

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUE COM
SIMULAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA**

Por,

VITOR DOLABELA DE LIMA GONÇALVES

15/0151594

Brasília, 5 de maio de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

Projeto de Graduação

OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUE COM SIMULAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA

Por,

VITOR DOLABELA DE LIMA GONÇALVES

15/0151594

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Membro 1 (orientador): Prof. Reinaldo Crispiano
Garcia, Ph.D – UnB/EPR

Membro 2: Prof. João Mello da Silva, Ph.D –
UnB/EPR

Brasília, 5 de maio de 2022

AGRADECIMENTOS

O fim deste ciclo marca uma das conquistas mais importantes da minha vida. Portanto, gostaria de agradecer a todos que fizeram parte diretamente e indiretamente desta trajetória cheia de eventos.

Aos meus pais, Inês Dolabela e Rogério Ferreira, que me deram todo o suporte necessário e me apoiaram nas conquistas e decepções. A minha mãe, meu porto seguro e meu exemplo de vida como ser humano e profissional. Ao meu pai, dono dos melhores conselhos e que sempre me encorajou a encarar todos os desafios. E ao meu irmão, Rodrigo Dolabela, parceiro durante toda a minha vida.

Agradeço também a todos que fizeram parte do meu ciclo acadêmico. A Universidade de Brasília, que me proporcionou momentos incríveis como aluno e experiências imensuráveis. A todos os professores da Engenharia de Produção, em especial ao Prof. Reinaldo Garcia, que fez eu me apaixonar por Pesquisa Operacional e aos desafios matemáticos da engenharia. E a todos os colegas da disciplina que fizeram parte desta jornada, em especial aos que eu levei para a vida.

Agradeço ao Grupo Gestão, que me deu a oportunidade de ser inserido no mercado de trabalho e ganhar experiências profissionais incontáveis por meio de projetos incríveis. No âmbito pessoal, agradeço a oportunidade de ter feito um intercâmbio de 1 ano para a Austrália, no qual eu me descobri como ser humano e amadureci como pessoa.

Sou grato pela minha namorada, Gabriela Jardim, que sempre me deu forças para ser uma pessoa melhor e sempre me apoiou em todos os momentos de felicidades e tristezas. Sem ela eu não seria metade da pessoa que sou hoje.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos, que fazem parte da minha vida desde a minha infância, que são meus amigos do peito e meus irmãos da vida. Com certeza eu não seria metade do que sou hoje sem essas pessoas e este trabalho não seria realizado sem todo o apoio que recebi delas.

RESUMO

Com a globalização e a necessidade de uma competitividade frente aos concorrentes, as empresas buscam formas de reduzir o seu custo operacional. A logística, por ter custos logísticos significativos no balanço final, é um excelente setor para que se busque essa redução. Entretanto, como a logística é responsável por manter o nível de serviço ao cliente, entregar os produtos corretos, no local correto e na quantidade correta, deve-se manter a qualidade da operação, mas buscando formas de reduzir gastos desnecessários. Um dos problemas mais notórios do gerenciamento logístico é o controle de estoque, pois tem atrelado custos significativos de estoques e custos de pedidos. Neste sentido, o presente trabalho propõe um modelo de simulação para otimização de políticas de estoque (s,S) em uma indústria real no setor de insumos, a fim de garantir a disponibilidade de insumos ao mesmo tempo que minimiza os custos incorridos de pedido e de estoques. O modelo simula diversas combinações de políticas de estoque para 4 materiais com gerenciamento distinto e as compara com as políticas atuais utilizadas. Com isso, foi possível analisar o resultado financeiro positivo que o modelo propõe, com a minimização dos custos logísticos.

Palavras-Chave: Simulação; Pesquisa Operacional; Gerenciamento de Estoque; Logística; Logística de Suprimentos.

ABSTRACT

The globalization and the need to increase the efficiency against competitors, companies are looking for ways to reduce their operating costs. The logistics, as it represent significant costs in the final balance, is an excellent sector in which to seek this reduction. However, being the logistics responsible to maintain the level of customer service, delivering the correct products, to the correct place and in the correct quantity, the quality of the operation must be maintained besides looking to reduce unnecessary expenses. One of the most notorious problems of logistics management is inventory management, as it has significant inventory and ordering costs. Therefore, the present work proposes a simulation model for the optimization of the (s, S) stock policies in a real industry in the inbound sector. Therefore, the aim to guarantee the availability of materials while minimizing the stocks and ordering costs incurred in this process. The model simulates different combinations of stock policies for 4 materials with different management models comparing them with the current applied policies. It was possible to analyze the positive financial result that the model proposes minimizing the logistics costs.

Keywords: Simulation; Operational Research; Inventory management; Logistics; Supply Logistics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivo Específico	14
1.2. JUSTIFICATIVA	15
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. LOGÍSTICA	17
2.1.1. DEFINIÇÃO DE LOGÍSTICA	17
2.1.2. IMPORTÂNCIA E ÁREAS DE ESTUDO DA LOGÍSTICA	19
2.1.3. LOGÍSTICA <i>INBOUND</i> E PLANEJAMENTO	21
2.1.4. ESTOQUES	24
2.2. PESQUISA OPERACIONAL E SIMULAÇÃO	30
2.2.1. ORIGEM, HISTÓRIA E FUNDAMENTOS	30
2.2.2. CONCEITOS E APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO	31
2.2.3. ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO	33
3. METODOLOGIA	36
3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	36
3.2. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	36
3.3. CRIAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	38
3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	43
4.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	43
4.2. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	44
4.3. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MODELO	49

4.4. RESULTADOS	51
5. CONCLUSÃO	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custos Logísticos nos EUA em 2004	20
Figura 2: Representação da logística inbound.....	21
Figura 3: Participantes e custos do sistema logístico	23
Figura 4: Trade Off entre custos de estoque e custos de transporte	24
Figura 5: Projeção de Estoque no modelo de Economic Order Quantity.....	27
Figura 6: Ponto Ótimo de Custos no modelo de Economic Order Quantity	27
Figura 7 : Exemplo da política (s, Q)	28
Figura 8: Política de Estoque (s,S)	29
Figura 9: Fluxograma das etapas de um projeto de simulação.....	35
Figura 10: Ferramenta Input Analyzer	38
Figura 11: Ambiente de Desenvolvimento.....	39
Figura 12: Script utilizado na base de dados	45
Figura 13: Retorno do Input Analyzer do Material 1	46
Figura 14: Projeção de Estoque Atual x Otimizado	53
Figura 15: Número de Faltas por Política do Material 1	54
Figura 16: Custo Total por política simulada	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificações dos modelos de gerenciamento de estoque.....	26
Quadro 2: Modelos de gerenciamento de estoques	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais selecionados.....	44
Tabela 2: Consumo histórico dos materiais.....	45
Tabela 3: Distribuição da demanda dos materiais selecionados.....	45
Tabela 4: Custo Mensal de Estoque	47
Tabela 5: Custo de pedido por FTL.....	48
Tabela 6: Dados consolidados	48
Tabela 7: Planilha Output do Modelo de Simulação.....	50
Tabela 8: Resultados ordenados	51
Tabela 9: Resultados das políticas otimizadas	51

1. INTRODUÇÃO

Em um mundo com alta conectividade, onde o acesso aos recursos está a alguns cliques de distância, o setor de logística possui um papel importantíssimo (SUKALOVA, 2015). Com o avanço da globalização e a necessidade de aumentar a disponibilidade de recursos para atender a demanda, as empresas buscam cada vez mais se diferenciar no mercado de forma estratégica.

Atualmente, a logística possui um papel fundamental como direcionador para lucratividade e crescimento empresarial (ABRAHAMSSON *et al.* 2003), sendo uma das atividades que vem evoluindo e oferecendo grande vantagem competitiva, pois tem como principal objetivo prover o cliente com os níveis de serviços desejados. O setor logístico vem sendo formatado nos últimos anos com o avanço da globalização, necessitando de uma cadeia logística mais integrada, orientada a dados e com sistemas de tecnologia que suportem a decisão (KILLE; SCHWEMMER, 2014).

A logística é extremamente importante na vida do ser humano. A disponibilidade de um produto no mercado, as linhas de transporte público e a possibilidade do ser humano poder comer um alimento fresco em sua mesa são exemplos de casos que dependem fortemente da logística. De acordo com Ballou (2011), a logística em um contexto empresarial é a responsável por todas as atividades de movimentação e armazenagem, desde o processo de aquisição da matéria prima até o ponto do consumo final. Em suma, a logística é responsável por garantir a disponibilidade e a entrega dos produtos na quantidade correta, no local correto e no tempo acordado.

A logística é assim o processo de gestão de todos os fluxos e informações que acontecem entre clientes, organização e fornecedores, levando os produtos e serviços que necessitam no tempo, quantidade e qualidade corretos (MOURA, 2006). Nos negócios, as empresas focam em três principais etapas: (i) suprimentos, buscando obter os insumos necessários na quantidade e qualidade exatas, mantendo os custos minimizados, (ii) administração da produção, que define o que produzir, o quanto e para quem e (iii) distribuição, com foco em todo o processo de embalagem, transporte e movimentação (GOMES; RIBEIRO, 2020).

Dentro do gerenciamento da cadeia de suprimentos, existe a área da Logística Inbound ou Logística de Suprimentos, que Dehning (2007) define como sendo a parte

responsável pelo gerenciamento, aquisição e recebimento de materiais que serão processados na unidade de fabricação, envolvendo tanto a parte de compras e sequenciamento, quanto a parte de transportes. Essa seção é responsável por tudo aquilo que são entradas de materiais, desde o pedido ao fornecedor até o armazenamento e a movimentação dos insumos para as linhas de produção.

Ainda em Logística Inbound, um dos processos mais importantes é o MRP (*Material Requirements Planning*). Slack et al (1999) define MRP como o cálculo que as empresas fazem para saber quantos materiais são necessários para produzir o produto final, no momento que forem utilizados. A partir disso, é possível que a fábrica se antecipe nas compras de fornecedores externos, garantindo que os materiais estão disponíveis na quantidade e no momento certo. Para uma administração otimizada de materiais, com foco na disponibilidade e na redução dos custos, é necessário compreender os parâmetros de negócio que afetam esse processo, como políticas de estoque, lote mínimo de compra, *lead time*, entre outros.

Para Gaither e Frazier (2005), o MRP possui como objetivos melhorar o serviço de atendimento ao cliente, reduzir o nível de estoques e conseqüentemente seus custos e melhorar a eficiência produtiva da fábrica. Dessa forma, a otimização do processo de MRP se torna extremamente necessária em um cenário de alta demanda, poucos recursos e muitas restrições de negócio, visto que a disponibilidade de materiais e a presença no mercado se tornam diferenciais competitivos.

Outra seção extremamente relevante na área de Logística Inbound são os estoques. Estoques são materiais e produtos armazenados pelas organizações, a fim de se garantirem frente a incertezas, mantendo sempre o produto disponível. Existem diversas razões do motivo pelo qual as organizações mantêm os estoques, como melhorar os níveis de serviço, reduzir custos logísticos gerais, manter a disponibilidade dos produtos frente à variação da demanda e especular em padrões de preços (GHIANI *et al*, 2004).

Os estoques são extremamente importantes para garantir a disponibilidade do produto, mas também podem representar custos altamente representativos. Por isso, as organizações precisam encontrar os pontos ótimos de níveis de estoque, a fim de manter o bastante que garanta a disponibilidade e que, ao mesmo tempo, não esteja em excesso, o que aumenta significativamente os custos incorridos (WATERS, 2008).

Watson (2013) comenta que achar esse ponto ótimo pode ser um tanto quanto desafiador, pois diversas variáveis devem ser levadas em conta. Alguns exemplos incluem: estoques de segurança, variação do *lead time* de fornecedor, variação da demanda, capacidade total do espaço, entre outros. Por conta disso, as organizações fazem uso de políticas de estoque, que definem a periodicidade de revisão, quanto pedir e qual o momento correto de disparar um novo pedido ao fornecedor. Entretanto, nem todas as organizações conseguem manter uma política de estoque bem definida. Por isso, fazem o uso da tecnologia e sistemas de suporte à decisão para analisar dados e poder definir uma política de estoque mais acurada.

Para Taboada (2015), existe uma forte necessidade de implementar soluções de tecnologia na logística, que são mais associadas a processos do que produtos. Neste contexto, se torna essencial o entendimento de como a inovação tecnológica e o auxílio de aplicações de TI podem auxiliar nas operações logísticas (PRAHALAD AND KRISHNAN, 1999).

Com o aumento da competitividade nas empresas, torna-se necessária a redução de riscos e incertezas para prosperar (SILVEIRA, 2004). Dessa forma, a pesquisa operacional e a utilização dos sistemas computacionais conseguem fornecer as capacidades ideais para a otimização dos processos, reduzindo os custos e aumentando a produtividade.

Devido ao grande avanço dos sistemas computacionais e como os sistemas de informação foram difundidos entre as empresas nos últimos anos, o que era privilégio de algumas empresas, tornou-se uma necessidade para uma vantagem competitiva. A centralização dos dados combinada com o avanço e a difusão das tecnologias possibilitou aplicações de modelagem de simulação em toda a cadeia de suprimentos, desde o pedido ao fornecedor até o rastreamento das entregas para o cliente final (CARVALHO, 2003).

Um dos grandes trunfos do avanço da tecnologia e da sua aplicação nas operações logísticas foi a simulação. Com a complexidade e o dinamismo que existe dentro dos sistemas logísticos, a simulação permitiu encontrar respostas para eventos que antes eram dificilmente modelados e previsíveis. A aplicação da modelagem de simulação apresentou respostas de como os sistemas logísticos se comportam e qual a melhor forma de otimizá-los, abrindo espaço para a redução massiva de custos e eficiência dentro das operações logísticas (CARVALHO, 2003).

Sendo assim, o presente trabalho busca propor um modelo de otimização de políticas de estoque por meio de um algoritmo de simulação desenvolvido em Python. O modelo é aplicado em um cenário com dados reais de uma indústria brasileira, focado na área de insumos.

Para tal, o foco do estudo é a minimização dos custos logísticos principais da operação, que são custos de estoque e custos de transporte. O sistema criado simula, para 4 materiais diferentes, diversas políticas de estoque distintas, a fim de verificar o comportamento dos níveis de estoque de cada uma delas. O modelo define a política máxima de estoque e o ponto de pedido que minimizam os custos mencionados acima. Além disso, é possível ter um comparativo visual e quantitativo dos cenários atuais vs. otimizados, juntamente das economias incorridas da otimização.

1.1. OBJETIVO

Os objetivos do presente trabalho estão descritos nesta seção, a fim de compreender qual o foco da aplicação e os retornos esperados, baseados no entendimento do cenário da indústria e a motivação da implementação.

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em implementar um algoritmo de otimização de políticas de estoque e pontos de ressuprimento, com a minimização dos custos envolvidos por meio do entendimento das regras de negócio e aplicação de desenvolvimento computacional.

