



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**LÍVIA MARIA SANTANA PEREIRA**

Teoria das Filas aplicada ao Sistema de Carregamento de Etanol de uma empresa do setor  
sucroenergético distribuidora de etanol no estado de São Paulo

João Pessoa  
2023

**LÍVIA MARIA SANTANA PEREIRA**

Teoria das Filas aplicada ao Sistema de Carregamento de Etanol de uma empresa do setor sucroenergético distribuidora de etanol no estado de São Paulo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba como requisito complementar obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, sob orientação da professora Alessandra Berenguer De Moraes.

João Pessoa  
2023

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

P436t Pereira, Livia Maria Santana.

Teoria das Filas aplicada ao Sistema de Carregamento de Etanol de uma empresa do setor sucroenergético distribuidora de etanol no estado de São Paulo / Livia Maria Santana Pereira. - João Pessoa, 2023.

40 f. : il.

Orientação: Alessandra Berenguer De Moraes.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Teoria das filas. 2. Distribuição de etanol. 3. Tomada de decisão. I. Moraes, Alessandra Berenguer De. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 658.5(043.2)

## RESUMO

Com o intuito de aumentar a capacidade de carregamento utilizando as técnicas da pesquisa operacional para o aumento da produtividade e agilidade dos processos existentes em uma empresa do setor sucroenergético distribuidora de etanol, foi realizada uma aplicação dos conceitos de teoria das filas e tomada de decisão no gerenciamento das operações de carregamento de caminhões tanque. Através do acompanhamento in loco foi elaborado um fluxograma de todas as atividades referente ao atendimento, como também foi coletado dados sobre tempo e quantidade de serviços diários durante o período de um mês. Nesta análise, os cálculos de dimensionamento das filas foram efetuados trazendo conclusões acerca do sistema e das medidas relacionadas às taxas de ocupação, chegada e atendimento de clientes. Essas informações trouxeram embasamento para aprofundar o estudo referente à capacidade do sistema para atender uma demanda desafiadora proposta pelo setor comercial, em que haveria a necessidade de carregar diariamente 70 caminhões voltados para exportação. As comparações de hipóteses considerando diferentes números para os postos de atendimento evidenciaram o valor ideal de baias necessárias para executar o solicitado. Dessa forma, sugere-se, a partir das medições e aplicação da teoria das filas, que o departamento deveria designar 4 baias voltadas para este atendimento, atingindo assim o correto dimensionamento. As devidas validações do modelo foram realizadas por meio de um teste em que não apenas houve a comprovação dos resultados, bem como o recorde histórico de litros carregados da unidade foi alcançado com segurança e confiabilidade.

**Palavras-chave:** Teoria das filas. Distribuição de etanol. Tomada de decisão.

## LISTA DE IMAGENS

Figura 1-Produção de Etanol nos principais estados produtores.....	10
Figura 2-Fluxograma Produção de Etanol.....	10
Figura 3-Estudo da Pesquisa Operacional.....	14
Figura 4-Gráfico Custos x Nível de Serviço.....	16
Figura 5-Estrutura de uma fila.....	17
Figura 6-Canal único, instalação de atendimento único.....	19
Figura 7-Canal múltiplo, instalação de atendimento único.....	19
Figura 8- Canal único, instalação de atendimento múltiplo.....	19
Figura 9- Canal múltiplo, instalação de atendimento múltiplo.....	19
Figura 10- Processo de decisão com modelos de otimização.....	22
Figura 11- Processo de decisão com modelos complexos de simulação.....	23
Figura 12-Fluxograma Operações de Etanol.....	24
Figura 13-Fila Monitorada de Caminhões.....	25
Figura 14-Disposição das baias de carregamento.....	26
Figura 15-Pré-Determinador.....	27
Figura 16-Praça de Bombas.....	27
Figura 17-Baia de Carregamento.....	28
Figura 18- Canal múltiplo, instalação de atendimento único.....	30
Figura 19- Gráfico Taxa de Ocupação.....	34
Figura 20-Recorde de Carregamento.....	36
Figura 21-Evolução Volume Carregado.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Distribuições de probabilidade utilizadas nas taxas de chegada de clientes .....	18
Tabela 2- Distribuições de probabilidade utilizadas nas taxas de atendimento de clientes .....	20
Tabela 3-Dados Carregamento de Setembro .....	30
Tabela 4-Taxas Chegada/Atendimento Setembro .....	32
Tabela 5-Taxa de ocupação por quantidade de postos de atendimento.....	32
Tabela 6-Cálculo dos parâmetros para 2 baias de atendimento.....	33
Tabela 7-Taxa de ocupação para chegada de 70 caminhões/dia .....	34
Tabela 8-Cálculo dos parâmetros para 4 baias de atendimento.....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS**

PO - Pesquisa Operacional

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

$\lambda$  - Taxa de chegada

$\mu$  - Taxa de atendimento

$\rho$  - Taxa de ocupação

$L_q$  - Número médio de clientes na fila

$L$  - Número médio de clientes no sistema

$W_q$  - Tempo médio de clientes em espera na fila

$W$  - Tempo médio de clientes em espera no sistema

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Problemática e Objetivos.....	11
2.1. Objetivos específicos.....	12
3. Revisão Bibliográfica.....	12
3.1. Pesquisa Operacional.....	12
3.2. Teoria das Filas.....	15
3.2.1. Sistema de Filas.....	17
3.2.2. Medidas de Desempenho.....	20
3.3. Tomada de Decisões.....	21
4. Metodologia.....	23
4.1. Fluxograma Operacional.....	24
4.2. Sistema de Atendimento.....	25
4.3. Processo de Carregamento.....	26
4.4. Coleta de Dados.....	28
5. Desenvolvimento.....	29
5.1. Sistema etanol para Exportação.....	30
5.2. Atendimento da demanda comercial.....	33
5.3. Proposta de solução.....	35
6. Resultados Obtidos.....	36
7. Considerações Finais.....	37
8. Referências.....	39

## 1. Introdução

As empresas do setor sucroalcooleiro ou também conhecido como sucroenergético estão inseridas dentro do mercado agroindustrial. Ao longo da história, os antigos engenhos deram lugar às refinadas usinas que atualmente são responsáveis pela produção de açúcar, de álcool, de aguardente e de outros derivados da cana-de-açúcar, como o etanol e solventes.

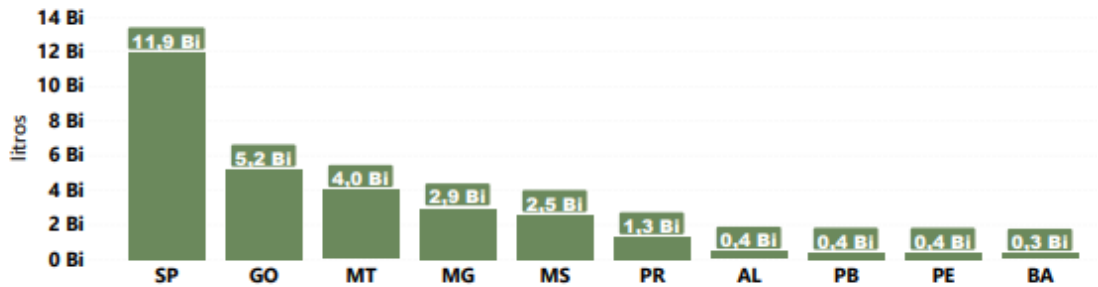
Esse setor brasileiro vem se desenvolvendo com o passar dos anos apresentando evoluções tecnológicas, tanto maquinarias quanto em relação ao plantio, e ganhando cada vez mais espaço no mercado internacional. Hoje, o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores mundiais de açúcar e biocombustíveis.

