado no final da cadeia industrial, é responsável pela distribuição do produto conforme a demanda comercial. O fluxo preciso dos processos contribui para a agilidade e excelência na execução das tarefas.

Figura 5 - Fluxograma de Operações



Fonte: Elaborado pelas autoras

Depois dessa etapa, o agendamento do caminhão é realizado no portal e o setor de operações passa a ter uma visão geral do planejado para carregamento daquela semana. Nesta etapa é possível conferir a quantidade e demais especificações sobre os caminhões agendados, através do sistema SAP utilizado pela empresa. Em seguida, quando o autotankue chega até a unidade, o motorista dirige-se até a portaria para marcar sua chegada e conferir sua documentação gerando uma ordem de carregamento.

Variáveis como custo, distância e tempo são analisadas nesse processo. O agendamento do caminhão é realizado, e o setor de operações obtém uma visão do planejado para o carregamento, utilizando o sistema SAP.

Figura 6 - Monitoramento dos Caminhões

*Dt Agendam	Centro	Descrição Frete	Material	Texto breve material	Quantidade	Data Portaria	HrIniAgend	HrFimAgend	HrEmCarreg	HrAguardNF	HrLibSaíd
08.11.2022	0011	MI FOB	9800017	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL COL	60,000	08.11.2022	08:00:00	08:30:00	07:40:39	08:23:20	
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		10:00:00	10:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		10:00:00	10:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		10:00:00	10:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		11:00:00	11:30:00			
	0788	MI FOB	9800018	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL TERC	58,000	08.11.2022	11:00:00	11:30:00	06:48:40		
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		15:00:00	15:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	43,000		15:00:00	15:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		15:00:00	15:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	45,000		16:00:00	16:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	45,000		16:00:00	16:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	43,000		16:00:00	16:30:00			
	0788	MI FOB	9800849	ETANOL HIDRATADO OUTROS FINS	44,000		17:00:00	17:30:00			
	0788	MI FOB	9800849	ETANOL HIDRATADO OUTROS FINS	44,000		17:00:00	17:30:00			
	0011	ME Bottom Loading	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	59,000		17:00:00	17:30:00			
08.11.2022					801,000						
09.11.2022	0011	MI FOB	9000050	ETANOL ETILICO HIDRAT IND L NACIONAL	31,000		07:00:00	07:30:00			
	0011	MI FOB	9000052	ETANOL ETILICO ANIDRO IND L	5,000		09:00:00	09:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		10:00:00	10:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		10:00:00	10:30:00			
	0011	ME Otimizada	9000081	ETANOL ANIDRO COMBUSTIVEL	60,000		11:00:00	11:30:00			

Fonte: Sistema SAP

Com autorização da área de operações, o carregamento ocorre na plataforma com o auxílio de operadores. O motorista, após recolher a nota fiscal no autoatendimento de saída, segue para seu destino final.

Essa abordagem permitirá a aplicação efetiva da teoria das filas, otimizando a eficiência do sistema de carregamento de etanol.

4.2. Sistema de Atendimento

A operação ocorre de acordo com as disposições dos dutos que levam o etanol dos tanques de armazenamento até os caminhões. Na configuração atual existem duas baias que atendem o mercado interno e duas baias que atendem o mercado externo. Os clientes podem ser classificados em dois ramos: mercado interno, aqueles localizados dentro do Brasil, e mercado externo (também chamado de exportação), aqueles localizados em outros países, com uma demanda que atende indústrias, postos de abastecimento, terminais de distribuição urbanos e portuários, laboratórios, entre outros.

Figura 7 - Baias de Carregamento



Fonte: Elaborado pelas Autoras

4.3. Processo de Carregamento

O processo de carregamento realizado nas baias é composto inicialmente por um aparelho de automação chamado pré-determinador eletrônico, esse equipamento é responsável por acionar os comandos responsáveis para cada dispositivo e computar todas as informações para o sistema SAP durante todos os procedimentos. Inicialmente, o motorista irá colocar o braço de carregamento no caminhão com os devidos equipamentos de segurança: capacete, luva e cinto trava-quedas. Logo após esse processo, o motorista irá passar o código de barras da sua ordem de venda no equipamento e todas as informações sobre volume e compartimentos serão carregados automaticamente no visor.

Ao apertar o botão verde para dar início à operação, uma bomba será acionada para que o etanol seja levado até a plataforma.

Figura 8 -: Pré-determinador


Fonte: Elaborado pelas Autoras

Na plataforma, antes de chegar ao caminhão, encontra-se um medidor de turbina para contabilizar a quantidade de álcool no autotanque. Em seguida, o termômetro de 28 linhas mede a temperatura no momento do carregamento. Todas as informações são enviadas para o TCC e, conseqüentemente, para o sistema de faturamento. Finalmente, o álcool é transferido para o caminhão tanque pelo braço de carregamento.