1.1.2. Objetivo Específico

A partir do Objetivo Geral, é possível segregar os objetivos específicos, que consistem em:

- a. Compreender os principais fatores de influência no processo de Controle de Estoques;
- b. Analisar os dados atuais de demanda e políticas de estoque da indústria em questão;
- c. Desenvolver um modelo de simulação em Python para otimização das políticas de estoque, levando em conta a minimização dos custos;
- d. Aplicar o algoritmo com os dados reais da indústria;
- e. Analisar os ganhos financeiros dos cenários atuais em comparação com o cenário otimizado;
- f. Analisar visualmente o comportamento do estoque em ambos os cenários;

1.2. JUSTIFICATIVA

A crescente globalização dos produtos e serviços demanda uma logística integrada, a fim de garantir a disponibilidade de recursos. Ao mesmo tempo, com a escassez de recursos e a necessidade de otimizar os processos logísticos a fim de se obter uma vantagem competitiva, a logística corporativa deve ser eficaz, ao mesmo tempo que garante uma flexibilidade e disponibilidade em toda a sua cadeia.

Dessa forma, as empresas procuram o auxílio da tecnologia e modelos matemáticos unidos à estratégia que otimizem os processos na sua cadeia de abastecimento. Isto é crucial, visto que o custo com a logística é extremamente expressivo nos custos de uma empresa com atuação global.

Uma parte da logística que possui diversas oportunidades para otimização é a logística *inbound*, que leva em conta todos os processos de gerenciamento de materiais, desde a contratação de fornecedores externos, transporte de materiais e armazenamento de insumos nas unidades de produção. Diversos modelos e *trade-offs* devem ser levados em conta, como por exemplo: fazer menos pedidos de maiores quantidades mantendo níveis maiores de estoque ou manter os níveis de estoque reduzidos, mas realizar pedidos mais frequentes aos fornecedores?

Sendo assim, este trabalho busca propor um modelo de otimização das políticas de estoque, a fim de minimizar custos logísticos na administração de materiais, aplicando um algoritmo desenvolvido em um cenário industrial de uma multinacional de bebidas.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos, que traduzem toda a aplicação e estudos acerca do tema. O primeiro capítulo aborda a introdução, para contextualizar os principais conceitos do tema abordado. O segundo capítulo consiste na fundamentação teórica sobre os conceitos de logística e simulação, a fim de compreender os principais conceitos da área para fundamentar a aplicação realizada. No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada nesta aplicação e como o projeto foi realizado, em etapas. O quarto capítulo aborda a aplicação do modelo em si e os resultados recebidos. No quinto capítulo apresenta-se a conclusão após a análise dos resultados e do cenário da empresa em questão. Por fim, o sétimo e último capítulo traz as referências bibliográficas mencionadas ao longo do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os principais conceitos e a fundamentação teórica acerca do trabalho desenvolvido. Os principais temas levantados são: (i) Logística, tratando da sua definição e história, que incluem os conceitos de logística de suprimentos, planejamento e controle de estoques e (ii) Pesquisa Operacional e Simulação, no qual é abordada sua origem, conceitos, fundamentos e aplicações.

2.1. LOGÍSTICA

A logística está em diversos processos do dia a dia. A entrega de uma carta, a disponibilidade dos produtos no mercado, o serviço de *delivery*, o transporte público, o gerenciamento dos insumos e produtos de uma empresa são ótimos exemplos de onde a logística está posicionada. Por isso, o entendimento dos seus processos é de extrema importância para minimizar os custos e otimizar os recursos envolvidos nesta operação.

2.1.1. DEFINIÇÃO DE LOGÍSTICA

O termo Logística foi inicialmente desenvolvido pelo exército, a fim de designar estratégias de abastecimento de seus exércitos nas batalhas, com o intuito de que não faltassem munições, medicamentos, alimentos, vestuários adequados nas quantidades certas e no tempo certo, principalmente em um cenário com necessidade de eficiência no abastecimento de insumos (GALLO, 2009).

Nas organizações modernas, “a logística pode ser definida como a coordenação de um fluxo de materiais e suas informações, que irão desde o fornecedor até o cliente, de forma eficiente e efetiva, e em correspondência com as necessidades do cliente” (TABOADA; GRANEMANN, 1977). Em um cenário militar, a logística é responsável por abastecer o exército com comida, munições e armas, bem como o transporte dos mesmos. Nas organizações, a logística é responsável por produzir e distribuir os bens, tendo como atividade chave saber como e quando os produtos, tanto os finais quanto os insumos, serão adquiridos, movimentados e armazenados (GHIANI *et al*, 2004).

Dentro do contexto de logística, existe a cadeia de abastecimento. Para Bertaglia (2017), esse termo corresponde ao conjunto de atividades requeridas para obter materiais, gerar valor e disponibilizar os produtos para o local e para a data que os consumidores desejarem. Para Christopher (1997), a logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e estocagem de materiais e produtos acabados, juntamente das informações correlatas, através da organização, de modo a poder maximizar a lucratividade presente e futura através do atendimento dos pedidos”.

A maior organização mundial de profissionais e acadêmicos da área, o Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2010) define logística ou Gestão Logística como a parte da Cadeia de Abastecimento que é responsável por planejar, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso e as operações de armazenagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir ao encontro dos requisitos/necessidades dos clientes.

Moura (2006) afirma que a logística é o processo de gestão de fluxos de produtos, de serviços e da informação associada, entre fornecedores e clientes (finais ou intermediários) ou vice-versa, levando aos clientes, onde quer que estejam, os produtos e serviços de que necessitam, nas melhores condições. De forma geral, é possível definir a logística como o gerenciamento de todo o fluxo de materiais, produtos acabados e informação na cadeia produtiva, desde a matéria prima até o cliente final, de forma a garantir a disponibilidade dos produtos e serviços corretos, no local e tempo requeridos.

Entretanto, a logística não foi criada já da forma como funciona hoje. A literatura relata o surgimento da logística moderna na Segunda Guerra Mundial, em que se resumia às operações militares. Com o avanço dos processos logísticos, ela foi se modernizando e ficando cada vez mais integrada em toda a sua cadeia. Até o dia de hoje, foi dividida em quatro fases diferentes. A atuação segmentada (1), a integração rígida (2), a integração flexível (3) e, por fim, a integração estratégica, conhecida também como *Supply Chain Management*. (NOVAES, 2016).

2.1.2. IMPORTÂNCIA E ÁREAS DE ESTUDO DA LOGÍSTICA

Em plena fase de globalização, onde o mercado exige que se produza mais, com menores custos, maior qualidade e melhor atendimento, a utilização da Logística nas empresas é uma questão de sobrevivência. Neste universo de crescentes exigências em termos de produtividade e qualidade dos serviços oferecidos aos clientes, a logística assume papel fundamental entre as atividades da empresa (VERLANGIERI, 2002).

Esta preocupação em satisfazer o cliente, a diversidade da produção, a pressão para reduzir os custos e a competição entre as empresas tornou necessário que no ambiente logístico globalizado ocorressem novas formas de entregar o produto certo, no lugar certo e com um ganho de valor percebido pelos clientes. Isto agrega os conceitos de responsabilidade social à atividade logística, como uma possibilidade de garantir altos índices de produtividade e competitividade (MELO, 2012).

A logística, por englobar diversos setores de uma empresa e desempenhar um papel abrangente na cadeia de produção, é dividida em áreas distintas, mas correlatas. Ballou (2011) divide os componentes típicos da logística em serviços ao cliente, previsão de demanda, comunicações de distribuição, controle de estoque, manuseio de materiais, processamento de pedidos, peças de reposição e serviços de suporte, escolha de locais para fábrica e armazenagem (análise de localização), embalagem, manuseio de produtos devolvidos, reciclagem de sucata, tráfego e transporte, e armazenagem e estocagem. Dessa forma, ao organizar estes componentes, é possível ter as seguintes atividades chave:

- A. Serviço ao Cliente
- B. Transporte
- C. Gerência de Estoques
- D. Fluxo de informação e processamento de pedidos

Além dessas atividades-chave, Ballou (2011) ainda complementa com as atividades de suporte, que são a armazenagem, o manuseio dos materiais, as compras, as embalagens e a manutenção das informações.

Neste sentido, todos estes processos consistem no sistema logístico, que são redes de pessoas, processos, informações e recursos envolvidos no fluxo dos produtos do início

ao fim do processo, desde o fornecedor até o consumidor. Um sistema logístico pode ser dividido em três subsistemas principais: (i) *Procurement*, responsável pela contratação, compras e transportes de matérias primas para as unidades produtivas; (ii) Produção, que consiste na transformação dos insumos em produtos acabados, por meio da manufatura; (iii) Distribuição, que consiste no transporte dos produtos acabados para centros de distribuição e/ou para os clientes finais (FARAHANI *et al*, 2011)

Para se ter uma ideia do tamanho da importância da logística, Ghiani *et al* (2004) afirma que o custo logístico das organizações nos Estados Unidos da América, em 1977, foi na casa dos 862 bilhões de dólares, aproximadamente 11% do PIB americano da época. Esse valor foi mais alto do que a soma de todo o investimento em segurança social, serviços de saúde e defesa daquele ano. Em 2004, este valor chegou a mais de 1 trilhão de dólares, conforme descrito abaixo.

	Valores em bilhões de dólares	% do total
Custos gerais		
• Juros	23	2,3
• Impostos, obsolescência, depreciação, seguros	227	22,4
• <i>Subtotal</i>	250	24,7
Custos de transporte		
• Rodoviário intermunicipal	335	33,0
• Rodoviário urbano	174	17,1
• Ferroviário	42	4,1
• Hidroviário	27	2,7
• Dutos (petróleo e seus produtos)	9	0,9
• Aéreo	31	3,8
• <i>Subtotal</i>	618	60,8
Outros custos		
• Armazenagem	82	8,1
• Custos de despacho	26	2,6
• Administração da Logística	39	3,8
• <i>Subtotal</i>	147	14,5
Total	1.015	100,0

Figura 1 - Custos Logísticos nos EUA em 2004

Fonte: Novaes, 2016

2.1.3. LOGÍSTICA *INBOUND* E PLANEJAMENTO

Dentro do contexto de logística, o gerenciamento da cadeia de suprimentos pode ser dividido em dois processos principais que são integrados, a logística *inbound* e logística *outbound*. A parte de *inbound* corresponde ao fluxo das operações associados ao fluxo de materiais e informações de insumos diretos e indiretos, desde a saída do fornecedor até o recebimento na fábrica, enquanto o fluxo da logística *outbound* corresponde ao fluxo dos produtos e da informação do centro de produção até chegar no cliente final ou revendedor (TAKITA, 2017). Conforme a distribuição dos subsistemas logísticos apresentados por Farahani *et al* (2011), a logística *inbound*, também conhecida como logística de suprimentos, é englobada pela rede de *Procurement*.



Figura 2: Representação da logística inbound

Fonte: Autoria Própria

Jenkins (2020) define as atividades da logística *inbound* como tudo aquilo que consiste em entradas, com um relacionamento chave com fornecedores e com processos principais de compras, movimentação e armazenagem de materiais e transporte de unidades fornecedoras para a unidade de fabricação. Entre as atividades citadas, é possível encontrá-las nos seguintes tópicos:

- a. Relacionamento, identificação, gerenciamento e negociações com fornecedores;
- b. Inserção de pedidos e requisições de compra nas quantidades corretas e no tempo correto;
- c. Transporte de materiais, levando em conta transportadoras, tipo de equipamento, otimização de cargas e composição de cargas;
- d. Recebimento e descarga de materiais;
- e. Gerenciamento de pátio;
- f. Movimentação de materiais entre depósitos;

- g. Armazenamento de materiais;
- h. Gerenciamento de estoques;
- i. Monitoramento de cargas.

Todos estes processos são fundamentais para garantir que não haja indisponibilidade da produção e gastos excessivos com transportes e estocagem de materiais. Portanto, esses processos devem ser gerenciados de forma eficaz, mas, ao mesmo tempo, mantendo a flexibilidade, adaptabilidade e reatividade frente à mudanças que possam surgir no processo logístico, como mudanças no plano de produção, aumento da demanda e perda de fornecedores (MINNER, 2018)

A logística *inbound* é um processo extremamente complexo, pois exige processos de planejamento avançados para garantir que os insumos corretos sejam entregues e estejam disponíveis na quantidade correta e no momento ideal. Portanto, os processos que englobam o planejamento deste fluxo logístico são desafiadores por dependerem de dados que são constantemente alterados devido ao cenário incerto. Dessa forma, a seção de planejamento da logística corporativa se divide em estratégico, tático e operacional, para que cada parte tenha o seu papel bem definido. A parte estratégica aplica-se para definir as diretrizes, inovações, novos contratos e novas formas de se posicionar. A tática compõe a atuação do desenho dos processos e a resposta rápida às mudanças necessárias pelo cenário corporativo. E, por fim, a operacional executa as atividades do dia a dia da operação, como a compra de materiais, movimentação de estoques, contratação de transportadoras, entre outros. (ALBADRANI *et al*, 2020)

Neste contexto, Knoll *et al* (2016) demonstra que estes processos englobam tanto a administração e execução dos processos do que ocorre fora da unidade, quanto dentro da produção e dos armazéns. Logo, o processo de planejamento deve ser contínuo, a fim de obter-se assertividade e mudanças nas estratégias durante a execução. Como consequência, a complexidade do plano é desafiadora por conta da alteração contínua dos dados de planejamento.

O planejamento da logística tem como objetivo garantir a disponibilidade dos recursos enquanto minimiza os custos logísticos. Os cinco principais custos incorridos no processo da logística de suprimentos são: (i) custo de insumos, (ii) custo de transporte de

insumos, (iii) custos de produção, (iv) custos de transporte de produtos acabados e semiacabados para armazéns e (v) custos de estoque. (FARAHANI *et al*, 2011).

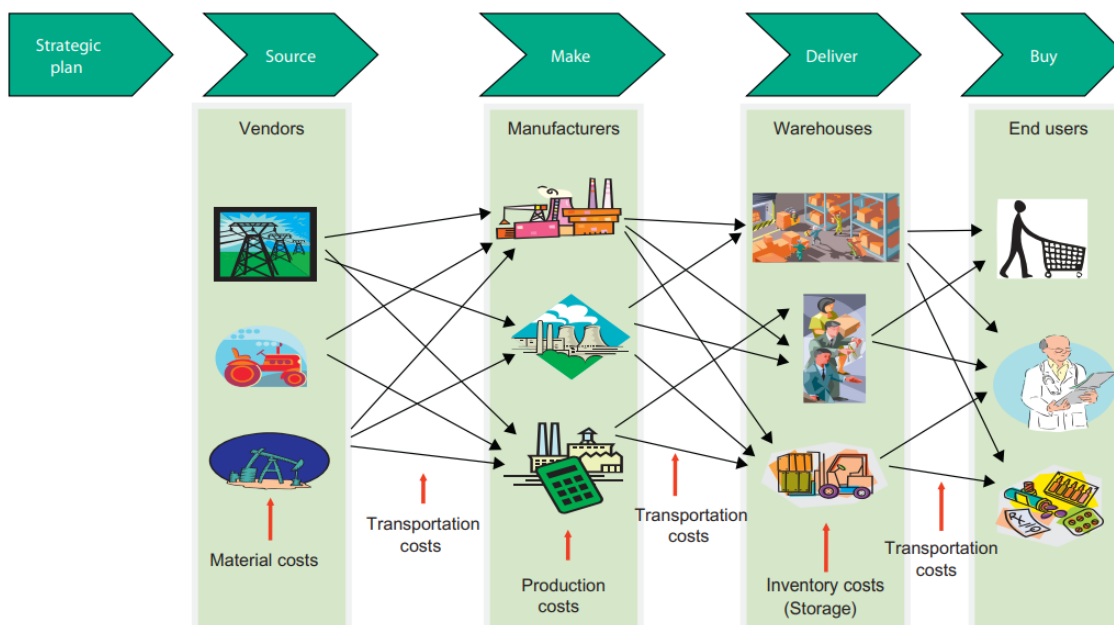


Figura 3: Participantes e custos do sistema logístico

Fonte: Farahani *et al*, 2011

Neste sentido, Ballou (2006) afirma que o planejamento logístico é um problema de projeto, que possui o objetivo de criar uma rede com uma configuração ótima de armazéns, fábricas, fornecedores e sistemas, garantindo o nível de serviço ao cliente no mesmo tempo que aumenta a lucratividade da operação, ao diminuir os custos incorridos. Na logística *inbound*, as frentes mais significativas que necessitam de uma atenção redobrada são a estratégia de estoques e a estratégia de transportes.