Atualmente, a mudança climática é um tema recorrente tratado tanto nas relações políticas como comerciais. A urgência em reduzir a emissão dos gases do efeito estufa é uma questão iminente e debatida em encontros como Protocolo de Kyoto, Acordo de Paris e a mais recente 27ª conferência do clima da Organização das Nações Unidas, COP27. Os biocombustíveis são vistos como papel central em alternativa sustentável para políticas de mitigação dessas mudanças climáticas.

O etanol é uma fonte renovável para o setor de transporte e vem sendo produzido em larga escala para suprir a demanda dos veículos leves. De acordo com MOURA (2022), “No caso do etanol, o Brasil é o país que ganha destaque não só pela sua produção de biocombustível como também pelo seu mandato obrigatório, deve-se adicionar de 18% a 27,5% do etanol à gasolina”.

Segundo o último levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB, para o estado de São Paulo no ano safra de 2021/22 houve uma produção total de etanol de mais 11.943 bilhões de litros e um aumento de 6,85% para etanol de especificação anidro que é utilizado como aditivo à gasolina. Dentre os principais estados produtores, São Paulo permanece como o maior produtor de etanol sendo seguido por Goiás e Mato Grosso, assim como é possível observar no gráfico abaixo.

Figura 1-Produção de Etanol nos principais estados produtores

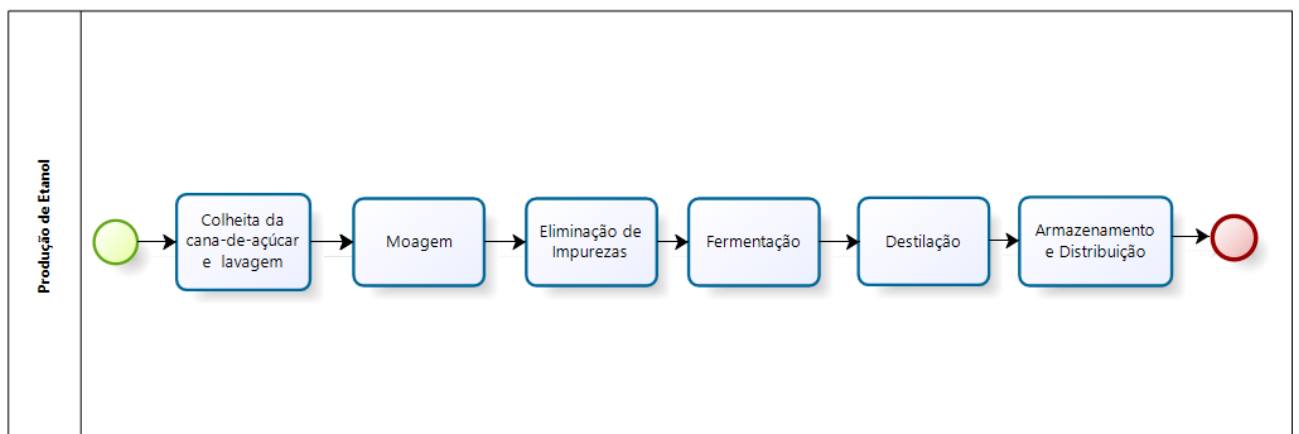


Fonte: Conab (2022). Elaboração: FAESP/ Departamento Econômico.

Na análise do processo geral da produção do etanol são observadas seis etapas principais para obtenção deste produto. A primeira delas é a colheita da cana-de-açúcar e lavagem com o intuito de retirar a poeira, areia, terra e outros tipos de impurezas. Em seguida, acontece a moagem que produz um caldo, popularmente chamado de garapa.

Na próxima etapa, esse caldo vai passar por procedimentos com peneira, decantação e aquecimento para eliminação de impurezas. Após estar completamente puro, haverá o processo de fermentação em que são adicionadas leveduras para produção de um mosto fermentado. Na etapa de destilação, esse mosto destilação fracionada na qual os componentes de misturas homogêneas são separados e assim, surge o álcool comum.

Figura 2-Fluxograma Produção de Etanol



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a última etapa na cadeia produtiva do etanol dentro de uma usina é a responsável pelo armazenamento e distribuição do etanol. Nessa área, o produto é armazenado em tanques e distribuído para os clientes de acordo com as vendas realizadas. Esse presente trabalho tem como foco as atividades realizadas nessa última etapa.

Os principais processos que acontecem na distribuição, também chamado de operações de etanol, são o carregamento e descarga de caminhões tanques. No carregamento, os veículos chegam até uma plataforma e são carregados com o etanol proveniente dos tanques de armazenamento. Já na descarga, o processo inverso acontece, o volume dentro dos caminhões é descarregado nos tanques.

O setor de operações de uma empresa é responsável por realizar com excelência os processos operacionais. Desde que passou a ser utilizada de forma estratégica, essa área foca nas principais prioridades competitivas da empresa, como as características de custo, qualidade, flexibilidade e entrega (CORRÊA, 2017). A priorização desses aspectos na distribuição do etanol garante uma operação segura, rápida e automatizada.

Nesse setor, o transporte do etanol é realizado através de tubulações que saem no sentido dos tanques até a plataforma chegando nas baias de carregamento. Essas baias são denominadas também de postos de atendimento onde são realizadas as cargas dos caminhões. Dentro desse cenário, pode-se observar que nesses postos são formadas várias filas de espera durante os turnos de trabalho.

Assim como para as empresas de outros setores, as filas impactam diretamente na satisfação dos clientes. Quanto mais um cliente espera para chegada do seu produto, menor o seu contentamento e por consequência, diminuem as chances de uma segunda compra. Além desse aspecto, de acordo com Prado (2017) as filas também são dispendiosas, ou seja, ocasionam aumento nos ciclos de produção e trazem aumento nos custos do negócio. Dessa forma, os conceitos aplicados e experiências vivenciadas nesse contexto serão discutidas nos próximos tópicos deste presente trabalho.

## **2. Problemática e Objetivos**

Diante do cenário apresentado, o intuito do trabalho é analisar a capacidade de atendimento da operação, tendo em vista a demanda diária de carregamento. Essa análise deve

considerar apenas o produto do tipo etanol exportação que possui duas baias de carregamento dedicadas especificamente para esse item no setor e é o produto mais rentável para a unidade.

Além dessa situação, surgiu outro desafio proposto pela equipe de comercial e trading da empresa que está buscando aumentar a média de carregamentos de exportação para 70 caminhões carregados por dia nos próximos meses. O propósito desse projeto é também identificar a quantidade extra necessária de baias para conseguir atender a demanda proposta e trazer resultados assertivos para possíveis investimentos da empresa.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é aumentar a capacidade de carregamento aplicando os conceitos da pesquisa operacional, especificamente a área de teoria das filas, no gerenciamento das operações de carregamento de uma empresa do setor sucroenergético distribuidora de etanol.

## **2.1. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste estudo se constituem em:

- Desenvolver um fluxograma do processo de atendimento;
- Cronometrar as atividades do setor de carregamento de etanol;
- Desenvolver cálculos para dimensionamento das filas;
- Dimensionar o número de baias de atendimento necessários para executar a demanda proposta pelo setor comercial.

## **3. Revisão Bibliográfica**

### **3.1. Pesquisa Operacional**

A pesquisa operacional teve seu desenvolvimento acadêmico na área militar, com aplicações práticas durante a Segunda Guerra Mundial. Essa área da matemática foi uma ferramenta relevante para alocar os recursos escassos das operações e lidar com os desafios de maneira estratégica. Após esse período, ocorreu um boom industrial pós-guerra e os conhecimentos adquiridos passaram a ser aplicados também para resolução dos problemas que surgiram com o crescente desenvolvimento das organizações.

Atualmente, ela é caracterizada por ser uma área de estudo que possui um amplo espectro de utilização seja nas instituições do governo, nas agências bancárias, indústrias, empresas comerciais, prestadores de serviço e até mesmo companhias aéreas. A Pesquisa

Operacional, ou PO como é comumente chamada, é aplicada a problemas que compreendem a condução e coordenação das atividades de um negócio (HILLIER E LIEBERMAN,2013).