Figura 9- Bacia de Bombas


Fonte: Elaborado pelas Autoras

Figura 10 - Baías de Carregamentos


Fonte: Elaborado pelas Autoras

4.4. Coleta de Dados

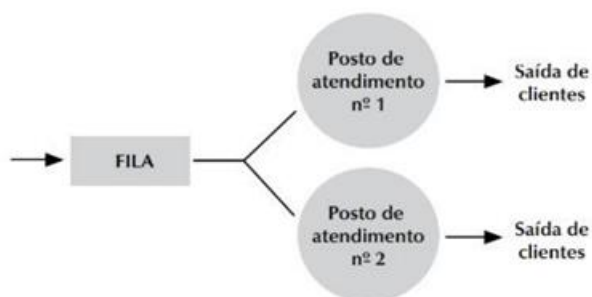
A pesquisa de campo foi realizada na empresa objeto de estudo e os dados foram obtidos através de um acompanhamento in loco no setor, com foco em duas principais características: tempo de atendimento de um caminhão em horas e número de caminhões atendidos por dia. Para coletar o primeiro desses parâmetros foi utilizado o conhecimento de cronoanálise. Taylor Frederick, considerado o precursor do estudo de tempos por meio da administração científica, foi o primeiro a empregar o cronômetro como ferramenta para estudos dos tempos.

Suas contribuições revolucionaram a gestão da produção e a eficiência operacional (Correa L.A. 2023).

De acordo com Lozada (2016), no estudo dos tempos e métodos “quanto menos tempo for despendido em movimentos, maior será o aproveitamento do tempo e a produção dele resultante”. Foram coletados os tempos de carregamento de todos os caminhões durante um mês, com o auxílio do cronômetro presente no aparelho pré-determinador, considerando o tempo decorrido entre dois atendimentos consecutivos. Por meio desses números foi possível obter o parâmetro chamado de tempo médio (horas), somando todos os tempos e dividindo pela quantidade dos automóveis em 24 horas. Para a segunda característica referente ao número de caminhões diários, foi utilizado o sistema discutido anteriormente, o SAP. Um relatório geral foi extraído da plataforma com as informações sobre a quantidade de autotanques que chegavam até a unidade a cada 24 horas, obtendo assim o parâmetro da taxa de chegada. Por fim, depois da captação de todas as informações foi possível criar uma base de dados durante o período de 30 dias para realização das análises.

A disciplina da fila segue o critério FIFO ou PEPS, em que o primeiro que entra é o primeiro que sai. Além dessas características, também é importante reforçar que o serviço prestado possui atualmente 2 canais ou postos de atendimento em paralelo para o carregamento, e apenas uma instalação de atendimento na chegada, assim como é mostrado na figura abaixo.

Figura 11 - Fila única, Canais múltiplos



Fonte; Moreira 2018

Na cronoanálise do tempo necessário para carregar um caminhão, foi utilizado o conceito de ciclo que é o conjunto de todos os elementos realizados em uma atividade, com início e fim estabelecidos, de modo a simplificar a medida do tempo de atendimento.

5. Resultados

Nesse trabalho, o foco principal será a análise do fluxo de carregamento de etanol voltado para o atendimento dos clientes do etanol tipo exportação, no qual estão atualmente configuradas duas baias exclusivamente destinadas para este atendimento.

Com o intuito de atingir o objetivo geral e aplicar as técnicas da teoria das filas no gerenciamento das operações de carregamento, foi desenvolvido um fluxograma do processo, que leva em consideração desde a venda do produto até a saída do caminhão carregado da unidade; as atividades do setor foram cronometradas com o acompanhamento detalhado *in loco*, e analisadas com o desenvolvimento das planilhas de cálculos para dimensionamento das filas, utilizando o programa **Microsoft Excel®**.

5.1. Sistema Etanol para Exportação

A empresa possui funcionamento de 24h de segunda a sábado, foram computadas as informações sobre taxa de chegada por dia e tempo médio em horas para efetuar a operação do carregamento, determinando assim a taxa de atendimento.

Tabela 1 – Taxa de Chegada e Atendimento / Dia (Setembro)		
Índices	Média	Unidade
Taxa de chegada (λ)	35,78	Caminhões/dia
Taxa de atendimento (μ)	19,93	Caminhões/dia

Fonte: Elaborado pelas Autoras

Inicialmente, calculada a taxa de ocupação considerando um único posto de atendimento, ($S=1$), ($\lambda =35,78$), ($\mu= 19,93$) foi determinada a taxa de ocupação $\rho=1,795$, ou seja, o sistema estaria 179,5% ocupado, porém para ($S=2$) encontramos $\rho=0,897$, sendo esta a situação atual.