No entanto, a questão básica da logística é a compensação entre os custos logísticos. Os custos de estoque e custos de transportes geralmente se conflitam entre si, pois existe a competição entre manter mais estoque e fazer menos pedidos de compra do fornecedor ou, manter menos estoque e fazer mais pedidos. Por isso, a estratégia acerca destas atividades deve ser elaborada levando em conta a diminuição dos custos totais, mas mantendo o nível de serviço e garantindo a disponibilidade de insumos para rodarem nas linhas de produção (BALLOU, 2006).

Na figura 4 é possível observar a intersecção entre os custos de estoque e os custos de totais, e ainda observar que existe um ponto de minimização entre ambos:

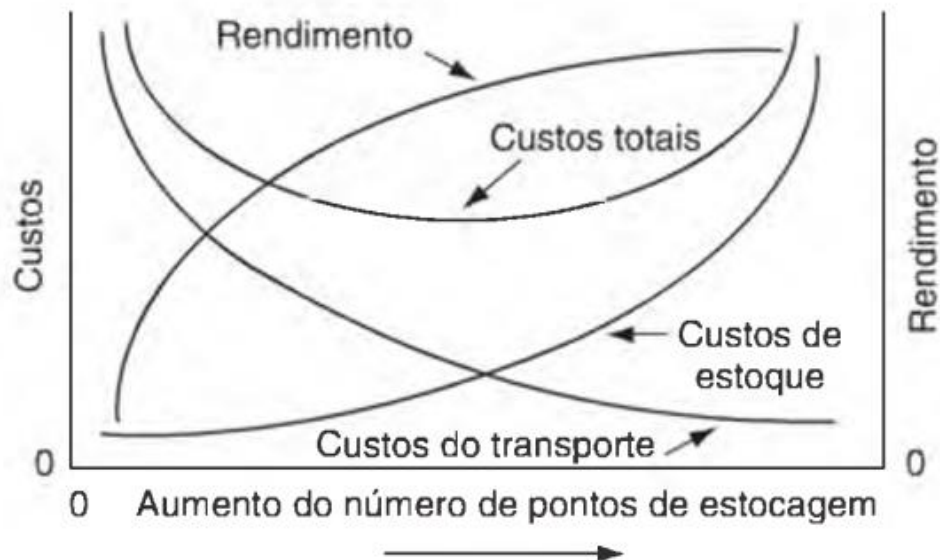


Figura 4: Trade Off entre custos de estoque e custos de transporte

Fonte: Ballou, 2006

Portanto, o planejamento da cadeia logística no fluxo *inbound* torna-se essencial para ser o direcionador das atividades ao mesmo tempo que minimiza os custos ao encontrar os níveis corretos de estoque e frequência de pedidos. Para Watson (2013), este processo de análise do *trade off* de custos de transporte e custos de estoque pode ser um tanto quanto desafiador, pois é necessária uma análise de dados não lineares e de múltiplas partes envolvidas. Alguns exemplos disso são que os dados podem ser diversificados entre fornecedores e entre SKUs, então uma análise minuciosa deve ser levada em conta.

2.1.4. ESTOQUES

Estoques são itens de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que surgem do canal de produção e logístico nas empresas sendo armazenados fisicamente em algum local como um armazém ou depósito (BALLOU, 2011).

Os estoques são formados por itens todas as vezes que uma organização precisa manter um produto (insumo, produto semi-acabado, produto acabado) que não será usado imediatamente. Na logística de suprimentos, os insumos são armazenados fisicamente nas fábricas e armazéns e eles são consumidos na medida que a linha de produção roda no dia a dia e produz o produto acabado. O produto acabado também é armazenado e retirado a partir da demanda dos consumidores. Com estoques de insumos baixos, novos pedidos são requisitados aos fornecedores, que entregam os itens e, conseqüentemente, os níveis de estoque aumentam novamente (WATERS, 2008).

Ballou (2006) divide 5 categorias distintas sobre os tipos de estoques, incluindo: (i) estoques de canal, que são os estoques em trânsito do fornecedor até a unidade produção; (ii) estoques de especulação, que são mantidos como caráter especulativo para momentos que os preços superam as demandas; (iii) estoques regulares, que são os utilizados para manter a necessidade da demanda de produção ou do consumidor de forma mais constante; (iv) estoques de segurança, mantidos como uma prevenção de risco por conta da variabilidade da demanda e, (v) estoque obsoleto, que são os que sofrem deterioração, vencimento ou adversidades como roubo.

Devido à todas as atividades que existem acerca do processo e gerenciamento da estocagem de produtos, existem muitos custos incorridos. Estes custos entram em diversos processos que são realizados como, por exemplo, custos de compra, que são derivados de toda a parte de contratação de fornecedores, aquisição da matéria, transporte e recebimento das cargas e custos de manutenção de estoque, que englobam toda a parte de equipe, manutenção, seguro e espaço físico. Além destes, há ainda os custos de falta, que deriva a partir de uma demanda que não pode ser atendida devido à falta de insumos e/ou produtos acabados e, os custos de obsolescência, que são todos aqueles que vem a partir do desperdício e vencimento de produtos (GHIANI *et al*, 2004).

Por conta disso, o controle de estoque é extremamente necessário, pois engloba todas as atividades de compras, monitoramento, produção e transporte para conseguir garantir a disponibilidade de produtos ao mesmo tempo que minimiza os custos incorridos. O processo de controle de estoque será o responsável por responder perguntas sobre o que e quanto manter em estoque, quando fazer um novo pedido e quanto deve ser requisitado. (FARAHANI *et al*, 2011).

A partir desta necessidade de modelos estruturados de gerenciamento dos níveis de estoque, diversos modelos surgiram com o tempo (ZIUKOV, 2015). O Quadro 1 apresenta os modelos mais difundidos na literatura.

Quadro 1: Classificações dos modelos de gerenciamento de estoque

POR PROPÓSITO	POR PERÍODO
Quantidade Econômica de Pedido	<i>Single-Period</i>
Quantidade Econômica de Produção	<i>Multi-Period</i>
Dimensionamento de lote econômico conjunto	
POR TIPO DE MONITORAMENTO DE ESTOQUE	POR QUANTIDADE DE ITENS
Revisão contínua	<i>Single-Item</i>
Revisão periódica	<i>Multi-Item</i>

Fonte: Mula (2006)

Ghiani *et al* (2004) levanta algumas considerações em seus estudos sobre os modelos de gerenciamento de estoque, a fim de entender quais questionamentos devem ser feitos ao analisar o melhor modelo a ser utilizado. Os modelos de gerenciamento citados por Ghiani *et al* (2014) são: (i) modelos determinísticos vs. modelos estocásticos, (ii) itens de alto giro vs. itens de baixo giro, (iii) número de armazéns distribuídos, (iv) número de materiais e (v) reabastecimento instantâneo vs. não instantâneo. Além desses itens, Ziukov (2015) e diversos outros estudos dividem os modelos de gerenciamento de estoque entre demandas regulares ou irregulares.

Um dos primeiros modelos a serem introduzidos como controle de estoque foi o de Quantidade Econômica de Pedido (*EOQ - Economic Order Quantity*), introduzido por Ford Harris em 1915 (FARAHANI *et al*, 2011). Waters (2008) define este modelo como o cálculo da quantidade fixa de pedido que minimiza os custos logísticos. Por mais que Harris tenha criado o modelo em 1915, grande parte dos créditos foram para Wilson (1934), que testou o modelo e analisou os resultados em diferentes cenários. Este cálculo foi apresentado como:

$$OQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times OC}{HC}} \quad (1)$$

onde: OQ = Quantidade Econômica do Pedido

D = Demanda

OC = Custos de pedido

HC = Custos de estoque

Entretanto, este modelo é apresentado baseado em algumas premissas que são dificilmente atendidas atualmente. O modelo leva em conta de que preços e custos são constantes, sem levar em conta as negociações de preços, variação nos custos logísticos e mudanças de inflação (BUZACOTT, 1975). Além disso, assume-se que a demanda é constante, a indisponibilidade de materiais não é permitida e o Lead Time é igual a zero, ou seja, na hora que o pedido é colocado, o estoque é abastecido (GHIANI *et al.*, 2004).

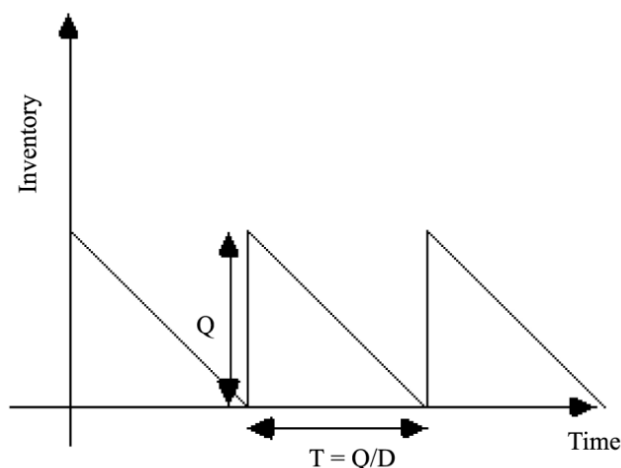


Figura 5: Projeção de Estoque no modelo de *Economic Order Quantity*

Fonte: Roach (2005)

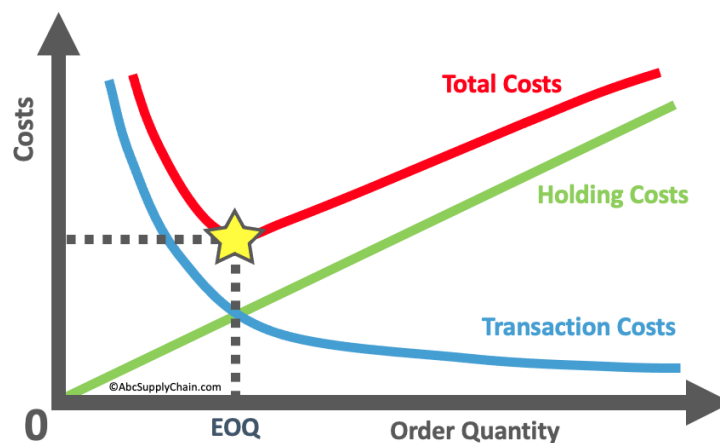


Figura 6: Ponto Ótimo de Custos no modelo de *Economic Order Quantity*

Fonte: ABC Supply Chain (2019)

Protil e Moreira (2002) levantaram modelos de gerenciamento de estoque dividindo entre os que usam como balizador o nível do estoque, que utiliza como alerta a quantidade em itens do material e os modelos que usam o ritmo ou tempo de pedido, que

analisam os estoques de tempos em tempos para verificar se o ponto de pedido já foi ultrapassado.

Quadro 2: Modelos de gerenciamento de estoques

Estratégia	Balizador	Descrição
s,q	nível de estoque	Caso nível de estoque seja igual ou menor do que s , um pedido com q unidades é disparado. As q unidades devem ser o mais próximo do lote econômico de compra.
s,S	nível de estoque	Quando o nível do estoque existente atingir ou ultrapassar o ponto de pedido, este nível é elevado até um limite máximo S . Estabelecendo-se o limite máximo (=estoque máximo) impede-se a formação de reservas desnecessárias de materiais.
t,q	ritmo do pedido	A reposição do estoque é realizada com uma quantidade q em intervalos constantes de tempo t .
t,S	ritmo do pedido	Caso ocorra movimentação de estoque, a reposição do estoque é realizada em intervalos constantes de tempo t até um nível máximo S .
t,s,q	ritmo do pedido	O nível de estoque é controlado em intervalos constantes de tempo t . Caso o ponto de pedido s for atingido ou ultrapassado, o estoque é repostado com a quantidade q .
t,s,S	ritmo do pedido	O nível de estoque é controlado em intervalos constantes de tempo t . Caso o ponto de pedido s for atingido ou ultrapassado o estoque é reabastecido até o nível máximo S .

Fonte: Adaptado de Protil; Moreira, 2002

A primeira política, do (s, Q) consiste em uma metodologia que, a partir do momento em que o estoque atinge o nível de s , o estoque é repostado com um pedido equivalente ao lote econômico de compra, representado por Q (BRUNAUD, 2019).

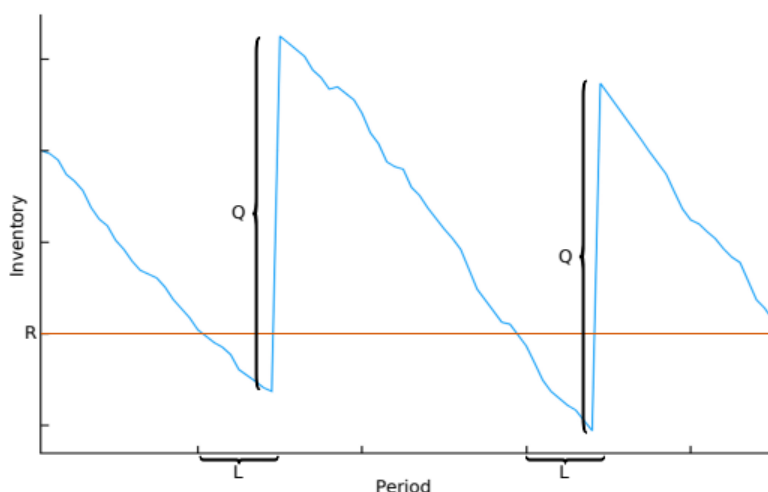


Figura 7 : Exemplo da política (s, Q)

Fonte: Brunaud, 2019

Uma das políticas mais utilizadas e difundidas nas empresas é a do ponto de pedido, também conhecida como (s, S) . Essa política define s como o ponto de pedido e S como a política máxima de estoque. Toda vez que o estoque atual for menor ou igual a s , um novo pedido com quantidade ' $Q = S - \text{Estoque Atual}$ ' é requisitado. Uma das soluções utilizadas para definir quais os pontos do sistema estudado é a simulação, a fim de definir a política ótima em um cenário de demanda incerta (GHIANI *et al*, 2004).