Alguns exemplos de setores utilizados para estudos nessa área são: cadeia de suprimentos, gestão de risco, gestão de processos, cadeia de abastecimento, cultura organizacional, planejamento estratégico e logística. Todavia, também é possível encontrar pesquisas com aplicações voltadas para a gestão pública, turismo, extração mineral, na saúde, sendo bastante utilizada para o entendimento dos dados durante a pandemia do coronavírus (COVID-19) e até mesmo em problemas de pequeno porte ou de ordem pessoal.

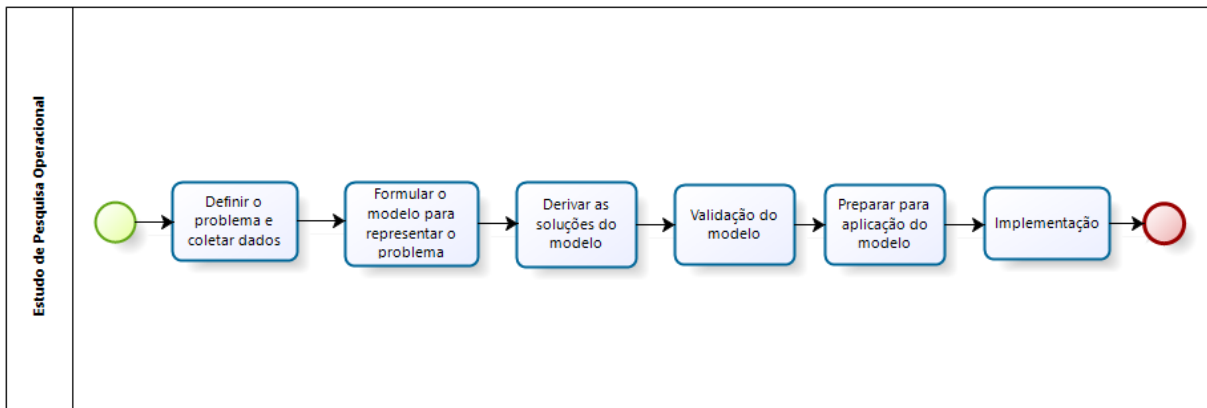
Com o passar dos anos, o enfoque da pesquisa operacional vem mudando de apenas buscar a solução correta para na verdade identificar o problema certo. Para Andrade (2015), a importância dessa área está “na sua influência sobre o modo como os administradores abordam os problemas, na maneira como os formulam, na avaliação que fazem da relação com outros problemas e na forma adotada para comunicá-los a outras pessoas”.

A resolução desses problemas visa 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.

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 são realizadas algumas etapas: definição do problema de interesse e 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 e por fim, a implementação.

Figura 3-Estudo da Pesquisa Operacional



Fonte: Elaborado pela autora.

Inicialmente, é importante ter o entendimento do real problema e dos verdadeiros incômodos da organização. Portanto, tanto se faz necessário uma longa coleta de dados relevantes sobre a situação em análise, como também deve-se contar com o apoio dos tomadores de decisão da organização que podem ser um ou mais integrantes da gerência.

Através dessa coleta, devem-se ser definidos os objetivos apropriados, restrições sobre o que pode ser feito, relação entre a área estudada e outras áreas da organização, possíveis caminhos alternativos, limites de tempo para tomada de decisão e entre outros parâmetros específicos para cada situação estudada.

Essa fase tem relevância considerável no processo, pois as informações descobertas são usadas tanto para se obter o entendimento correto do problema analisado, bem como para fornecer os dados necessários para o modelo científico que será desenvolvido na próxima fase, não há como obter uma solução certa para um problema incorreto.

Já na etapa de formulação de um modelo científico para representar o problema se destaca o fato de que como a pesquisa operacional é um ramo da matemática, os modelos criados nos estudos também são modelos matemáticos. Um modelo é definido por ser uma representação simplificada de algo real, seja esse algo um objeto, um sistema ou um processo (CARTER et al, 2019).

Dessa forma, um modelo matemático nada mais é que uma representação simplificada composta por partes matemáticas 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 da capacidade do sistema, e eventualmente tomar decisões”. Com isso, a finalidade dessa etapa é encontrar a solução ótima para o problema através da resolução do modelo matemático.

Em seguida, há a fase de validação do modelo 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.

Como também podem ser usados novos dados considerando diferentes parâmetros, valores ou até mesmo 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, é feita 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 diárias que surgirem durante a utilização, os feedbacks e as revisões devem ser armazenados em um banco histórico de dados. Essas informações possuem relevância considerável para correções futuras ou replicabilidade do sistema. Dessa forma, com a aplicação da pesquisa operacional é possível trabalhar na resolução dos problemas das organizações e alcançar melhores resultados.

### **3.2. Teoria das Filas**

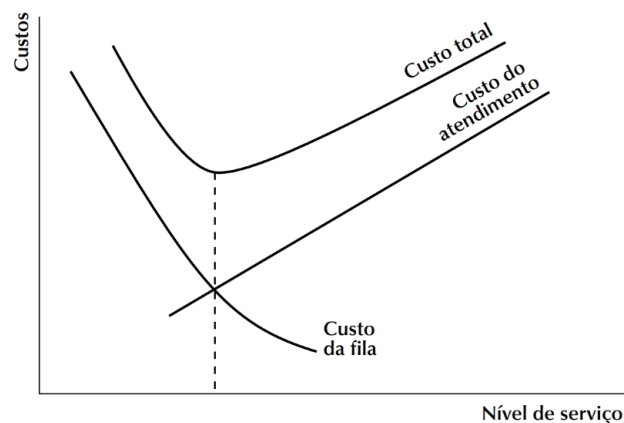
Dentro de uma empresa, diferentes processos são realizados rotineiramente e com eles também surgem diversos problemas. Uma vez que já foi esclarecido como a pesquisa

operacional é capaz de sanar essas dificuldades, é coerente analisar mais a fundo um dos problemas mais recorrentes: as filas.

As filas são formadas pela espera de um ou mais indivíduos do sistema para realização de uma atividade subsequente. Para Hillier e Lieberman (2013), “a teoria das filas é o estudo da espera em todas essas formas diversas. Ela usa modelos de filas para representar os diversos tipos de sistemas de filas que surgem na prática”. A percepção das situações que envolvem filas do mesmo tipo traz o melhor entendimento da existência de diferentes modelos.

Cada um desses modelos é útil para determinar como operar um sistema de forma mais eficiente. Segundo Prado (2017), essa eficiência considera que a formação de filas gera não apenas a insatisfação dos clientes, como também um aumento das 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

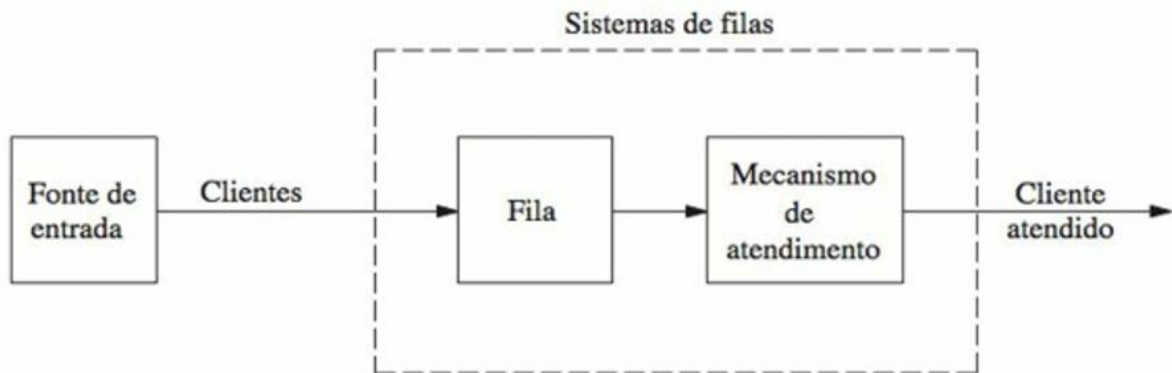
Assim como é possível observar no gráfico acima, ao analisar os valores de custos versus nível de serviço chega-se à seguinte conclusão: os custos do atendimento tendem aumentar com a melhoria do nível de serviço e já o custo da fila tende a diminuir com o aumento do nível de serviço.