Tabela 2 – Taxa de Ocupação x Número de postos de Atendimento		
Quantidade de Postos (S)	Fórmula	Taxa de Ocupação (ρ)
1	$\rho = \frac{\lambda}{S\mu}$	1,795
2		0,897

Fonte: Elaborado pelas Autoras

Além da taxa de ocupação, também foram calculados a quantidade de caminhões no sistema e na fila, tempo de um caminhão no sistema, tempo de espera na fila e a probabilidade de não haver nenhum caminhão tanque no sistema. Esses fatores podem ser observados na tabela abaixo considerando apenas o cenário atual com duas baias para atendimento.

Tabela 3 – Parâmetros da Fila com S=2 Baias (Postos de Atendimento)		
Parâmetros	Fórmulas	S=2 Baias
Quantidades de Caminhões no Sistema (L)	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$	9,14
Quantidades de Caminhões na Fila (Lq)	$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$	7,34
Tempo de Espera no Sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	0,26
Tempo de Espera na Fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	0,21
Probabilidade de haver 0-caminhões no sistema	$P_0 = \frac{1}{\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!}\right) + \left(\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \times \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{s\mu}}\right)}$	5,39 %

Fonte: Elaborado pelas Autoras

Assim é possível observar que o tempo de espera na fila refere-se há 0,21 x(24h) / dia, ou seja, 5 horas e 2 minutos com 7,34 caminhões na fila, já o tempo total no sistema é de 0,26 x (24h) / dia, isto é 6 horas e 14 minutos, com 9,14 caminhões no sistema.

5.2. Atendimento da Demanda Comercial

A equipe de comercial e trading da empresa está buscando aumentar a média de carregamentos do produto exportação para 70 caminhões carregados por dia nos próximos meses. Essa estratégia visa atender e aproveitar a crescente demanda do mercado externo pelo etanol gerado pela indústria. As especificações alcançadas estão dentro dos parâmetros requisitados pelos clientes e prometem trazer lucro para empresa. Para a proposta de carregamento de 70 caminhões por dia e utilizando-se da mesma taxa de atendimento $\mu=19,93$, obtemos os resultados mostrados na tabela-4.

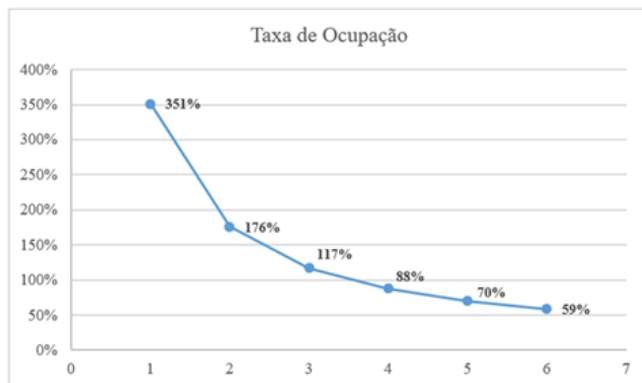
Tabela 4 – Número de Postos de Atendimento X Taxa de Ocupação para $\lambda=70$ Carros/dia

Taxa de chegada (λ)	Taxa de atendimento (μ)	Quantidade de postos (s)	Fórmula	Taxa de ocupação (ρ)
70	19,93	1	$\rho = \frac{\lambda}{S\mu}$	3,512
		2		1,756
		3		1,171
		4		0,878
		5		0,702
		6		0,585

Fonte: Elaborado pelas Autoras

O gráfico abaixo mostra a curva da taxa de ocupação em porcentagem, levando em consideração o número de postos de atendimento.

Figura 12 – Gráfica Taxa de Ocupação



Fonte: Elaborado pelas Autoras

A partir de 4-baias se enxerga uma mudança na situação, mostrando uma taxa de 87,8% com a qual o sistema teria capacidade para atender o plano do setor comercial.

Através da aplicação da teoria das filas e simulação dos cenários, foi possível observar que a opção mais viável seria a possibilidade de haver mais duas baias extras de carregamento destinados para atendimento de mercado externo, somado as duas já existentes, haveria no total quatro postos para carregar o etanol exportação.

Também foram analisados os parâmetros do novo sistema: quantidade de caminhões no sistema e na fila, tempo de um caminhão no sistema e tempo de espera na fila e a

probabilidade de não haver nenhum caminhão tanque aguardando na fila. Esses fatores podem ser observados na tabela abaixo considerando a proposta de melhoria para um total de quatro baias para atendimento.