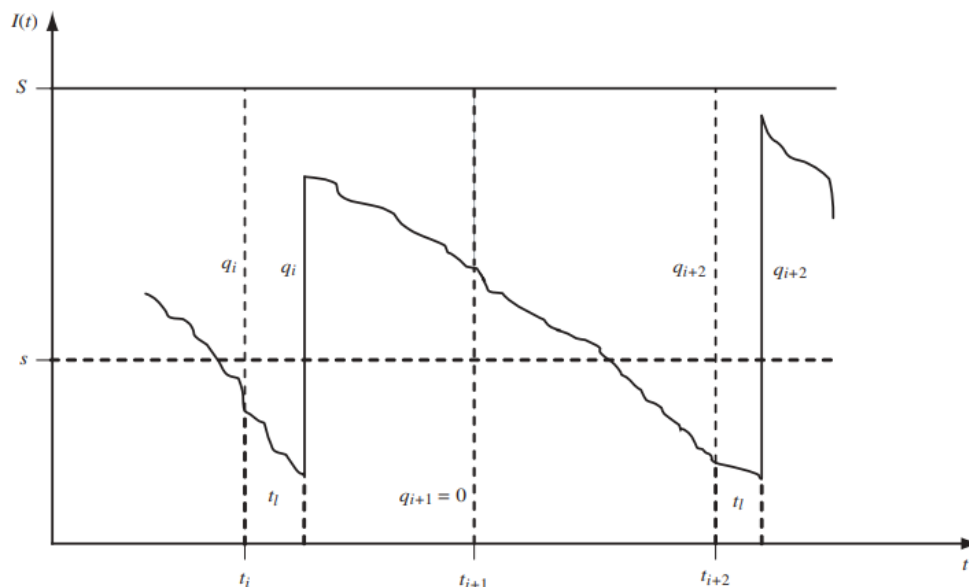


Figura 8: Política de Estoque (s, S)

Fonte: GHIANI *et al*, 2004.

Portanto, é possível concluir que cada modelo tem suas vantagens e desvantagens baseados no cenário que se encontram, se é uma demanda regular ou irregular, se existe um tempo de espera para reabastecimento ou se os custos são regulares, entre outros casos (ZIUKOV, 2015)

Pela necessidade de evitar os custos por falta de insumos e conseguir manter o nível de serviço e de atendimento ao cliente final, estoques de segurança são mantidos, especialmente quando a demanda, tempo de ressuprimento e quantidade de ressuprimento são variáveis ao longo do tempo (SCHMIDT *et al*, 2012). Além disso, por conta da incerteza da demanda e dos *lead times* dos fornecedores, os estoques de segurança se comportam como uma garantia de que haverá disponibilidade dos produtos, mesmo com

as variações e ocorrências externas que podem impactar os níveis de estoque (MINNER, 2019).

Corrêa e Corrêa (2005) definiram o estoque de segurança a partir da seguinte equação:

$$ES = K * \sqrt{(TR * S_D)^2 + (D * S_{TR})^2 + (S_D * S_{TR})^2} \quad (2)$$

Onde: K = fator de segurança (quantidade de desvios padrão da demanda no tempo de resposta)

TR = Tempo de resposta do ressurgimento, em unidades de tempo

S_D = Desvio padrão da demanda

D = Demanda média no período;

S_{TR} = Desvio padrão do tempo de resposta.

2.2. PESQUISA OPERACIONAL E SIMULAÇÃO

A pesquisa operacional é a pesquisa sobre operações que possui seus fundamentos na matemática, lógica, estatística e ciência da computação. Essa área de estudo permitiu a resolução de problemas complexos nas organizações que abrangiam muitas restrições, a fim de aplicar a tomada de decisão mais lógica e benéfica para as operações (GUPTA, 1992).

2.2.1. ORIGEM, HISTÓRIA E FUNDAMENTOS

Com o crescimento e especialização constante das organizações, os problemas empresariais se tornaram cada vez mais difíceis de serem solucionados da maneira mais eficiente possível. Esses problemas encontrados em diversas áreas na organização e a necessidade constante de encontrar o melhor caminho para solucioná-los criaram o cenário necessário para o surgimento da pesquisa operacional. A pesquisa operacional é considerada como uma das primeiras abordagens científicas nas operações dentro das

organizações, tendo suas origens nas ações militares nos primórdios da Segunda Guerra Mundial (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A Segunda Guerra Mundial exigiu que as nações se organizassem de forma eficiente, então convocaram cientistas para obter uma abordagem técnica sobre as operações. Na prática, foi realizada uma pesquisa sobre operações (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). A Inglaterra ficou conhecida pela utilização da pesquisa operacional na guerra e, por conta dos esforços dispostos pelos cientistas, terem vencido a Batalha do Atlântico Norte e a Batalha Aérea da Inglaterra. Esses esforços se difundiram pelo mundo e encorajaram outras nações a aplicarem a abordagem científica nas operações, como França, Estados Unidos e Canadá (GUPTA, 1992).

Após o fim da guerra, muitos especialistas foram convidados pelas indústrias que necessitavam de se reconstruírem de forma eficiente (BONINI *et al*, 2015). A partir de então, a abordagem científica sobre as operações das indústrias foi se desenvolvendo, e vários métodos de pesquisa para diferentes problemas surgiram. Um dos primeiros métodos que ganhou grande notoriedade foi o método Simplex, que surgiu em 1947, criado pelo matemático George Dantzig (GUPTA, 1992). Posteriormente, outras técnicas foram desenvolvidas e adicionadas ao campo da Pesquisa Operacional

A partir da necessidade de se obter resultados de eventos complexos, surgiu a técnica de simulação dentro da pesquisa operacional. A criação dos computadores e, posteriormente, o avanço nas linguagens de programação e dos *softwares*, permitiu uma maior aplicabilidade dos modelos (DE CARVALHO, 2003).

Loesch e Hein (2017) comentam que os fundamentos da pesquisa operacional se encontram na matemática, na análise de sistemas e na estatística. A ferramenta geralmente utilizada para processar e retornar os resultados é o computador, até porque a complexidade dos modelos matemáticos chega a ser altíssima, inviabilizando a resolução manual.

2.2.2. CONCEITOS E APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO

Uma simulação consiste no processamento de eventos, evento por evento, simulando as possíveis entradas e saídas do sistema, a fim de se obter resultados

estatísticos do sistema. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). O objetivo da simulação é tentar prever como os sistemas se comportarão a partir de mudanças ou implantação de novos métodos nos processos de operações. A partir da simulação, é possível criar hipóteses sobre o modelo, a fim de compreender os resultados gerados e quais pontos otimizam as variáveis do sistema (AOKI, 2018).

A simulação pode ser dividida entre simulação computacional ou não computacional. A não computacional é a que não precisa de processamento de um computador para ser realizada, então consiste em simular eventos reais utilizando o ambiente, como protótipos de menor escala de aeronaves. A simulação computacional é aquela que necessita de um processamento computacional para ser realizada, pois utiliza eventos que são criados pelo computador, a fim de se obter os resultados de um sistema operando com um objetivo em comum (MEDINA, 2006).

Freitas (2001) define a simulação computacional de sistemas como a técnica que faz uso da matemática e computadores digitais para imitar o funcionamento de qualquer tipo de operação ou processo do mundo real. Como as variáveis de qualquer modelo real não se comportam do mesmo modo, diferentes modelos são utilizados na simulação computacional. Pereira (2015) classifica os modelos de simulação como: (i) estáticos ou dinâmicos, (ii) determinísticos ou estocásticos e (iii) discretos ou contínuos.

- a) Estáticos ou Dinâmicos: modelos de simulação estáticos são os que analisam o sistema em um instante estático ou que não levam em conta a variável tempo para alterar o sistema, enquanto os modelos dinâmicos alteram o sistema na medida que o tempo percorre;
- b) Determinísticos ou Estocásticos: modelos determinísticos não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos utilizam uma ou mais variáveis aleatórias como parâmetros de entrada ou resultado da saída do sistema;
- c) Discretos ou Contínuos: modelos contínuos percorrem o tempo de forma contínua, o que possibilita definir os parâmetros em qualquer instante do modelo. Modelos discretos avançam na contagem a partir de incrementos ou mudanças no estado do modelo.

Existem algumas abordagens alternativas sobre os diferentes modelos de simulação. Freitas (2001) os define a partir do seu objetivo final, os classificando em (i)

modelos voltados à previsão, que buscam respostas sobre o comportamento de um sistema no futuro baseado no comportamento atual; (ii) modelos voltados à investigação, cujo objetivo é a busca de informações para a formulação de hipóteses sobre o sistema; (iii) modelos voltados à comparação, que avaliam, dentro das rodadas de simulação, o efeito gerado nas saídas a partir de alterações nas variáveis de controle; (iv) modelos específicos, que buscam respostas para modelos específicos em organizações onde a aplicação de recursos financeiros é reduzida; e (v) modelos genéricos, que são desenvolvidos nas organizações para serem utilizados periodicamente, como um sistema de apoio à decisão.

Andrade (2015) comenta que existem diversos cenários que justificam a utilização da simulação, como quando um sistema ainda não existe, quando o investimento de testes em sistemas reais já implementados é muito alto, quando a experimentação real é inadequada, como simulação de catástrofes e desastres naturais, quando a complexidade de testes é muito alta e precisa ser simulado para ser analisado, entre outros.

Esses cenários podem ser encontrados em diversas aplicações no dia a dia. Os setores com aplicações mais conhecidas são: financeiro, com aplicações sobre a valorização de ativos ao longo do tempo e o impacto de eventos externos nos valores, modelagem da performance de computadores, para entendimento do processamento do *hardware* frente aos eventos inesperados, manufatura, com otimização de planos de produção e alocação de recursos, logística e transportes, para otimização de rotas e alocação de recursos com restrição, comportamento de qualquer tipo de fila e alocação de recursos de forma otimizada, entre outros (HENDERSON AND NELSON, 2006).

2.2.3. ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

Hillier e Lieberman (2013) descrevem as etapas envolvidas em um estudo de pesquisa operacional que se baseia em simulação, no qual apresentam o passo a passo da aplicação de um projeto real de simulação.

O primeiro passo consiste em formular o problema e planejar o estudo. Esta etapa aborda o entendimento do problema a ser resolvido, quais seus objetivos e quais questões

devem ser respondidas. O segundo passo é a coleta dos dados e a formulação do modelo de simulação. Aqui é onde a equipe de projeto busca compreender os dados que são necessários para a simulação, como por exemplo tempo entre chegadas, distribuição de uma demanda, tempos de atendimento, entre outros. Após isso, o modelo de simulação deve ser criado como um diagrama de fluxo, a fim de representar os componentes que estão envolvidos no sistema. O terceiro passo consiste em verificar a precisão do modelo de simulação, a partir da validação com os clientes do projeto se o fluxo criado na formulação do modelo é consistente e representará a realidade. Em seguida, é selecionado o software para construção do programa de simulação. Esta etapa é onde é definida qual plataforma ou linguagem de programação que o modelo será criado e efetivamente implementado. Logo após, o modelo deve ser testado, a fim de validar sua consistência. O sexto passo é onde se planejam as simulações a serem realizadas, a fim de definir quais serão as configurações do sistema e padrões de comportamento dos componentes, a fim de retratar ao máximo a realidade. Por fim, as execuções devem ser realizadas e seus resultados analisados, para que seja possível apurar os resultados e interpretá-los, para que sejam tomadas decisões acerca do modelo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Os passos de um projeto de simulação também são descritos pela Figura 9. Portanto, pode-se resumir os passos da simulação pelas etapas de concepção, implementação e análise do projeto (OLIVEIRA, 2010).

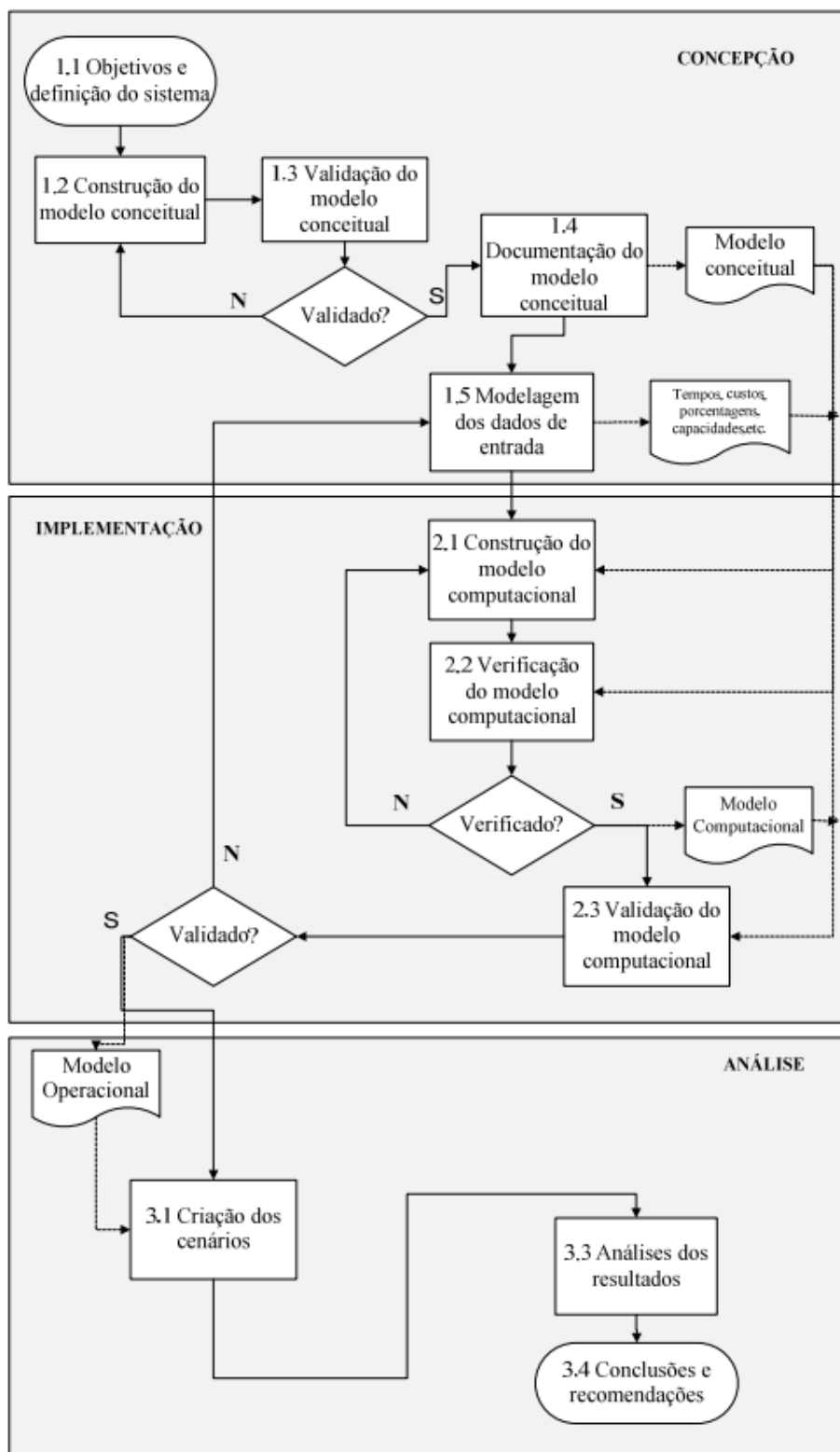


Figura 9: Fluxograma das etapas de um projeto de simulação

Fonte: Oliveira, 2010

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado através de uma pesquisa quantitativa aplicada descritiva experimental com foco na otimização de custos de transporte e de estoques com a definição de políticas de estoques de insumos em uma indústria brasileira. Dessa forma, o trabalho se dividiu nas frentes de coleta e análise dos dados e a simulação de cenários baseados em dados históricos para definição de políticas de estoque ótimas.