Para Moreira (2018), quanto maior o nível de serviço, melhor o atendimento e mais caro também. Entretanto, o serviço acontece mais rápido, o cliente demora menos tempo na fila e o tempo de espera diminui. A solução está no ponto de encontro entre essas duas curvas do gráfico e, portanto, encontrar o balanço em torno desses dois parâmetros.

### 3.2.1. Sistema de Filas

O sistema de filas faz parte de um fluxo estruturado por uma fonte de entradas, a fila em si e o mecanismo de atendimento (HILLIER E LIEBERMAN,2013). Todo esse processo é alimentado pelos clientes que podem ser indivíduos, usuários, máquinas, objetos e entre outros que precisam de algum tipo de atendimento.

*Figura 5-Estrutura de uma fila*



Fonte: Hillier e Lieberman, 2013

Inicialmente, há uma população maior em que todos são clientes em potencial gerados ao longo do tempo por uma fonte de entradas. A partir do momento que esses clientes entram no sistema, talvez não possam ser atendidos de imediato e esperam em uma fila. Para que esse atendimento ocorra, eles passarão por um processo de seleção, seguindo algum critério para ser escolhido. Em seguida, o serviço necessário é realizado através de um mecanismo de atendimento e por fim, o cliente deixará o local.

A primeira etapa desse processo diz respeito à população total de clientes que pode ser classificada como finita ou infinita. A população de clientes se refere a população solicitante, ou seja, o número dos possíveis clientes englobados em uma fonte de entrada.

O tamanho dessa população é considerado infinito quando a quantidade de indivíduos na fila não interfere em uma nova chegada. Por outro lado, uma taxa finita diz respeito à situação em que o tamanho da fila afeta significativamente a taxa na qual a fonte de entradas gera novos clientes.

Na etapa subsequente é importante compreender o comportamento de chegada dos usuários ao sistema de filas. O comportamento pode ser analisado através do número de clientes

que entram no sistema em um determinado intervalo de tempo. Essa taxa pode assumir um valor determinístico ou probabilístico.

No primeiro caso, a forma determinística é possível saber o número exato de usuários que chegam até a fila como uma constante, por exemplo 2 clientes a cada 1 minuto. Já no caso contrário, acontece um processo aleatório de chegadas representado por uma distribuição de probabilidade, em que as principais encontradas para determinar esses casos são a de Poisson e a exponencial.

Na distribuição de Poisson, determina-se um número de indivíduos a partir de um intervalo de exposição pressuposto, ou seja, uma taxa de chegada dado uma unidade de tempo. Já na distribuição exponencial analisa-se o tempo decorrido entre duas chegadas consecutivas. Assim como é possível observar na tabela abaixo, cada uma dessas grandezas é identificada por um símbolo correspondente demonstrado na terceira coluna.

*Tabela 1-Distribuições de probabilidade utilizadas nas taxas de chegada de clientes*

Grandezas	Distribuição de chegadas	Médias
Número de clientes que chegam no sistema de fila por unidade de tempo (taxa de chegada)	Poisson	$\lambda$
Tempo decorrido entre duas chegadas consecutivas	Exponencial	$1/\lambda$

Fonte: Moreira, 2018

Além desses aspectos também temos o conceito de disciplina das filas, que é o critério pelo qual se escolhe o próximo cliente que será atendido. A regra de que o primeiro que entra é o primeiro que sai, também conhecida por PEPS ou FIFO (do inglês First In First Out), é a mais utilizada dentre a maioria das situações estudadas.

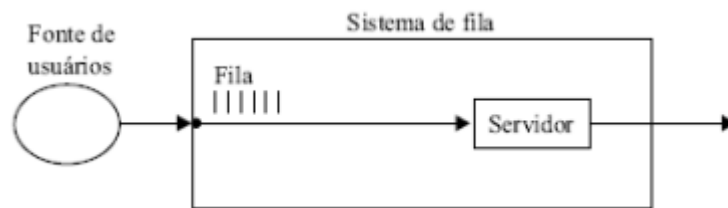
Entretanto, do mesmo modo pode haver casos onde considera-se algum tipo de priorização como são as mulheres grávidas, idosos e entre outros para filas de banco. Dentro da indústria, as máquinas podem ser consertadas de acordo com o tempo do processo ou impacto geral.

Já em um centro de distribuição, pode-se utilizar a metodologia de que o último que entra é o primeiro que sai, também conhecida por UEPS ou LIFO (do inglês Last In First Out).

A escolha do melhor processo de seleção é específica para cada sistema e deve estar de acordo com os objetivos do serviço prestado.

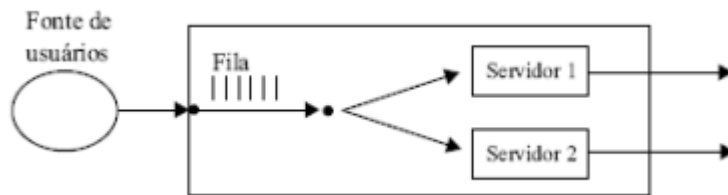
Após a seleção adequada do cliente, a próxima etapa é o posto de atendimento. Segundo Moreira (2018), podemos classificar os modelos de atendimento conforme a quantidade de canais e instalações de atendimento. O serviço prestado pode ser realizado por um ou mais canais em paralelo, mas com apenas uma instalação de atendimento.

Figura 6-Canal único, instalação de atendimento único



Fonte: Arenales et. al., 2007

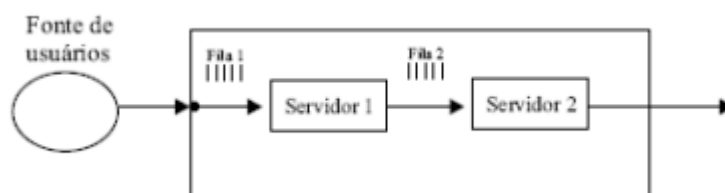
Figura 7-Canal múltiplo, instalação de atendimento único



Fonte: Arenales et. al., 2007

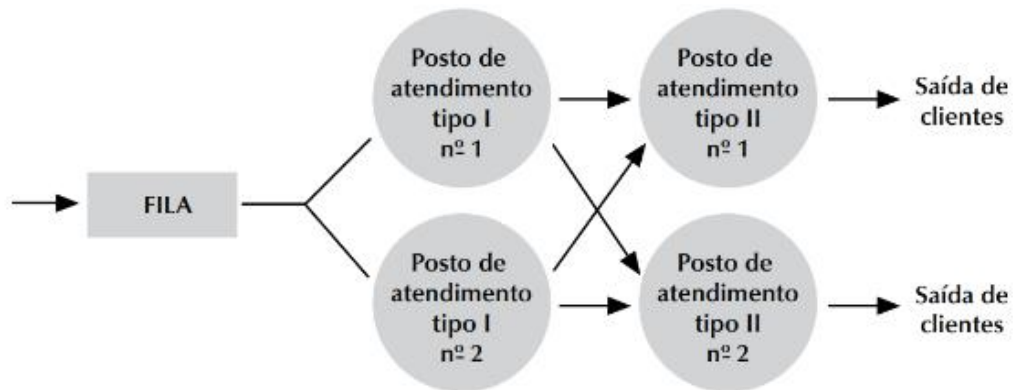
Da mesma forma, o sistema pode conter mais de uma etapa subsequente, em que necessariamente deve-se passar por mais de um atendente para sair do sistema. Nesse contexto, existem dois postos de atendimento em série no sistema. Ademais, também ocorre a situação em que tanto o canal como atendimento são múltiplos, assim como pode ser observado na figura 9.