Tabela 5 – Parâmetros da Fila com S=4 Baias (Postos de Atendimento)

Parâmetros	Fórmulas	S=2 Baias
Quantidades de Caminhões no Sistema (L)	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$	8,86
Quantidades de Caminhões na Fila (Lq)	$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$	5,35
Tempo de Espera no Sistema (w)	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	0,19
Tempo de Espera na Fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	0,08
Probabilidade de haver 0-caminhões no sistema	$P_0 = \frac{1}{\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!}\right) + \left(\frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} \cdot \frac{1}{1-\rho}\right)}$	1,43 %

Fonte: Elaborado pelas Autoras

Para que a comprovação do modelo pudesse ocorrer de fato, foi necessário realizar uma operação de drenagem e transferência entre tanques. De início, um tanque anteriormente destinado para ao mercado interno foi drenado para que ficasse vazio, e após essa operação, seu volume foi preenchido com produto etanol exportação.

Dessa forma, foi possível viabilizar quatro baias de carregamento destinadas para atendimento do mercado externo. Nesta operação não só conseguimos atender o aumento planejado da demanda, pelo comercial, como também atingimos o recorde histórico de expedição da unidade em que foram carregados 3.508.762 litros de etanol anidro em 24 horas de funcionamento. Esse resultado foi alcançado com uma marca de zero acidente, mantendo o ambiente de trabalho seguro e sem intercorrências.

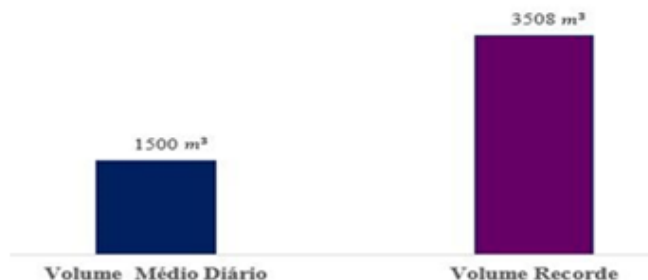
Figura 13 – Evolução volume de Carregamento



Fonte: Elaborado pelas autoras

A média de carregamento diário que ficava em torno de 1.500.000 litros/dia, passaria a ser de 3.508.762 litros de etanol por dia, observando-se um aumento de 133% quando comparado com o volume anterior.

Figura 14 – Evolução volume de Carregamento



Fonte: Elaborado pelas autoras

6. Considerações Finais

Por meio da aplicação da teoria das filas e da simulação de cenários, foi possível identificar uma solução eficaz para atender o aumento da demanda planejada pelo setor comercial. A proposta de incorporar duas baias extras de carregamento, destinadas ao atendimento do mercado externo, mostrou-se como a opção viável.

A implantação desse novo sistema envolveu a realização de uma operação de drenagem e transferência entre tanques. Através desse processo, foi possível destinar quatro baias de carregamento ao atendimento do mercado externo, atingindo não apenas a meta estabelecida pelo setor comercial, mas também alcançando um recorde histórico de expedição na unidade.

Durante o período de 24 horas de funcionamento, foram carregados 3.508.762 litros de Etanol-Anidro exportação, representando um aumento significativo de 133% em comparação com a média diária anterior de 1.500.000 litros. Importante ressaltar que esse resultado expressivo foi alcançado mantendo um ambiente de trabalho seguro, sem incidentes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. Introdução à Pesquisa Operacional - Método e Modelos para Análise de Decisões, 5ª edição. Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 978-85-216- 2967-2. Disponível em: < [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2967- 2/](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2967-2/)>. Acesso em: 07 mai. 2023.

CARTER, M.; PRICE, C.C.; RABADI, G. Operations Research: A Practical Introduction. CRC Press, 2019.



CORREA, L. A. "Estudo de Tempos e Movimentos: Contribuições para a Eficiência Operacional." Revista Latino-Americana De Inovação E Engenharia De Produção, vol.11, pág 22-42, setembro de 2023, DOI 10.5380.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. Administração de produção e de operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica, 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

EILON, S. "Goals and Constraints in Decision-making." Operational Research Quarterly, 23: 3-15, 1972. Palestra proferida na conferência anual de 1971 na Canadian Operational Research Society.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à pesquisa operacional. Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788580551198. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

LONGARAY, André A. Introdução à Pesquisa Operacional. Editora Saraiva, 2013. E-book. ISBN 9788502210844. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502210844/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

LOZADA, Gisele. Administração da produção e operações. Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788569726616. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788569726616/>. Acesso em: 07 maio 2023.

MOREIRA, Daniel A. Pesquisa Operacional: Curso Introdutório. Cengage Learning Brasil, 2018. E-book. ISBN 9788522128068. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522128068/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

MOURA, F. V. G. A importância do etanol brasileiro no contexto de mitigação das mudanças climáticas. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p.30. 2022.

PRADO, D.S. Teoria das Filas e da Simulação. Falconi Editora, 2017.