3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Conforme mencionado anteriormente, um dos maiores desafios no planejamento e gerenciamento da logística é o controle de estoques. Definir qual modelo de gerenciamento, quais os pontos de ressuprimento e quais os níveis ótimos de estoque podem ser desafiadores ao tentar minimizar custos. Isto porque existem diversas variáveis no processo, como custos variáveis, demandas irregulares, tempo de espera de pedido, restrições de espaço físico, preço dos insumos, entre outros.

Neste sentido, é importante que as empresas utilizem do poder computacional para simular cenários de projeção de estoque, a fim de definir qual o modelo e quais as políticas de estoque que podem ser utilizadas para minimizar os custos totais logísticos. O problema em questão se refere ao gerenciamento de estoque de insumos, que são demandados a partir do planejamento da produção e comprados em fornecedores externos.

O controle do estoque é essencial para garantir que os insumos estarão disponíveis no momento da produção, ao mesmo tempo que faz o balanço dos custos de estoque e de pedidos. Portanto, o presente trabalho foi criado para propor um modelo de simulação de estoques em uma indústria real, a fim de analisar, em um modelo de controle de estoque (s, S) , as políticas de estoque atuais e definir quais seriam as políticas que minimizem os custos logísticos deste processo.

3.2. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização do trabalho, foram necessários coletar alguns dados referentes aos insumos, à operação de MRP da empresa e aos custos envolvidos, para que fosse possível comparar o cenário ótimo definido no modelo de simulação com o cenário atual. Para a aplicação, foram selecionados 3 insumos com formas de operação distintas, a fim de simular o algoritmo em cenários diversos.

Dessa forma, os dados coletados foram:

- A. Histórico da demanda de produção dos materiais estudados, armazenados no sistema de planejamento de insumos da empresa;
- B. Políticas de estoque atuais, fornecidos pelo time de compras da empresa;
- C. Lead Time dos fornecedores vinculados aos materiais do experimento, fornecidos pelo time de compras da empresa;
- D. Custos de estoque e custos de transporte gastos no manuseio dos insumos, fornecidos pelos times de controle e transporte da empresa;

Os principais dados analisados foram os de planejamento de produção, a fim de se obter a distribuição da demanda e utilizá-la na geração dos modelos de simulação. Para tal, a ferramenta *Input Analyzer* do *software* Arena, foi utilizada. A ferramenta consiste na inserção de uma amostra dos dados, os quais foram retirados do base de dados da empresa em questão, e enviados à ferramenta. A ferramenta retorna a distribuição que se encaixa na amostra dos dados a partir dos testes estatísticos, como o teste do Chi Quadrado e o Teste de Kolmogorov-Smirnov. Na Figura 10, é possível verificar um exemplo utilizado na ferramenta:

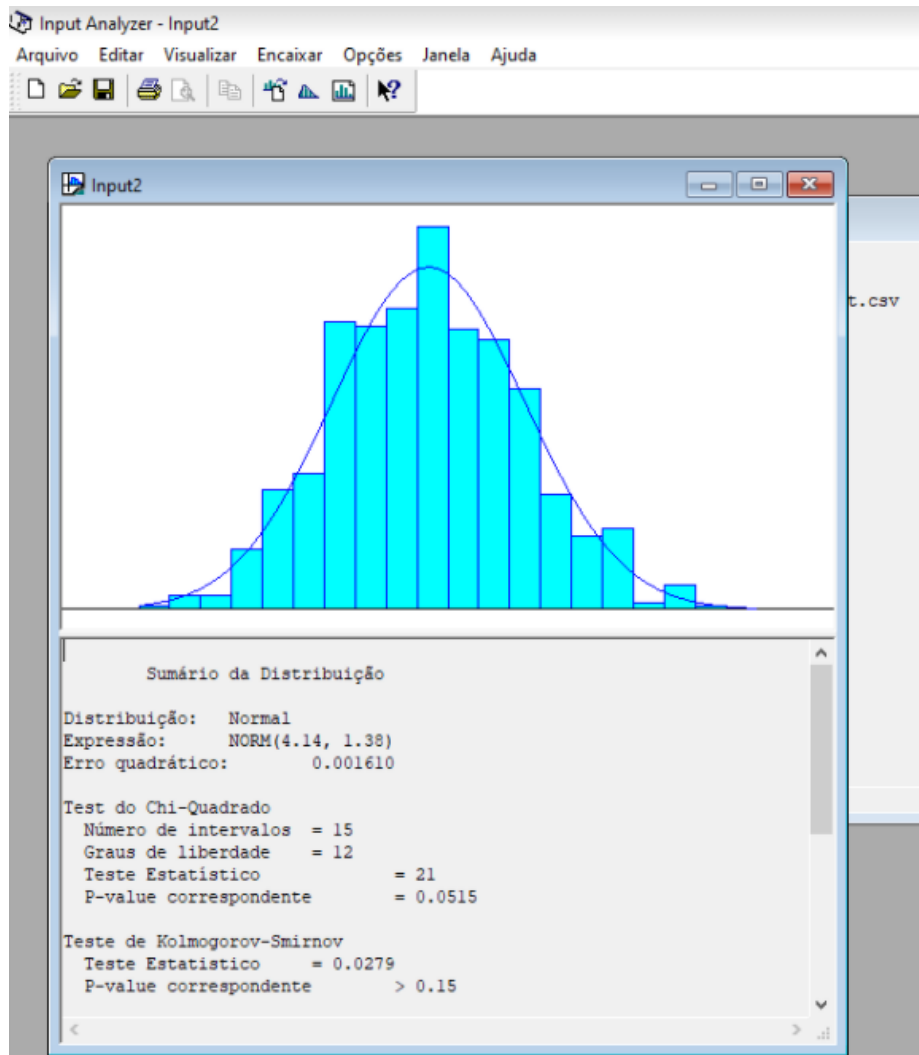


Figura 10: Ferramenta Input Analyzer

Fonte: Autoria Própria

3.3. CRIAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Para o processamento dos dados e construção do algoritmo de simulação, foi utilizada a linguagem *Python (v.3)* no ambiente de interação *Jupyter Notebook*, conforme Figura 11. Para tal, as bibliotecas *Pandas* e *NumPy* foram utilizadas (vide ANEXO A - Modelo de Simulação Python).

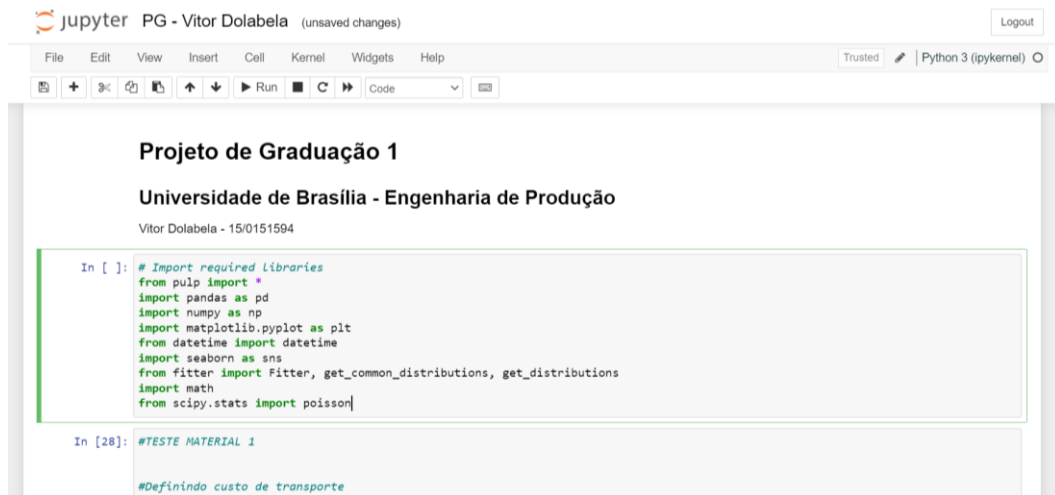


Figura 11: Ambiente de Desenvolvimento

Fonte: Autoria Própria.

O modelo foi utilizado para simular os níveis de estoque de 3 materiais com as seguintes premissas:

- a) Os materiais são independentes e armazenados em local único;
- b) A demanda é probabilística estacionária com distribuição normal, tendo uma média μ e desvio padrão σ^2 ;
- c) O estoque inicial é definido anteriormente;
- d) A % do custo de estoque é fixo;
- e) O custo de pedido é fixo por carro e não possui uma variação de preço a partir da quantidade demandada;
- f) O Lead Time de cada fornecedor é fixo;
- g) O horizonte de análise é finito;
- h) Estoques de segurança não são considerados.

O projeto se classifica como um modelo de simulação, construído para simular a projeção de estoque a partir de uma demanda distribuída normalmente, simulando políticas de estoque distintas, a fim de calcular os custos incorridos de cada uma delas.

A empresa em questão utiliza uma política de estoque denominada de (s,S). Esta política define S como o estoque máximo, ou política de estoque máxima e s como o ponto de ressuprimento. Na medida que os insumos são consumidos pela linha de produção, os níveis de estoque vão diminuindo. Ao chegar em s , um novo pedido é

enviado ao fornecedor, que terá a quantidade necessária para atingir os níveis de S . Após um *lead time* de Lt dias, o pedido chega e os níveis de estoque aumentam.

O modelo projeta o estoque durante um período de tempo $T = 365$ dias, considerando um estoque inicial S_0 , uma demanda probabilística estacionária com distribuição normal D e a simulação de n combinações de políticas (s, S) para análise dos resultados.

As seguintes variáveis são usadas no modelo:

- a) Variável de tempo T
- b) Variáveis de estado do sistema (x, y) , onde x é o estoque atual e y é a quantidade do pedido
- c) Variáveis de custo H e C , onde H é o custo total de estoque e C é o custo total de pedido (processo e transporte)
- d) Variável de contagem de falta F , para definir quais políticas geraram indisponibilidade de insumos

A seguinte função é usada para o cálculo do custo de estoque:

- a) $h(t)$ = Função de cálculo de custo de estoque no instante t_0-t , que calcula o custo total de estoque desde a última atualização.

$$h(t) = x \times P \times i \quad (3)$$

onde: x = estoque do material no momento t (projetado)

P = preço do insumo por unidade de medida do material (fornecido pela empresa)

i = % do valor de estoque que corresponde ao custo diário de estoque (fornecido pela empresa)

- b) $c(t)$ = Função de cálculo de transporte calculada a cada instante que um pedido é requisitado (com o valor da divisão arredondado para cima, pois, no algoritmo, o cálculo é feito para calcular o número de caminhões cheios (FTL - *Full TruckLoad*) e somar o mesmo valor para um caminhão parcial (LTL - *Less*

than TruckLoad), visto que os custos de envio e recebimentos são os mesmos).

A função é definida por:

$$c(t) = a * (q/ftl) \quad (4)$$

onde: a = preço fixo de cada carro

q = quantidade do pedido

ftl = parametrização da quantidade máxima de cada carro

Os seguintes dados são usados no problema:

- a) Preço do insumo, denominado por P
- b) Lead time do fornecedor, denominado por Lt
- c) Custo de pedido único, definido por Cp

O modelo se inicia com: $H = 0$; $C = 0$; $t_l = \infty$; onde t_l representa o tempo de chegada de um pedido para repor o estoque.

Para cada instante T , o modelo atualiza conforme o seguinte algoritmo:

Algoritmo

Se $t_l = t$, atualiza: $x = x + y$; atualiza: $t_l = \infty$; atualiza $C = C + c(t)$

Atualiza: $H = H + h(t)$

Gera: D , demanda variável com distribuição normal

Atualiza: $x = x - D$

Se $x \leq 0$, atualiza $F = F + I$ (estoque foi zerado)

Se $x < s$ e $y = 0$, atualiza: $y = S - x$; atualiza: $t_l = t + Lt$

Ao final de cada período T , o sistema compila os dados em um *Data Frame*, faz uma nova combinação de políticas (s, S) e inicia-se novamente. O programa utilizado pode ser encontrado no ANEXO A - Modelo de Simulação Python.

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após os dados serem gerados em cada instante T para cada combinação de política (s,S) , os mesmos são exportados para um excel, contendo os custos totais, custos de estoque, custos de pedido, a política utilizada, o número de pedidos feitos e se houve indisponibilidade ou não. A análise a ser feita é justamente saber qual política de estoque minimizou os custos, mantendo a disponibilidade dos produtos.

Após a definição da política de estoque ótima, o programa possui uma seção de geração dos dados de demanda, projeção do estoque e o comportamento do mesmo no tempo definido. Em outras palavras, esta seção simula os níveis de estoque a partir dos parâmetros definidos, em que são utilizadas tanto as políticas de estoque atualmente utilizadas quanto a política ótima. Os dados são gravados em um *dataframe*, exportados para excel e utilizados como insumos para geração de gráficos de níveis estoque.

Os custos e os gráficos são gerados para a política de estoque atualmente utilizada e para a ótima, para comparar o comportamento dos estoques. No mesmo sentido, os custos também são comparados, para que se observe qual a redução dos custos logísticos no gerenciamento de estoques. Além disso, as políticas próximas à ótima são analisadas por meio da variação do ponto de pedido e da política máxima, a fim de entender o impacto nos custos e na disponibilidade dos produtos.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O capítulo de resultados engloba a aplicação do modelo nas etapas mencionadas na seção de metodologia, com a definição do problema da indústria analisada, a coleta e a análise dos dados, a criação e a aplicação do algoritmo de simulação que define políticas de estoques que minimizam os custos totais e, por fim, a análise dos resultados.

4.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O problema foi definido a partir de uma dor real da indústria em questão. Atualmente, o time de compras possui muitas dificuldades na definição das políticas de estoque e na otimização da alocação dos pedidos, visto que os custos de transporte e custos de estoque não são levados em conta. Os compradores atualmente utilizam um sistema de *Material Requirements Planning* (MRP), o qual consolida informações de estoques, programação de produção e parâmetros dos fornecedores para sugerir pedidos de compra. Porém, esse algoritmo de sugestão trabalha em cima das políticas de estoque definidas para cada insumo de cada armazém. Dessa forma, o gatilho para uma nova sugestão de compra é o ponto de ressuprimento e, o ponto de estoque foco é a política de estoque máximo.