Figura 8- Canal único, instalação de atendimento múltiplo



Fonte: Arenales et. al., 2007

Figura 9- Canal múltiplo, instalação de atendimento múltiplo



Fonte: Moreira, 2018

O comportamento de atendimento pode acontecer de forma determinística, mas acontece majoritariamente de maneira aleatória e pode ser analisado através de uma distribuição probabilística, em que as principais encontradas para determinar esses casos são a de Poisson e a exponencial. Segundo Arenales et al (2007), para distribuição de Poisson, determina-se um número de indivíduos atendido a partir de um intervalo de exposição pressuposto, ou seja, uma taxa de atendimento dado a uma unidade de tempo.

Já na distribuição exponencial analisa-se o tempo decorrido entre dois atendimentos consecutivos. Assim como é possível observar na tabela abaixo, cada uma dessas grandezas é identificada por um símbolo correspondente demonstrado na terceira coluna.

Tabela 2- Distribuições de probabilidade utilizadas nas taxas de atendimento de clientes

Grandezas	Distribuição de atendimento	Médias
Número de atendimentos por unidade de tempo (taxa de atendimento)	Poisson	$\mu$
Tempo decorrido entre dois atendimentos consecutivos	Exponencial	$1/\mu$

Fonte: Moreira, 2018

### 3.2.2. Medidas de Desempenho

Uma vez que os conceitos básicos foram vistos, é interessante analisar as medidas de desempenho que se pode descobrir a partir deles. As características operacionais das filas

podem ser estudadas por meio de diversos indicadores, para o trabalho em questão, é interessante ter uma perspectiva para as seguintes definições:

- $\lambda$  = taxa de chegada;
- $\mu$  = taxa de atendimento;
- $\rho$  = taxa de ocupação;
- $L$  = número médio de clientes no sistema;
- $L_q$  = número médio de clientes na fila;
- $W$  = tempo médio que o cliente espera no sistema;
- $W_q$  = tempo médio que o cliente espera na fila;
- $P(0)$  = probabilidade de que o sistema esteja ocioso.

Para Moreira (2018), “características operacionais de uma fila são números ou indicadores de desempenho calculados para um dado modelo de fila adotado”, isto significa que com base no modelo de fila, seja ele composto por canais múltiplos e atendimento único, canal único e atendimentos múltiplos ou outro modelo dentro das possibilidades já vistas, essas características não só variam, como também são calculadas de maneiras diferentes.

Dessa forma, durante a aplicação da teoria das filas em qualquer que seja a situação é de grande relevância fazer uma observação detalhada sobre o modelo de fila encontrado, pois essa é a essência utilizada para o restante do estudo e suas devidas interpretações. Depois da análise correta dos parâmetros, é possível utilizar os resultados para propor a solução do problema e as melhorias necessárias para otimização do processo.

### **3.3. Tomada de Decisões**

Após a compreensão de como a teoria das filas consegue trazer características operacionais sobre o sistema de filas, é necessário estudar a área da pesquisa operacional voltada para tomada de decisões. Esse conhecimento trará o suporte necessário para que a partir da análise adequada dos resultados, a solução ótima para o problema seja encontrada.

Visto que esse método identifica como a mudança de algumas dessas características afeta outras, considerando também os custos, torna-se possível enxergar se as mudanças pretendidas são relevantes ou inapropriadas (MOREIRA,2018). Apesar das possíveis considerações identificadas ao final, ainda assim cabe à gerência da empresa em estudo analisar a melhor alternativa.

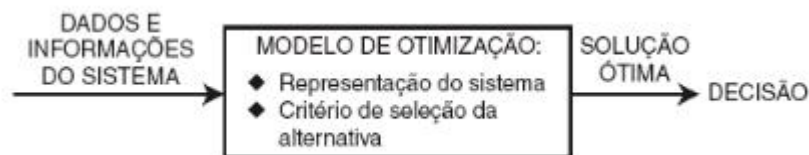
De acordo com Hillier e Lieberman (2013), “Para ser bem sucedida, a PO também precisa, quando necessário, fornecer conclusões positivas e inteligíveis para os tomadores de

decisão", em outras palavras, a pesquisa operacional deve fornecer dados relevantes para que a gestão prática da organização possa tomar as melhores decisões por um ângulo mais estratégico.

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 um número exato e único.

*Figura 10- Processo de decisão com modelos de otimização*



Fonte: Andrade, 2015

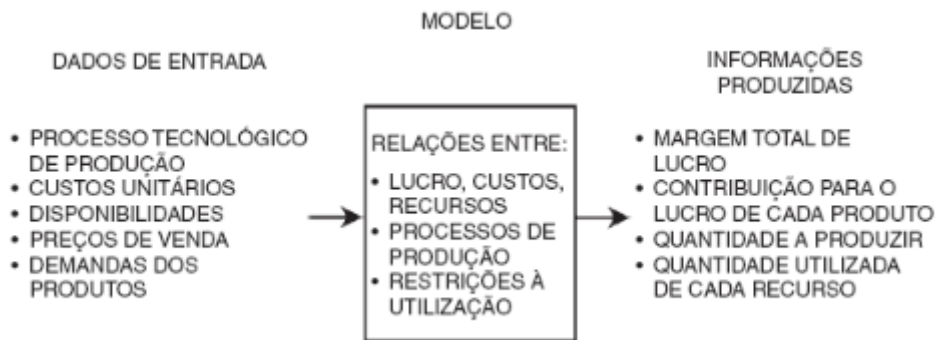
Durante o processo decisório, uma característica importante a ser considerada é o modelo matemático escolhido para tratar o problema. Com base no autor Andrade (2015), o modelo de otimização é “estruturado para selecionar uma única alternativa, que será considerada “ótima”, segundo o critério estabelecido pelo analista”. Esse critério é definido durante a elaboração do modelo e seus efeitos são observados na análise matemática.

No entanto, cada vez mais reconhece-se a existência de diversas alternativas para resolver um problema e nem sempre a solução mais relevante numericamente é 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, e entre outros que do mesmo modo impactam nos lucros ao final.

Nessa perspectiva de considerar o impacto da solução para todos os envolvidos na situação, Herbert Simon desenvolveu um conceito em que são estabelecidos objetivos com níveis mínimos de desempenho satisfatório para as diversas áreas da empresa. Para o cientista, deve-se procurar pela solução suficientemente boa ou também conhecida como satisficing, combinação das palavras em inglês *satisfactory* e *optimizing* (satisfatório e otimização). De acordo com Samuel Eilon (1972), “Otimizar é a ciência do ideal, satisficing é a arte do factível”.

O segundo 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 de alternativas”, isso significa que é possível obter diversos cenários, ambientes futuros prováveis e várias possibilidades para chegar a uma escolha de maneira mais flexível, abrangente e com maior grau de liberdade.

Figura 11- Processo de decisão com modelos complexos de simulação



Fonte: Andrade, 2015

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

#### 4. Metodologia

Diante do conhecimento apresentado sobre a pesquisa operacional e suas áreas de estudo relevantes para esse trabalho, também é necessário contextualizar o cenário utilizado para aplicação dessas técnicas.