Após a análise dos custos de estoque e custos de transporte, foi possível identificar que existe um gap neste processo, visto que a conclusão estratégica da empresa foi que existe muito material em estoque, elevando os custos totais. Além disso, há gastos desnecessários com transporte, o que poderia ser evitado com a otimização das políticas e a análise dos custos ao colocar um pedido de insumo a um fornecedor.

Outro problema relatado pela empresa foi o da falta ocasional de insumos de alto giro, que possuem volumes altos de consumo diário. Portanto, o presente trabalho foi criado para solucionar o problema que existe nas políticas de estoque mal elaboradas, a fim de defini-las com foco na minimização dos custos logísticos principais deste processo (estoque e transporte) e prevenir a falta de insumos que geram indisponibilidade.

4.2. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta dos dados se iniciou com o levantamento dos dados necessários para a construção do modelo de simulação. Iniciou-se com a escolha dos materiais a serem utilizados na análise. Foram escolhidos 4 materiais com parâmetros de lead time, preço e volume de consumo distintos, a fim de se obter uma análise mais completa. Estes materiais foram escolhidos levando em conta as suas relevâncias para o processo de produção da empresa. Os materiais escolhidos com suas características podem ser encontrados na Tabela 1.

Tabela 1: Materiais selecionados

MATERIAL	CLASSIFICAÇÃO
Material 1	Raw Material
Material 2	Packaging Material
Material 3	Raw Material
Material 4	Químico

Fonte: Autoria Própria

Após a seleção dos materiais, foi extraída a base histórica de consumo do *Data Lake* da empresa. Para tal, foi utilizado a ferramenta *Microsoft SQL Server Management Studio*. O script foi executado na ferramenta e os dados foram copiados para uma planilha de excel (dados ocultos por questões de compliance).

```

SELECT *FROM MaterialConsumption
WHERE Brewery = 'XXXX'
AND
MaterialNumber = 'XXXXXXXXXX'
ORDER BY
ConsumptionDate DESC

```

Figura 12: Script utilizado na base de dados

Fonte: Aatoria Própria

Tabela 2: Consumo histórico dos materiais

Id	Empresa	Centro	Material	Data	CodigoMrp	TipoMaterial	Quantidade	UnidadeMedida
3919240	BRXX	BRXX	1	2022-04-30 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3919107	BRXX	BRXX	1	2022-04-29 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3919101	BRXX	BRXX	1	2022-04-28 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3919219	BRXX	BRXX	1	2022-04-26 00:00:00.000	SB	Z011	41460.00	KG
3919250	BRXX	BRXX	1	2022-04-24 00:00:00.000	SB	Z011	124380.00	KG
3919171	BRXX	BRXX	1	2022-04-23 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3918925	BRXX	BRXX	1	2022-04-22 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3919318	BRXX	BRXX	1	2022-04-21 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3918943	BRXX	BRXX	1	2022-04-20 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG
3918941	BRXX	BRXX	1	2022-04-19 00:00:00.000	SB	Z011	82920.00	KG

Fonte: Aatoria Própria

Em seguida, os dados de quantidade de consumo foram inseridos na ferramenta *Input Analyzer* do *Arena*. A ferramenta analisa as distribuições e sugere qual melhor representa os dados. A Tabela 3 possui as distribuições com a média (μ) e o desvio padrão (σ^2) de cada um dos consumos dos materiais.

Tabela 3: Distribuição da demanda dos materiais selecionados

MATERIAL	DISTRIBUIÇÃO	EXPRESSÃO
Material 1	NORMAL	NORM(4.14, 1.38)
Material 2	NORMAL	NORM(603,183)
Material 3	NORMAL	NORM(65118, 12034)
Material 4	NORMAL	NORM(202, 67)

Fonte: Aatoria Própria

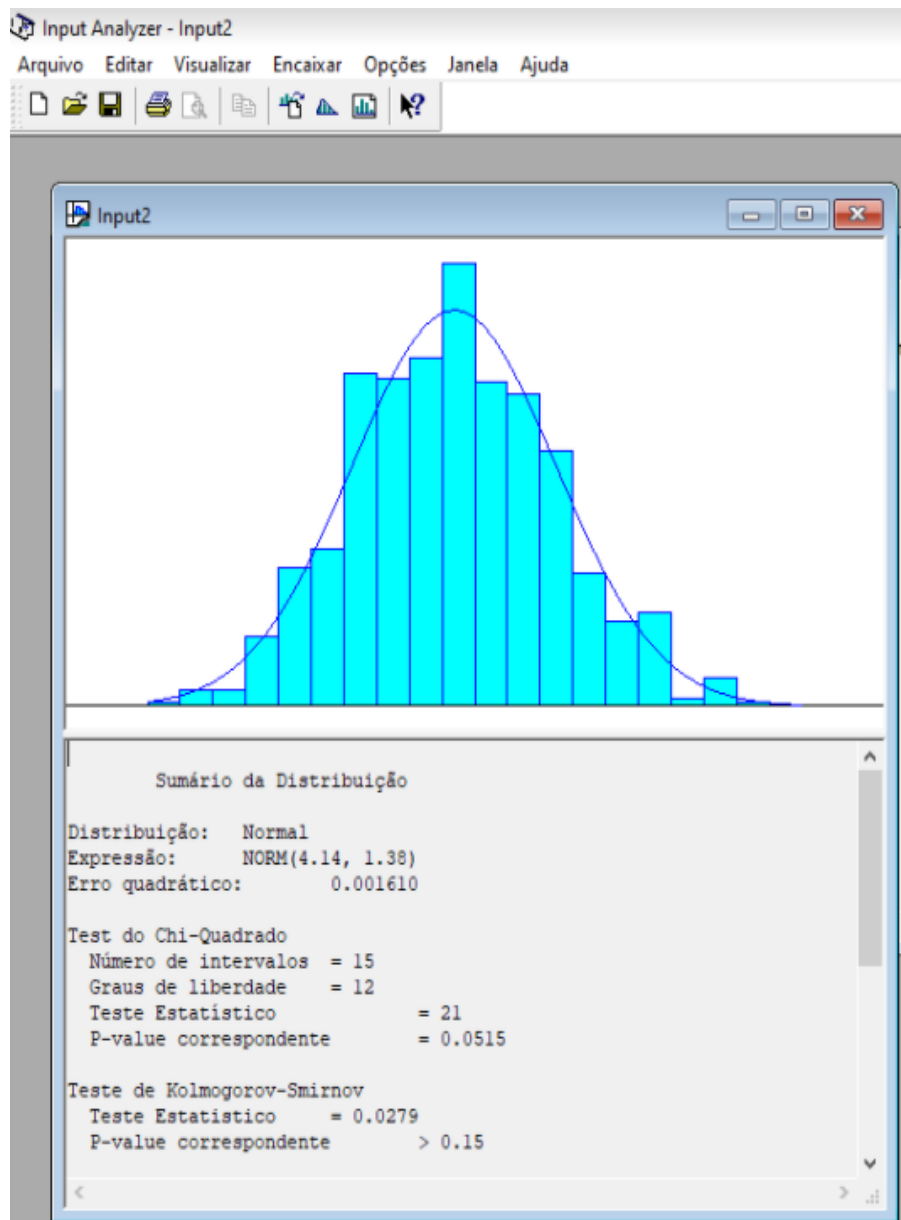


Figura 13: Retorno do Input Analyzer do Material 1


Fonte: Autoria Própria

Com os dados de consumo dos materiais, o próximo passo foi buscar os dados acerca da operação, como custos de estoque, lead times, e custo de pedido. Abaixo estão todos os dados utilizados e como foram coletados.

- a) Lead Time do fornecedor: número em dias de espera no momento que o pedido é feito até o mesmo ser entregue. Este dado foi retirado do sistema de colaboração com o fornecedor da empresa;

- b) Preço: valor em reais (R\$) dos insumos, retirado dos contratos dos fornecedores no ERP da empresa;
- c) Estoque Inicial: quantidade do material em estoque no dia do início da análise, retirado do sistema de MRP da empresa;
- d) Políticas de Estoque (s, S) atuais: políticas de estoque em quantidade do material (s, S), retiradas do sistema de MRP da empresa;
- e) Quantidade enviada em cada carro cheio (FTL - Full Truckload), retirado do sistema de colaboração com fornecedores da empresa;
- f) Custo de estoque: % do valor do estoque que representam os custos, fornecido pela equipe de controle da empresa;

Tabela 4: Custo Mensal de Estoque

DESCRIÇÃO	VALORES TÍPICOS	 Carrying cost	
Custo de capital / oportunidade	7.4% - 10%		
Custo de armazenagem	2% - 4.2%		
Custo de perda e deteriorização	4% - 6.4%		
Seguro	1%		
Movimentação de Materiais	1%		
Taxas e Impostos	0 - 2%		
TOTAL PADRÃO	17%		
			Typical values
		Opportunity cost of capital	7.4-10%
		Storage and storage surface	2-4.2%
		Deterioration & Loss	4-6.4%
		Insurance	1%
		Material handling	1%
		Tax	0-2%
		Total carrying rate	15.4 - 24.6% 17% default

Fonte: Autoria Própria

- g) Custo de pedido: custo médio (fixo) de pedido **por carro**, fornecido pela equipe de controle da empresa. Além do custo fixo, existe o preço a ser pago ao fornecedor pela compra do insumo.

Tabela 5: Custo de pedido por FTL

DESCRIÇÃO	VALORES TÍPICOS	
Tempo para colocar pedido	R\$	150,00
Recebimento	R\$	150,00
Transporte	R\$	2.500,00
Controle Interno de Qualidade	R\$	300,00
TOTAL	R\$	3.100,00

Fonte: Autoria Própria

Após os dados serem coletados, foram consolidados na Tabela 6. Portanto, a Tabela 6 apresenta a distribuição da demanda para cada um dos 4 materiais analisados e o lead time dos fornecedores deles. Além disso, o estoque inicial, a política (s,S) atualmente utilizada e o preço para cada material também são apresentados. Por último, o parâmetro *Full Truck Load* (FTL) e os custos de estoque e de pedidos também são dados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados consolidados

MATERIAL	DISTRIBUIÇÃO	LEAD TIME	ESTOQUE INICIAL	POLÍTICA (s, S)	PREÇO	FTL (FULL TRUCKLOAD)	CUSTO ESTOQUE	CUSTO PEDIDO
Material 1	NORM(4.14, 1.38)	22 dias	683 KG	(120, 1120)	R\$ 1700 /1000 KG	500 KG	17%	R\$ 3.100,00
Material 2	NORM(603,183)	40 dias	44 800 KG	(15000, 95600)	R\$ 1354 / 1000 KG	12 800 KG	17%	R\$ 3.100,00
Material 3	NORM(45118, 8034)	4 dias	250 000 KG	(280000, 385000)	R\$ 1025 / 1000 KG	35 000 KG	17%	R\$ 3.100,00
Material 4	NORM(202, 67)	19 dias	8 500 KG	(4000, 10000)	R\$ 1950 /1000 KG	3 000 KG	17%	R\$ 3.100,00

Fonte: Autoria Própria

4.3. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MODELO

Após a coleta e a análise inicial dos dados, o algoritmo foi desenvolvido em *Python* para o processamento computacional dos resultados. O algoritmo está descrito na seção 3.3 “*Criação do Modelo de Otimização*”.

Os dados de entrada para o algoritmo foram: (i) estoque inicial, (ii) lead time, (iii) quantidade do carro cheio, (iv) *range* de políticas de estoque a serem testadas, (v) período em dias de iteração e (vi) preço unitário do material.

Para cada combinação de política de estoque (s, S), o algoritmo itera dia após dia, gerando a demanda baseada na distribuição, a projeção do estoque, o cálculo diário do custo de estoque e, caso haja necessidade, a requisição de uma compra juntamente com os custos envolvidos. Com estes dados processados, o modelo exporta os resultados em excel, que contém: (i) política de estoque, (ii) custo total, (iii) custo de estoque, (iv) custo de pedido, (v) número de pedidos e (vi) número de faltas. O material 1 gerou 2400 combinações, o material 2, 9859 combinações, o material 3, 7599 combinações e, por fim, o material 4 gerou 5799 combinações. Para a combinação mencionada da política (s,S) e para material, foram rodadas 1000 vezes a simulação, devido às incertezas das demandas, por exemplo.

Tabela 7: Planilha Output do Modelo de Simulação do Material 1

	Política	Custo Total	Custo Estoque	Custo Pedido	N Pedidos	N Faltas
0	[300, 30]	R\$ 80.221,06	R\$ 70.921,06	R\$ 9.300,00	3	45
1	[300, 40]	R\$ 80.412,20	R\$ 71.112,20	R\$ 9.300,00	3	38
2	[300, 50]	R\$ 81.283,00	R\$ 70.588,00	R\$ 10.695,00	3	30
3	[300, 60]	R\$ 81.742,38	R\$ 69.342,38	R\$ 12.400,00	4	26
4	[300, 70]	R\$ 81.711,00	R\$ 69.311,00	R\$ 12.400,00	4	21
5	[300, 80]	R\$ 83.436,90	R\$ 70.571,90	R\$ 12.865,00	4	11
6	[300, 90]	R\$ 85.919,55	R\$ 70.419,55	R\$ 15.500,00	5	3
7	[300, 100]	R\$ 86.297,33	R\$ 70.797,33	R\$ 15.500,00	5	0
8	[300, 110]	R\$ 87.959,82	R\$ 72.149,82	R\$ 15.810,00	5	0
9	[300, 120]	R\$ 91.387,31	R\$ 73.252,31	R\$ 18.135,00	6	0
10	[300, 130]	R\$ 92.588,24	R\$ 73.988,24	R\$ 18.600,00	6	0
11	[300, 140]	R\$ 95.490,59	R\$ 75.185,59	R\$ 20.305,00	7	0
12	[300, 150]	R\$ 97.622,42	R\$ 75.922,42	R\$ 21.700,00	7	0
13	[300, 160]	R\$ 100.489,10	R\$ 77.549,10	R\$ 22.940,00	7	0
14	[300, 170]	R\$ 103.026,66	R\$ 78.226,66	R\$ 24.800,00	8	0
15	[300, 180]	R\$ 106.853,58	R\$ 79.263,58	R\$ 27.590,00	9	0
16	[300, 190]	R\$ 110.164,06	R\$ 80.714,06	R\$ 29.450,00	10	0
17	[300, 200]	R\$ 114.150,32	R\$ 81.290,32	R\$ 32.860,00	11	0
18	[300, 210]	R\$ 117.806,50	R\$ 82.621,50	R\$ 35.185,00	11	0
19	[300, 220]	R\$ 119.748,69	R\$ 82.548,69	R\$ 37.200,00	12	0
20	[310, 30]	R\$ 80.732,18	R\$ 71.432,18	R\$ 9.300,00	3	43

Fonte: Autoria Própria

Como uma das premissas do modelo é de que a política selecionada não permite falta de estoque, a coluna que representa o número de faltas foi filtrada para obter apenas as políticas que não geraram indisponibilidade de insumos. Após isso, os custos totais foram ordenados em ordem crescente, para que a política que gerou o menor custo pudesse ser identificada.

Tabela 8: Resultados ordenados do Material 1

	Política	Custo Total	Custo Estoqu	Custo Pedic	N Pedic	N Falta
7	[300, 100]	R\$ 86.297,33	R\$ 70.797,33	R\$ 15.500,00	5	0
27	[310, 100]	R\$ 87.213,40	R\$ 71.713,40	R\$ 15.500,00	5	0
8	[300, 110]	R\$ 87.959,82	R\$ 72.149,82	R\$ 15.810,00	5	0
87	[340, 100]	R\$ 88.157,80	R\$ 75.602,80	R\$ 12.555,00	4	0
107	[350, 100]	R\$ 88.329,87	R\$ 75.929,87	R\$ 12.400,00	4	0
67	[330, 100]	R\$ 88.460,17	R\$ 74.355,17	R\$ 14.105,00	5	0
28	[310, 110]	R\$ 88.552,29	R\$ 73.052,29	R\$ 15.500,00	5	0
127	[360, 100]	R\$ 89.024,38	R\$ 76.624,38	R\$ 12.400,00	4	0
147	[370, 100]	R\$ 89.504,71	R\$ 77.104,71	R\$ 12.400,00	4	0
48	[320, 110]	R\$ 89.846,66	R\$ 74.501,66	R\$ 15.345,00	5	0
88	[340, 110]	R\$ 90.145,27	R\$ 76.815,27	R\$ 13.330,00	4	0
108	[350, 110]	R\$ 90.275,39	R\$ 77.565,39	R\$ 12.710,00	4	0
68	[330, 110]	R\$ 90.324,45	R\$ 74.824,45	R\$ 15.500,00	5	0
128	[360, 110]	R\$ 90.353,96	R\$ 77.953,96	R\$ 12.400,00	4	0
167	[380, 100]	R\$ 90.507,98	R\$ 78.107,98	R\$ 12.400,00	4	0
49	[320, 120]	R\$ 90.539,68	R\$ 75.039,68	R\$ 15.500,00	5	0

Fonte: Autoria Própria

4.4. RESULTADOS

Após a aplicação do modelo para cada um dos materiais, foi possível definir a política de estoque que minimiza os custos, assim como o custo total incorrido da simulação de 1 ano. Para fins comparativos, os custos gerados pela combinação da política atual (s, S) utilizada também foi registrada.

O Tabela 9 representa o resultado comparativo das políticas de estoque atuais utilizadas pela empresa em relação à política encontrada que minimiza os custos. O resultado médio da diminuição dos custos logísticos totais dos 4 materiais foi de 38%.

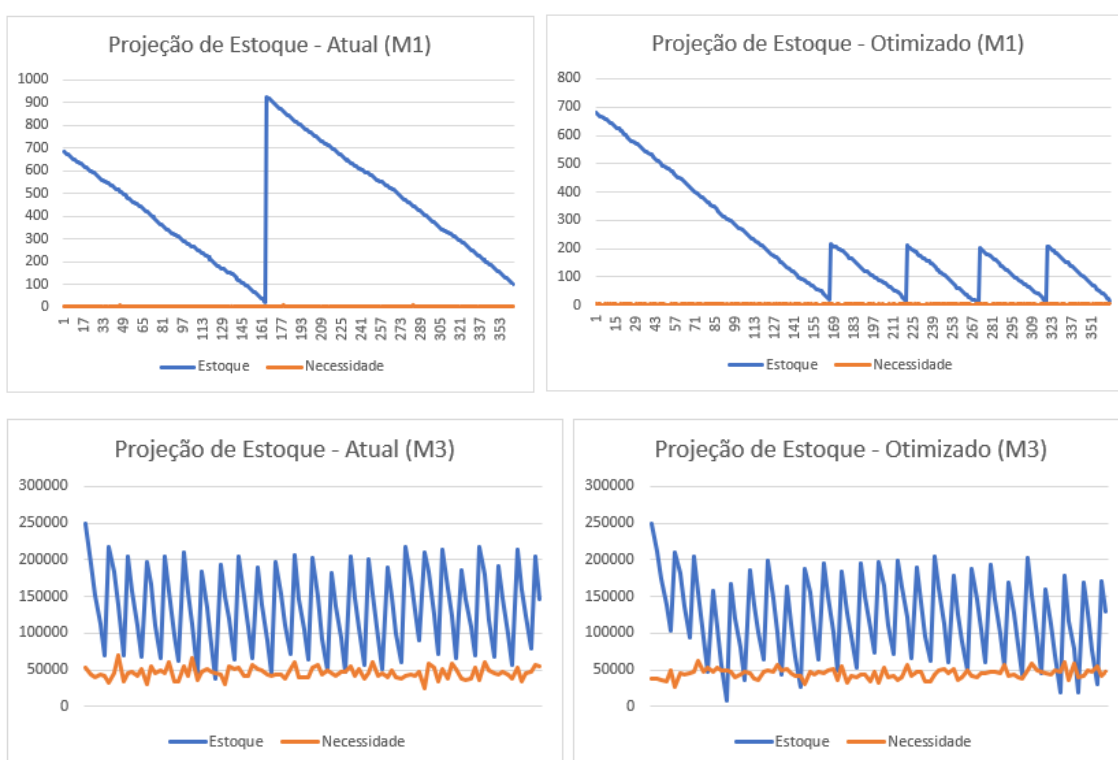
Tabela 9: Resultados das políticas otimizadas

MATERIAL	POLÍTICA ATUAL (s, S)	CUSTO TOTAL	POLÍTICA OTIMIZADA (s, S)	CUSTO MINIMIZADO	RESULTADO (%)	RESULTADO (R\$)
Material 1	[120 KG, 1120 KG]	R\$ 170.591,16	[100 KG, 300 KG]	R\$ 86.297,33	49,41%	R\$ 84.293,83
Material 2	(15000 KG, 95600 KG)	R\$ 8.885.617,32	[26000 KG, 51000 KG]	R\$ 4.288.515,49	51,74%	R\$ 4.597.101,83
Material 3	(280000 KG, 385000 KG)	R\$ 28.629.768,11	[228500 KG, 366500 KG]	R\$ 25.010.263,31	12,64%	R\$ 3.619.504,80
Material 4	(4000 KG, 10000 KG)	R\$ 1.388.646,18	[4300 KG, 7900 KG]	R\$ 1.012.539,50	27,08%	R\$ 376.106,68

Fonte: Autoria Própria

A princípio, é possível verificar que grande parte dos custos incorridos são derivados dos números mais altos do que o normal para “S” maior, que representa a política máxima do estoque que será pedido. Com isso, os níveis de estoque aumentam e, conseqüentemente, os custos para mantê-los também.

A fim de visualizar o comportamento dos níveis de estoque, os gráficos de projeção foram gerados na segunda seção do programa. Para tal, a segunda seção do programa descrita em 3.4 foi utilizada. Os parâmetros de cada material foram utilizados como entrada para simular o cenário novamente com as políticas atuais e otimizadas.



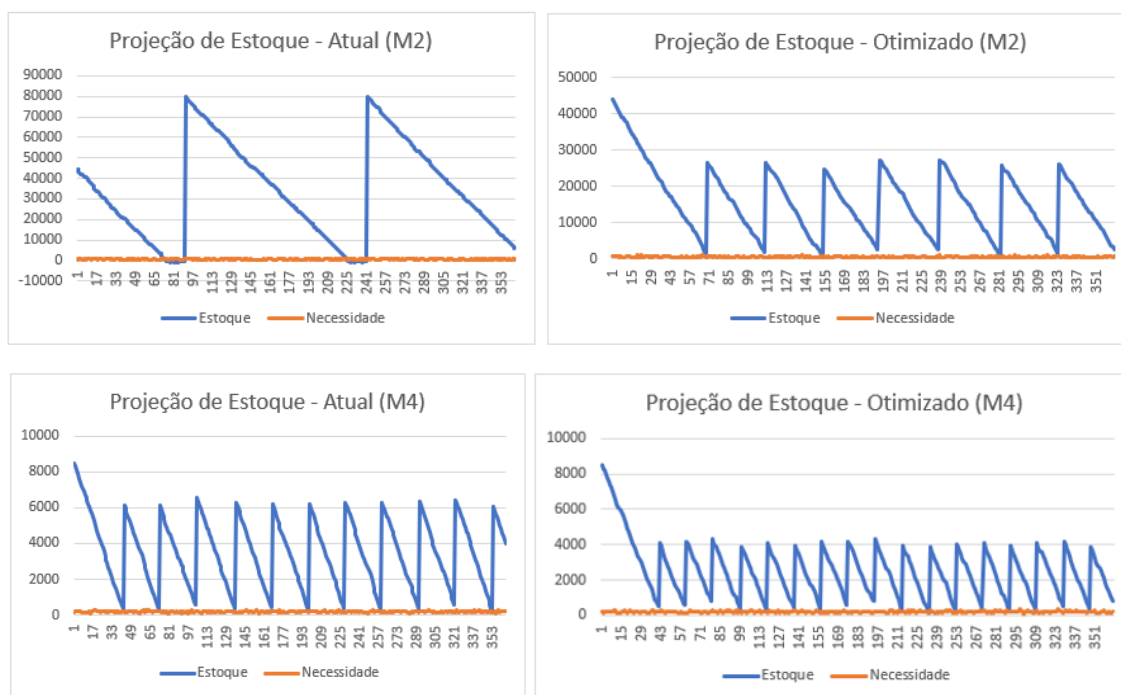


Figura 14: Projeção de Estoque Atual x Otimizado

Fonte: Autoria Própria

Analisando os gráficos apresentados na Figura 14, é possível tirar algumas conclusões sobre o que levou à redução de custos com as novas políticas. A principal delas é a clara diminuição dos níveis de estoque. Para todos os casos, a política do “S” maior reduziu drasticamente, diminuindo os níveis de estoque ao longo do tempo. Além disso, por conta dos valores altos de custos contábil de estoque, o sistema opta por uma política que mantém menos estoque no chão e faz mais pedidos ao longo do tempo.

Isto fica claro na projeção do Material 2. Enquanto no cenário da política atual os níveis de estoque chegaram a um máximo de até 8000 KG e apenas 2 pedidos foram colocados no ano, a política otimizada manteve os níveis de estoques máximos abaixo de 3000 KG, com 7 pedidos totais no período analisado.

Para o material 3, é possível ver que a diferença das projeções e do número de pedidos não é tão distinta, visto que é um material de alto volume. Portanto, ao reduzir levemente os níveis de estoque, já houve uma diminuição considerável no custo anual, em torno de 3 milhões.

Como a planilha resulta em várias combinações de políticas de estoque, também é possível analisar a sensibilidade da política (s, S), a fim de entender quais os impactos nos custos e na operação da alteração de cada política, como por exemplo, se gera indisponibilidade logística devido à falta de insumos.

Ao analisar o material 1, que obteve a política ótima de $(100,300)$, é possível analisar o que acontece com o comportamento das variáveis com a redução do s menor ou aumento do S maior em comparação com a política ótima selecionada. Primeiramente, o s foi reduzido levemente, mantendo o S ótimo, a fim de entender os seus impactos. Por mais que os custos de estoque e de pedido diminuam, é possível ver um aumento significativo de faltas, o que gera um custo adicional devido à falta de insumos e vendas perdidas. A Figura 15 representa como essa alteração implica no número de faltas em dias, por política.

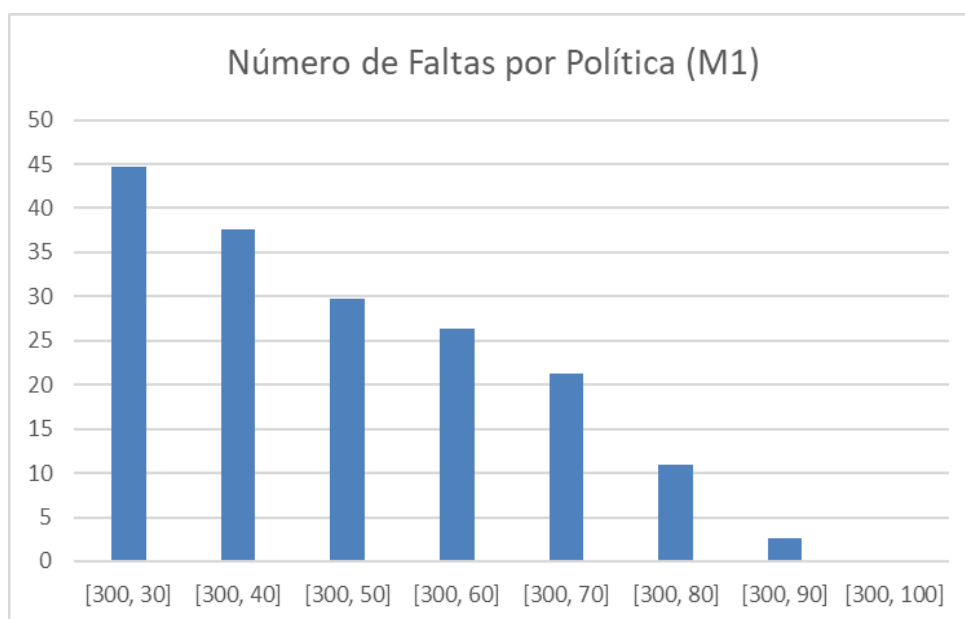


Figura 15: Número de Faltas por Política do Material 1

Fonte: Autoria Própria

Em seguida, o s foi mantido e o S aumentado. Por mais que essas outras políticas não gerem falta de insumos, os custos de estoque aumentam significativamente, pois isto implica em um maior número de unidades armazenadas, aumentando os custos considerados.

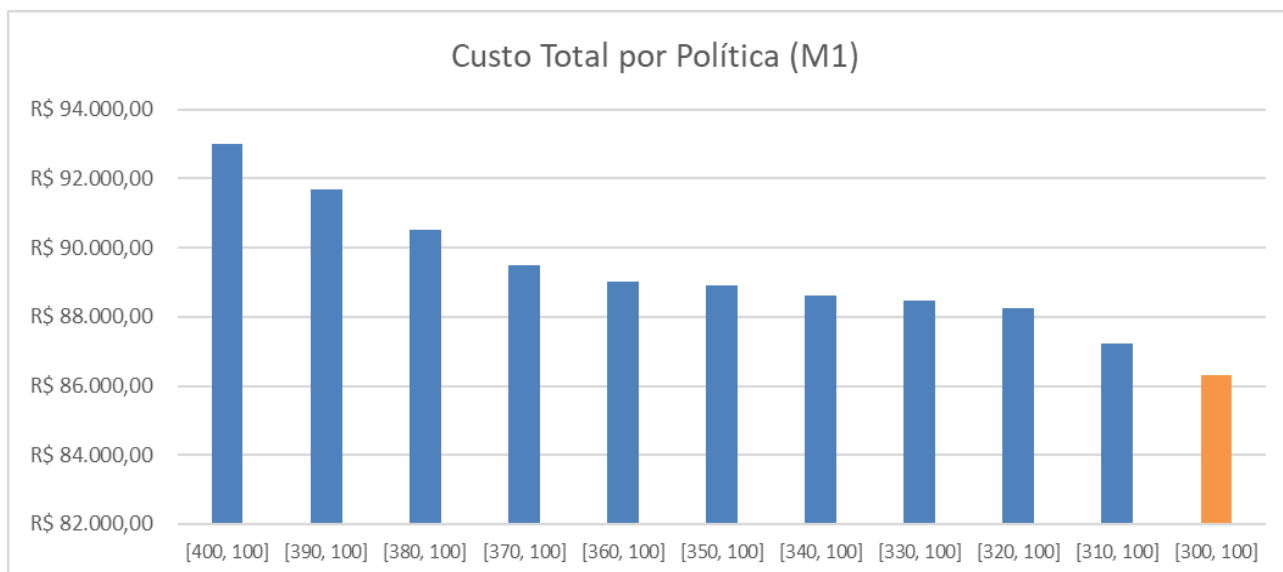


Figura 16: Custo Total por política simulada

Fonte: Autoria Própria

Este mesmo comportamento é identificado nos outros materiais. Dessa forma, as políticas ótimas de estoque são os pontos ótimos que possibilitam uma redução dos níveis de estoque, diminuindo os custos incorridos, ao mesmo tempo que previne a falta de insumos. Por sua vez, como já observado, um número maior de pedidos deve ser realizado a fim de evitar a falta de insumos.