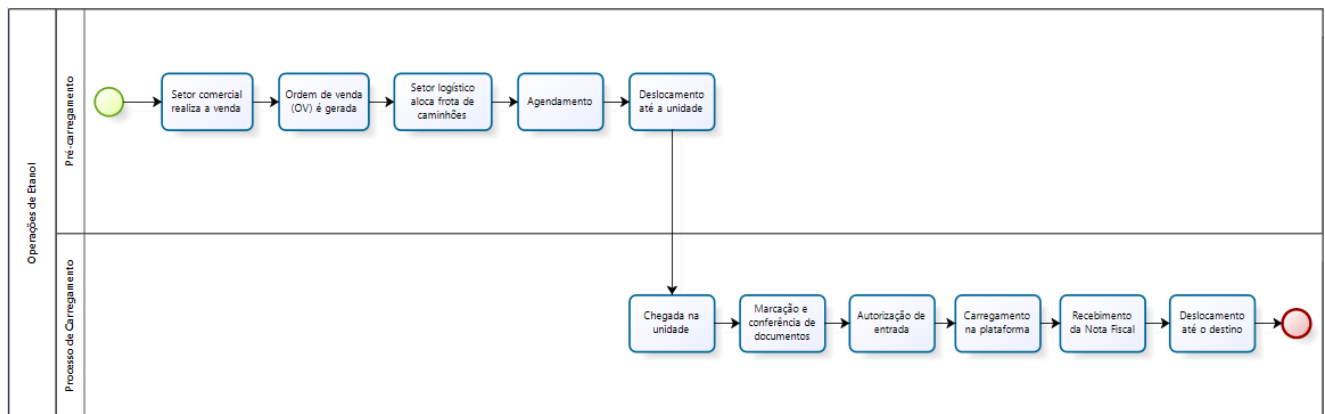
A teoria das filas será aplicada no setor de operações de uma base de distribuição de etanol, seu fluxograma completo bem como seu sistema de atendimento será aprofundado neste tópico para o melhor entendimento dos métodos usados na captação dos dados e tratamento das informações.

#### 4.1. Fluxograma Operacional

O setor de operações de etanol encontra-se no fim da cadeia industrial sendo responsável pela distribuição do produto fabricado na indústria, de acordo com a demanda comercial. É importante que todas as etapas sejam seguidas para que o fluxo dos processos aconteça de forma correta, contribuindo na agilidade e excelência na execução das tarefas.

Assim como é possível observar na imagem abaixo, inicialmente a área comercial fecha a venda com o cliente gerando uma ordem de venda. A partir dessa ordem e quantidade vendida, o setor logístico contrata e aloca uma frota de caminhões tanques necessários para transportar essa carga da usina até o consumidor. Nesse processo são analisadas variáveis de custo, distância e tempo para encontrar a opção mais viável, rápida e otimizada para o objetivo.

Figura 12-Fluxograma Operações de Etanol



Fonte: Elaborado pela autora.

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 carregar naquela semana. Nesta etapa é possível conferir a quantidade e mais especificações sobre os caminhões agendados através do sistema SAP utilizado pela empresa. Em seguida, quando o autotanque chega até a unidade, o motorista se dirige até a portaria para marcar sua chegada e conferir sua documentação gerando uma ordem de carregamento.

Figura 13-Fila Monitorada de Caminhões

▲Dt Agendam	Centro	Descrição Frete	Material	Texto breve material	Σ	Quantidade	Data Portaria	HrIniAgend	HrFimAgend	Hora Portaria	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						<b>801.000</b>							
09.11.2022	0011	MI FOB	9000050	ETANOL ETILICO HIDRAT INDL NACIONAL		31.000		07:00:00	07:30:00				
	0011	MI FOB	9000052	ETANOL ETILICO ANIDRO INDL		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

Após a autorização para entrada por parte da área de operações de etanol, o motorista é liberado para seguir até a plataforma de carregamento. Na plataforma, o processo de carregamento é executado com o auxílio dos equipamentos e operadores. Por fim, o motorista se desloca até o autoatendimento de saída, recolhe a nota fiscal e segue para saída rumo ao destino final.

## 4.2. Sistema de Atendimento

Dentro do espaço físico do setor de operações, é observado que a plataforma possui 4 baias de carregamento. 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, referente aqueles localizados dentro do Brasil, e externo (também chamado de exportação), aqueles localizados em outros países, com uma demanda que atende indústrias, posto de abastecimento, terminais de distribuição urbanos e portuários, laboratórios e entre outros.

Figura 14-Disposição das baias de carregamento



Fonte: Elaborado pela autora

O produto designado para o mercado interno é também chamado de produto originado obtido através da descarga de etanol de outras usinas. Já o produto separado para mercado externo é obtido através da fabricação própria da usina e segue os devidos requisitos e especificações exigidos pelos clientes de outros países. A maioria das vendas e do lucro da empresa está concentrada nos consumidores do mercado externo. Independentemente do tipo de produto, o fluxo seguido pelo caminhão é o mesmo.

### 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.

Figura 15-Pré-Determinador



Ao apertar o botão verde para dar início a operação, uma bomba será acionada para que o etanol seja levado até a plataforma. Na base, possuímos ao todo mais dez bombas trabalhando para o carregamento espalhadas entre as bacias de tanques.

Figura 16-Praça de Bombas



Na plataforma, logo antes de chegar ao caminhão existe um medidor de turbina, que contabilizará a quantidade de álcool inserida no auto tanque, e em seguida o termômetro de

linha que realiza a medição da temperatura no momento do carregamento. Todas essas informações são enviadas para o TCC e por consequência também para o sistema de faturamento. Por fim, o álcool chega ao braço de carregamento e é inserido dentro do caminhão tanque.

*Figura 17-Baia de Carregamento*



Através desse conhecimento mais profundo sobre os controles e as técnicas de medição existentes na plataforma aliado aos procedimentos de medição dos tanques é possível analisar com mais detalhes e propor soluções para os problemas rotineiros presentes na gestão de um alto volume de movimentação de produto.

#### **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 foi o primeiro a empregar o cronômetro como ferramenta para estudos do

trabalho, passando a ser considerado também como o “pai do estudo do tempo”, tendo como técnica utilizar o instrumento para verificar o tempo de realização de uma atividade.

De acordo com Lozada (2016), nesse contexto de estudo dos tempos e métodos “quanto menos tempo for despendido em movimentos, maior será o aproveitamento do tempo e a produção dele resultante”. 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 definidos.

Dessa forma, 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 de automóveis em 24 horas.

Para a segunda característica referente ao número de caminhões diários foi utilizado o sistema já 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 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 da devida análise, aplicando as técnicas de pesquisa operacional e teoria das filas de maneira mais detalhada.

## **5. Desenvolvimento**

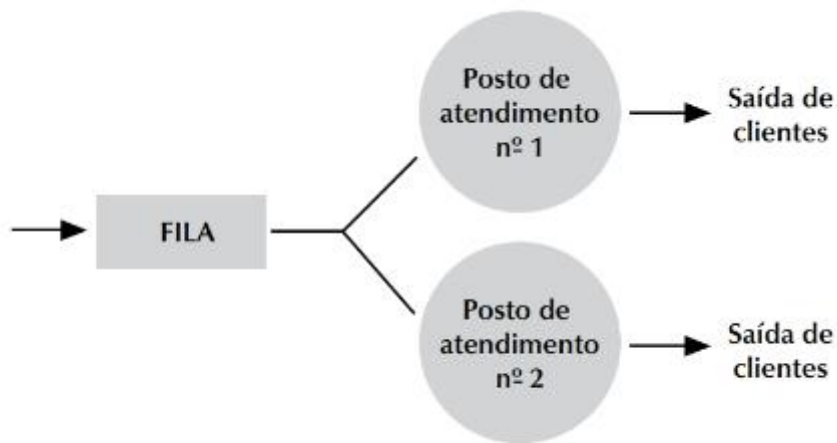
Nesse trabalho, o foco principal será a análise do fluxo de carregamento de etanol voltado para os clientes de exportação, no qual atualmente estão configuradas duas baias de carregamento destinadas apenas para atendimento desse mercado. A coleta de dados foi realizada durante o período de 30 dias, decorrendo do dia 1 até 30 de setembro.

Diante do cenário encontrado, é possível considerar que nesse sistema de fila estudado a população total de clientes é dita como infinita, já a quantidade de novos indivíduos não interfere em uma nova chegada. Tanto o comportamento de chegada, quanto para o comportamento de atendimento assumem valores probabilísticos e são representados neste estudo por distribuições de Poisson.

A distribuição é aquela que ocorre a determinação de um número de indivíduos ou ocorrências a partir de um intervalo de exposição pressuposto, que será definido como 24 horas

ou 1 dia. 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 2 canais ou postos de atendimento em paralelo e apenas uma instalação de atendimento, assim como é possível observar na figura abaixo.

Figura 18- Canal múltiplo, instalação de atendimento único



Fonte: Moreira, 2018

### 5.1. Sistema etanol para Exportação

A empresa possui funcionamento de 24h de segunda a sábado, os domingos foram desconsiderados nos cálculos, sendo encontradas informações sobre a taxa de chegada por dia e tempo médio em horas para efetuar a operação de carregamento. Através desses fatores, foi obtido a taxa de atendimento por dia com a divisão das horas totais diárias pelo tempo médio de cada dia.

Tabela 3-Dados Carregamento de Setembro

Setembro	Taxa de chegada	Horas totais/dia	Tempo médio (horas)	Taxa de atendimento/dia
1	24	24	1,63	14,69
2	21	24	2,06	11,63
3	9	24	0,86	27,89
4	0	24	1,26	19,03

5	28	24	1,26	19,10
6	31	24	1,32	18,25
7	39	24	1,37	17,56
8	42	24	1,49	16,07
9	42	24	1,49	16,09
10	27	24	1,22	19,63
11				
12	36	24	1,15	20,86
13	44	24	1,15	20,83
14	41	24	0,89	27,06
15	39	24	1,00	23,99
16	42	24	1,16	20,69
17	35	24	1,15	20,86
18				
19	32	24	0,91	26,28
20	40	24	0,78	30,61
21	51	24	1,16	20,74
22	57	24	1,67	14,36
23	64	24	1,30	18,51
24	50	24	1,26	19,07
25				
26	52	24	1,66	14,50
27	17	24	1,09	21,92
28	31	24	1,40	17,14
29	35	24	1,21	19,89
30	37	24	1,15	20,91
<b>Média</b>	<b>35,78</b>	<b>24,00</b>	<b>1,26</b>	<b>19,93</b>

Para realizar o levantamento de todos os dados, bem como os cálculos de médias de todas as atividades relevantes para esse estudo, foi utilizada uma planilha em Excel para organizar os dados e obter os resultados, conforme ilustrado na tabela acima. Com os cálculos das médias de atividades realizadas por dia encontrou-se a taxa de chegada ( $\lambda$ ) de 35,78 carregamentos por

dia e a taxa de atendimento ( $\mu$ ) 19,93 carregamentos por dia, considerando apenas um posto de atendimento.

*Tabela 4-Taxas Chegada/Atendimento Setembro*

<b>Taxa de chegada (<math>\lambda</math>)</b>	35,78	por dia
<b>Taxa de atendimento (<math>\mu</math>)</b>	19,93	por dia

Na busca por aprimorar a análise da empresa, foi colocado em prática os conceitos de teoria das filas aplicado para os dois postos de atendimento existentes. Para que o sistema de filas esteja com o dimensionamento adequado, a taxa de ocupação representado por ( $\rho$ ) deverá ser menor que 100%, caso contrário, as baias não possuem capacidade de atendimento.

Inicialmente, foi simulado a taxa de ocupação considerando apenas um posto em que se dividiu a taxa de chegada ( $\lambda=35,78$ ) pelo número de postos de atendimento ( $S=1$ ) vezes a taxa de atendimento ( $\mu=19,93$ ) e foi encontrado o valor de 1,795, ou seja, o sistema estaria com uma sobrecarga em 179,5%.

*Tabela 5-Taxa de ocupação por quantidade de postos de atendimento*

<b>Quantidade de postos (S)</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Taxa de ocupação (<math>\rho</math>)</b>
<b>1</b>	$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$	<b>1,795</b>
<b>2</b>		<b>0,897</b>

Já quando foi simulado considerando duas baias de carregamento para atendimento ( $s=2$ ), o resultado foi menor que 100% demonstrando uma taxa de ocupação de 89,7% em que o sistema possui capacidade para atender as demandas vindas do setor comercial.

Além da taxa de ocupação, também foram calculados a 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 no sistema. Esses fatores podem ser observados na tabela abaixo considerando apenas o cenário atual com duas baias para atendimento.

Tabela 6-Cálculo dos parâmetros para 2 baias de atendimento

Parâmetro	Fórmula	Número De Baias
		s=2
Quantidade de caminhões no sistema	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$	9,14 caminhões
Quantidade de caminhões na fila	$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2}$	7,34 caminhões
Tempo no sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	0,26 dias
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	0,21 dias
Probabilidade de 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%

Assim como é possível observar, vemos que o tempo de espera na fila refere-se a 0,21 dias ou 5 horas e 2 minutos. Já o tempo no sistema equivale a 6 horas e 14 minutos. Quando analisamos a quantidade de caminhões é observado o valor de 7 veículos na fila e 9 veículos no sistema. Por fim, a probabilidade de haver 0 caminhões no sistema é de 5,39%.

## 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.

Diante do desafio apresentado foi necessário aplicar mais uma vez os conceitos de teoria das filas para encontrar a quantidade de baias a mais que seriam necessárias para atender o pedido. Uma vez que os resultados positivos para o negócio podem atingir um ápice de crescimento, a possibilidade da construção de novas baias seria um investimento válido visando alcançar a rapidez, excelência e capacidade operacional necessárias.

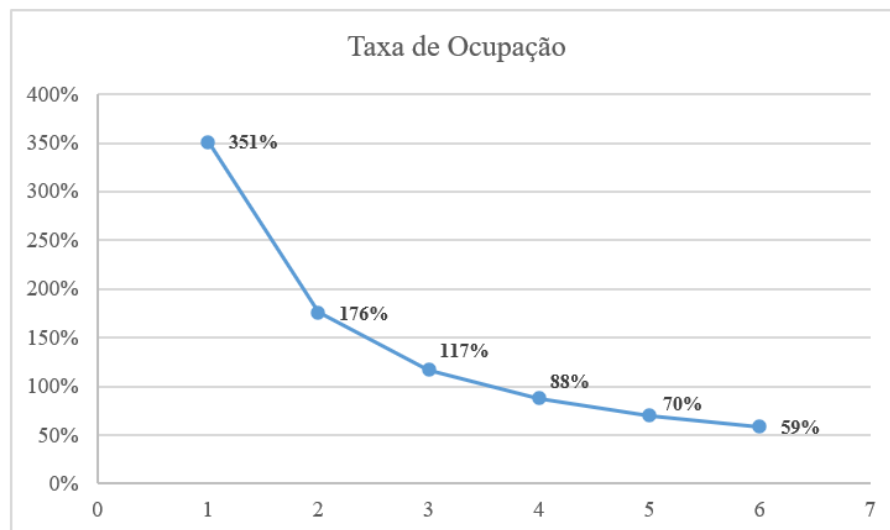
A taxa ocupacional foi calculada levando em consideração que as novas baias teriam a mesma capacidade e taxa de atendimento das já existentes, sendo assim foram simulados cenários de 1 até 6 baias de carregamentos. Os resultados encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 7-Taxa de ocupação para chegada de 70 caminhões/dia

Taxa de chegada ( $\lambda$ )	Taxa de atendimento ( $\mu$ )	Quantidade de postos (s)	Fórmula	Taxa de ocupação ( $\rho$ )
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

Os dados obtidos mostram que nos cenários considerados de 1 até 3 baias de carregamento haveria uma sobrecarga na taxa de ocupação com valores maiores que 110%, portanto com essas quantidades de baias não haveria capacidade para carregar a demanda desejada. O gráfico abaixo mostra a curva da taxa de ocupação em porcentagem, levando em consideração o número de postos de atendimento.