É importante mencionar que não foi considerado a possibilidade de se obter uma diminuição nos custos de transporte devido a menor quantidade de insumos que cada novo pedido conterà. Deste modo, pode ser que as entregas sejam realizadas por um caminhão de 4 eixos e, para o resultado otimizado, um caminhão de 2 eixos já seria capaz de realizar a entrega. Esta extensão deste trabalho pode ser realizada em um trabalho futuro.

5. CONCLUSÃO

A logística é uma das operações mais importantes dentro de uma indústria. Isto porque está presente em diversos processos como transportes, distribuição, gerenciamento de materiais, armazenagem, entre outros. Dessa forma, as empresas devem buscar modelos de gerenciamento que permitam a otimização das operações, para que os custos sejam minimizados e a margem de lucro cresça no final, aumentando a vantagem competitiva frente às outras organizações.

Um dos processos mais relevantes é o gerenciamento e controle de estoques. Este processo possui grande representatividade dentre às operações, pois é responsável pela disponibilidade dos materiais e insumos no local correto e no tempo correto. Isto pode ser um desafio pois os estoques também representam grande parte dos custos logísticos. As organizações devem saber o ponto certo entre manter os produtos para garantir a disponibilidade ao mesmo tempo que não em excesso, para que os custos não aumentem de forma desnecessária.

Como este é um problema compartilhado entre diversas empresas, vários modelos de gerenciamento de estoque foram desenvolvidos ao longo do tempo. Estes modelos são baseados em políticas de estoque, que precisam ser bem definidas para funcionarem de uma forma otimizada.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a criação e aplicação de um modelo de simulação de projeção de estoque baseado em demanda e novos pedidos com a utilização de diferentes políticas de estoque, a fim de compreender qual é a política de estoque ótima, ou seja, aquela que minimiza os custos incorridos durante o período de projeção. Os dados e a aplicação foram realizados dentro de uma indústria multinacional, localizada no Brasil.

Inicialmente, foram escolhidos 4 insumos de parâmetros diferentes que são gerenciados dentro de uma das indústrias. Para a análise probabilística, o software Arena foi utilizado para definição da distribuição da demanda de cada um dos materiais, em que os dados históricos foram inseridos. Esta distribuição foi posteriormente utilizada para geração da demanda diária no modelo da projeção.

Além disso, outros dados pertinentes também foram usados como parâmetros de entrada, como *lead time* do fornecedor, quantidade total de um carro, estoque inicial, tempo de projeção, entre outros.

O modelo desenvolvido simula o comportamento dos níveis de estoque durante o período de 1 ano para cada combinação de política de estoque dentro do intervalo selecionado. Os dados de saída consistiam na política utilizada, os custos totais, custos de pedido, custos de estoque, número de pedidos e número de faltas.

Após a implantação do modelo para cada um dos 4 materiais analisados, foi possível identificar as políticas ótimas, que são aquelas que garantem a disponibilidade dos produtos ao mesmo tempo que minimizam os custos logísticos incorridos. Essas políticas de estoque ótimas foram comparadas com a que é utilizada atualmente, com o objetivo de levantar as economias possivelmente geradas com a mudança das políticas utilizadas.

Dessa forma, foi possível concluir que as políticas de estoque atuais da empresa estão defasadas, principalmente por manter níveis de estoque muito altos, o que aumenta os custos envolvidos na operação. As políticas ótimas dos 4 materiais geraram, em média, 36% de economia nos custos totais, que resultaram em quase 9 milhões de economia financeira.

Por fim, conclui-se que todos os objetivos foram cumpridos, visto que foi possível: (i) compreender os fatores de influência no controle de estoques, (ii) analisar os dados da demanda que foram retirados dos sistemas da empresa em questão, (iii) desenvolver um modelo de simulação com o objetivo de definir a política ótima de estoque para os parâmetros de cada material, (iv) aplicar o modelo com os dados da empresa real, (v) analisar os ganhos financeiros ao comparar as políticas ótimas com as políticas atualmente utilizadas e (vi) analisar o comportamento dos níveis de estoque de cada um dos materiais das políticas atuais e as otimizadas.

É importante ressaltar que a empresa possui mais de 1500 materiais que são utilizados em mais de 30 fábricas distintas, então a aplicação do modelo pode gerar uma economia altamente significativa. Os próximos passos serão a adição de novos parâmetros no modelo e a recomendação de uso do modelo periodicamente pela empresa, a fim de definir as políticas de estoque ideais para cada um dos materiais. Uma outra

possível extensão é incluir no modelo a variação mais realista nos custos de transporte devido à mudanças de quantidades dos pedidos para cada material.

REFERÊNCIAS:

ABRAHAMSSON, M. The role of logistics in corporate strategy - Northern lights in logistics & supply chain management. Copenhagen, Denmark: Copenhagen Business Schools Press, pp. 49–63, 2008.

ALBADRANI, Abdullah; ZOHDY, Mohamed A.; OLAWOYIN, Richard. An Approach to Optimize Future Inbound Logistics Processes Using Machine Learning Algorithms. In: 2020 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT). IEEE, 2020. p. 402-406.

ANDRADE, E. L. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

AOKI, Roberto. Pesquisa Operacional: Simulação. Editora Londrina, 2018.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial. Bookman editora, 2009.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. Saraiva Educação SA, 2017.

BONINI, Anderson Carlos et al. Um Estudo Teórico Sobre a História da Pesquisa Operacional. Anais do EVINCI-UniBrasil, v. 1, n. 4, p. 1666-1670, 2015.

BRUNAUD, Braulio et al. Inventory policies and safety stock optimization for supply chain planning. AIChE Journal, v. 65, n. 1, p. 99-112, 2019.

BUZACOTT, J. A. Economic order quantities with inflation. Journal of the Operational Research Society, v. 26, n. 3, p. 553-558, 1975.

CORRÊA, H., L. CORRÊA, C.,A. Administração da Produção e Operações: manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. São Paulo. Atlas, 2015

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. Modelagem e simulação de eventos discretos. Afonso C. Medina, 2006.

DE CARVALHO, José Mexia Crespo; CARDOSO, Eduardo Gomes. Logística. Sílabo, 2002.

DE CARVALHO, Leonardo Sanches. Modelagem e Simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. 2003.

DEHNING, Bruce; RICHARDSON, Vernon J.; ZMUD, Robert W. The financial performance effects of IT-based supply chain management systems in manufacturing firms. Journal of Operations Management, v. 25, n. 4, p. 806-824, 2007.

FARAHANI, Reza. Logistics operations and management: concepts and models. Elsevier, 2011.

FREITAS, Paulo J. de. Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas. Florianópolis, SC, Brasil: Visual Books, p. 2-14, 2001.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. Administração da produção e operações. 8ª Edição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

GHIANI, Gianpaolo; LAPORTE, Gilbert; MUSMANNO, Roberto. Introduction to logistics systems planning and control. John Wiley & Sons, 2004.

GOMES, Carlos Francisco Simões; RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral. Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação. Editora Senac Rio, 2020.

GUPTA, R. K. Operations research. Krishna Prakashan Media, 1992.

HENDERSON, Shane G.; NELSON, Barry L. (Ed.). Handbooks in operations research and management science: simulation. Elsevier, 2006.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill Brasil, 2013.

<https://abcsupplychain.com/eq-wilson-formula-calculation/>. Acesso em: 05/04/2022

https://www.scdigest.com/experts/DrWatson_13-10-25.php?cid=7519. Acesso em: 04 de abril de 2022.

KILLE, CH., SCHWEMMER, M. Die TOP 100 der Logistik Erscheinungsjahr, pp.560, 2014.

KNOLL, Dino; PRÜGLMEIER, Marco; REINHART, Gunther. Predicting future inbound logistics processes using machine learning. Procedia CIRP, v. 52, p. 145-150, 2016.

LOESCH, Cláudio; HEIN, Nelson. Pesquisa operacional. Saraiva Educação SA, 2017.

MELO, Madson Evandro; ARAÚJO, César Augusto. A logística e sua importância no contexto diário das organizações modernas. In: VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012.

MINNER, Stefan. Inbound logistics. In: Operations, Logistics and Supply Chain Management. Springer, Cham, 2019. p. 233-249.

MOURA, Benjamim. Logística: conceitos e tendências. Centro Atlântico, 2006.

NOVAES, Antônio. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. Elsevier Brasil, 2016.

OLIVEIRA, Mona Liza Moura. Análise da aplicabilidade da técnica de Modelagem IDEF-SIM nas etapas de um projeto de simulação de eventos discretos. 2010.

PEREIRA, Cláudia Daiane; CUNHA, GF da; SILVA, MG da. A simulação na pesquisa operacional: uma revisão literária. IX EEPA-Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Campo Mourão, 2015.

PRAHALAD, C.K., KRISHNAN, M. The meaning of quality in the information age. Harvard Business, Review 5 (July/ August), pp. 109–118, 1999.

PROTIL, Roberto Max; MOREIRA, Vilmar Rodrigues. Simulação computacional na otimização de políticas de estoque em cooperativas agrícolas, 2002.

ROACH, Bill. Origin of the economic order quantity formula; transcription or transformation?. Management decision, 2005.

SCHMIDT, Matthias; HARTMANN, Wiebke; NYHUIS, Peter. Simulation based comparison of safety-stock calculation methods. CIRP annals, v. 61, n. 1, p. 403-406, 2012.

SILVEIRA, Carlos Augusto; LAVRATTI, Fábio Beylouni; BENITO, Rafael Carlos Vélez. Pesquisa operacional no ensino da logística. 2004.

SLACK, Nigel et al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 2009.

SUKALOVA, V.; CENIGA, P. Future of Logistics Management in the Process of Globalization, Procedia Economics and Finance, Volume 26, pp. 160-166, 2015.

TABOADA, C. Gestão de tecnologia e inovação na logística. IESDE BRASIL SA, pp. 16-20, 2009.

TAKITA, Antonio Mitsumasa Vieira; LEITE, Jandecy Cabral. Inbound logistics: a case study. Business Management Dynamics, v. 6, n. 12, p. 14, 2017.

VERLANGIERI, M. V. Logística no organograma das empresas. 2002.

WATERS, Donald. Inventory control and management. John Wiley & Sons, 2008.

ZIUKOV, Serhii. A literature review on models of inventory management under uncertainty. 2016.

ANEXO A - CÓDIGO PYTHON DA SIMULAÇÃO

```

#Definindo custo de transporte

def c(ftl,qtde):
    a = 3100
    if qtde <= ftl:
        return a
    elif qtde > ftl:
        numero_carros = qtde//ftl

        if qtde % ftl != 0:
            numero_carros += 1

        return numero_carros * a

#Definindo função de cálculo de custo de estoque

def h(qtde,unit_price):
    custo_estoque = qtde * unit_price * 0.5247
    return custo_estoque

#Definindo função de simulação

def simulation_formula():

    #definindo os parâmetros (tempo de simulação, lead time,
    estoque incial, políticas atuais)

    T = 365 #days
    L = 4 #days of lead time
    unit_price = 1.03
    ftl = 35000
    #definindo variáveis da simulação
    holding_costs = 0
    order_costs = 0
    custo_total = 0
    contador_falta = 0
    t1 = 0
    order = 0
    contador_pedidos = 0

    #definindo tabela do dataframe do output

    Resultados3 = pd.DataFrame(columns = ['Política','Custo
    Total','Custo Estoque','Custo Pedido','N Pedidos','N Faltas'])

    #início do loop para combinação das diferentes políticas no
    tempo T

    for s1 in range (300000,400000,500):

```

```

for s2 in range (100000,290000,500):

    hct = []
    oct = []
    tc = []
    tp = []
    tf = []

    for i in range (1000):

        custo_total = 0
        order_costs = 0
        stock = 250000 #estoque inicial
        contador_falta = 0
        contador_pedidos = 0
        order = 0
        holding_costs = 0

        for i in range(1,T):

            holding_costs += h(stock,unit_price)

            if stock < 0:
                contador_falta +=1
                stock = 0

            #gerando demanda de produção
            demand = np.random.normal(45118,8034)

            #projetando estoque
            stock -= demand

            if i == t1:
                t1 = 0
                stock += order
                order = 0

            if stock < s2 and order == 0:
                t1 = i + L
                order = s1 - stock
                order_costs += c(ftl,order)
                contador_pedidos +=1

        custo_total = holding_costs + order_costs
        hct.append(holding_costs)
        oct.append(order_costs)
        tc.append(custo_total)
        tp.append(contador_pedidos)
        tf.append(contador_falta)

#Inserindo dados resultantes no DataFrame

```

```
Resultados3 = Resultados3.append({'Política':
[s1,s2],
                                'Custo Total': sum(tc)/len(tc),
                                'Custo Estoque': sum(hct)/len(hct),
                                'Custo Pedido': sum(oct)/len(oct),
                                'N Pedidos': sum(tp)/len(tp),
                                'N Faltas':sum(tf)/len(tf)},
                                ignore_index=True)

#exportar excel com dados da simulação
output3 = Resultados3.to_excel('Resultados3.xlsx')
return output3
return Resultados3

#chamada do programa

simulation_formula()
```


ANEXO B - CÓDIGO PYTHON PARA GERAÇÃO DOS DADOS DE GRÁFICOS

```
stock_projection = pd.DataFrame(columns = ['Dia','Estoque',
'Necessidade'])

stock = 250000
s1 = 366500
s2 = 228500
order = 0
t1 = 0
T = 365
L = 4

for i in range(1,T):

    demand = np.random.normal(45118,8034)
    stock_projection = stock_projection.append({'Dia': i,
        'Estoque': stock,
        'Necessidade': demand},
        ignore_index=True)

    stock -= demand

    if i == t1:
        t1 = 0
        stock += order
        order = 0

    if stock < s2 and order == 0:
        t1 = i + L
        order = s1 - stock

    if stock < 0:
        stock = 0

stock_projection

output = stock_projection.to_excel('StockProjection.xlsx')
```