Figura 19- Gráfico Taxa de Ocupação



Fonte: elaborado pela autora.

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. Os cenários com 5 e 6 postos de atendimento possuem taxas ainda menores com valores de 70,2% e 58,5%.

### 5.3. Proposta de solução

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 às duas já existentes, haveriam no total quatro postos para carregar o etanol exportação. Ainda que os cenários com 5 e 6 baias atendam a capacidade de carregamento do plano, eles passam a não ser viáveis devido ao custo para adição desses sistemas na plataforma e a ociosidade operacional.

Ademais, também foram analisados a 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 no sistema. Esses fatores podem ser observados na tabela abaixo considerando a proposta de melhoria para um total de quatro baias para atendimento.

Tabela 8-Cálculo dos parâmetros para 4 baias de atendimento

Parâmetro	Fórmula	Número De Baias
		s=4
Quantidade de caminhões no sistema	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$	8,86 caminhões
Quantidade de caminhões na fila	$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2}$	5,35 caminhões
Tempo no sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	0,13 dias
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	0,08 dias
Probabilidade de 0 caminhões no sistema	$P_0 = \frac{1}{\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!}\right) + \left(\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \times \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{s\mu}}\right)}$	1,43%

Assim como é possível observar, vemos que o tempo de espera na fila refere-se a 0,08 dias ou 1 hora e 55 minutos. Já o tempo no sistema equivale a 3 horas e 7 minutos. Quando analisamos a quantidade de caminhões é observado o valor de 5 veículos na fila e 8 veículos no sistema. Por fim, a probabilidade de haver 0 caminhões no sistema é de 1,43%.

## 6. Resultados Obtidos

No mês seguinte, uma venda otimizada foi realizada visando os lucros da companhia e em face do que foi apresentado realizou-se um teste para entender a eficiência do novo sistema. Para que a comprovação pudesse ocorrer foi necessário realizar uma operação de drenagem e transferência entre tanques.

De início, um tanque anteriormente destinado para mercado interno foi drenado para que ficasse vazio. Depois dessa operação, seu volume foi preenchido com produto etanol anidro exportação através de uma transferência entre tanques. Dessa forma, foi possível viabilizar quatro baias de carregamento destinadas para atendimento do mercado externo.

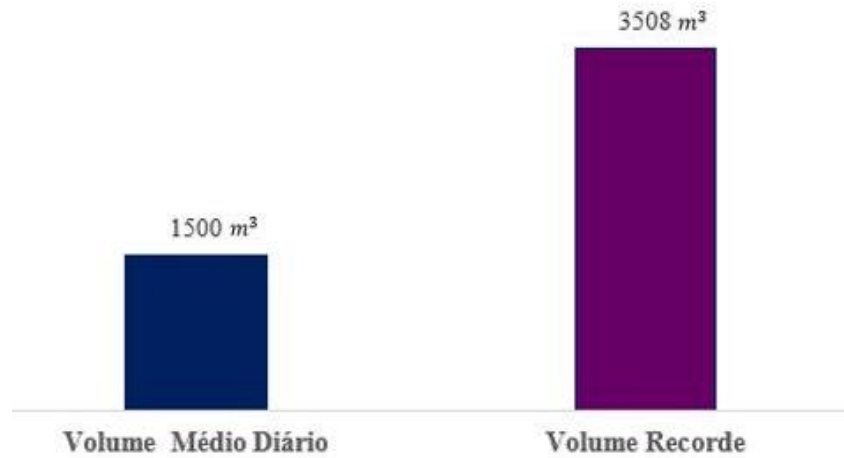
Nessa operação não só conseguimos atender o aumento planejado na demanda pelo comercial, como também atingimos o recorde histórico de expedição da unidade em que foram carregados 3.508.762 litros de etanol em 24 horas de funcionamento. Esse resultado foi alcançado com uma marca de zero acidentes, mantendo o ambiente de trabalho seguro e sem intercorrências.

*Figura 20-Recorde de Carregamento*



A média de carregamento diária fica em torno de 1.500.000 litros e com isso, foi observado uma evolução de 133% quando comparado com o volume alcançado. Esse teste provou uma demonstração da segurança, eficiência e controles em conjunto no desenvolvimento dos processos. Na figura abaixo, pode ser observado uma visão gráfica do progresso obtido a partir desse exercício.

Figura 21-Evolução Volume Carregado



Fonte: Elaborado pela autora

## 7. Considerações Finais

As filas estão presentes no nosso dia a dia em diferentes atividades, como ao fazer as compras em um supermercado, tirar dinheiro em um banco ou até mesmo quando vamos ao hospital para um serviço de emergência. Com esse estudo, foi possível observar de forma aprofundada a fila de espera em um sistema de carregamento de caminhões tanques presente em um centro de distribuição de etanol.

Com o intuito de atingir o objetivo geral do trabalho de aplicar as técnicas da teoria das filas da pesquisa operacional no gerenciamento das operações de carregamento, foi desenvolvido um fluxograma do processo de atendimento, considerando 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 de cálculos para dimensionamento das filas, utilizando o programa Microsoft Excel.

Nesse estudo, foi encontrado a taxa de chegada ( $\lambda$ ) de 35,78 carregamentos por dia e a taxa de atendimento ( $\mu$ ) de 19,93 carregamentos por dia. Considerando as duas baias de carregamento para atendimento ( $s=2$ ), a ocupação é menor que 100% apresentando uma taxa de 89,7% de capacidade para atender as demandas já existentes e com um número médio de 7 veículos na fila de espera.

Além desses objetivos, uma outra análise também foi realizada para encontrar o número de baias de atendimento necessários para atender a demanda proposta pelo setor comercial, auxiliando a empresa na tomada de uma decisão assertiva. Essa proposta previa a necessidade do atendimento de 70 caminhões por dia, através da execução dos cálculos adequados foi possível chegar na solução.

A resolução matemática do problema mostrou que a quantidade ideal para satisfazer o plano previsto do setor comercial é de 4 baias, mostrando uma taxa de ocupação de 87,8% com uma quantidade média de 5 veículos na fila de espera. Essa proposta trouxe os melhores valores desses parâmetros quando comparados com número menores, como 2 ou 3 baias, e também com números maiores, de 5 a 6 baias, visando o custo benefício.

Para a validação do modelo matemático foi realizado um teste organizando o layout da base de distribuição para essa configuração determinada. O resultado alcançado foi um volume recorde de carregamento na unidade com mais de 3 milhões e meio de litros de etanol movimentados em 24 horas de funcionamento.

Essa quantidade mostra uma evolução de 133% em comparação com a média diária de carregamento atual. Portanto, foi possível comprovar a real eficiência e confiabilidade do estudo de teoria das filas aplicada a esse negócio, trazendo melhorias operacionais com segurança e impacto direto em uma maior competitividade, satisfação dos clientes e aumento dos lucros.

## 8. Referências

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.

**Acompanhamento da SAFRA Paulista 2021/22: Cana-de-açúcar.** Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://faesp-senar.com.br/faesp-divulga-balanço-da-safra-de-cana-2021-22-e-perspectivas-da-safra-2022-23/>>. Acesso em 19 de novembro de 2022.

ALMEIDA, A. C. R. F. **Gestão de operações para produtos e serviços.** Editora Senac São Paulo, 17 de jan. de 2022.

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

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

CARTER M.; PRICE C.C.; RABADI G. **“Operations Research: A Practical Introduction”.** CRC Press, 6 de agosto de 2018.

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

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/>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

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.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

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

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 mai. 2023.