

AUGUSTO REIS SILVA FONTANA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO FINANCEIRO DA
POLÍTICA DE REPOSIÇÃO PERIÓDICA SOB
DIFERENTES PARÂMETROS DE
ABASTECIMENTO: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA BRASILEIRA DE MODA**

São Paulo
2025

AUGUSTO REIS SILVA FONTANA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO FINANCEIRO DA
POLÍTICA DE REPOSIÇÃO PERIÓDICA SOB
DIFERENTES PARÂMETROS DE
ABASTECIMENTO: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA BRASILEIRA DE MODA**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obten-
ção do Título de Engenheiro de Produção.

São Paulo
2025

AUGUSTO REIS SILVA FONTANA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO FINANCEIRO DA
POLÍTICA DE REPOSIÇÃO PERIÓDICA SOB
DIFERENTES PARÂMETROS DE
ABASTECIMENTO: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA BRASILEIRA DE MODA**

Versão Final

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obten-
ção do Título de Engenheiro de Produção.

Área de Concentração:

Engenharia de Produção

Orientador:

Luis Fernando Pinto de Abreu

São Paulo
2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

--

Orientador

Avaliador 1

Avaliador 2

Dedico este trabalho à minha mãe e à minha tia, por todo o apoio em cada etapa da minha vida. Sem vocês esta conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado até este momento e por Sua constante presença em minha vida.

À minha mãe, Flávia Rabelo, à minha tia Jacqueline e ao meu falecido avô Antônio José, que sempre me incentivaram em todas as decisões da minha vida. Sem eles, esta jornada não teria sido possível.

Ao professor Luis Fernando Pinto de Abreu, pela orientação e acompanhamento durante esta fase final da minha trajetória na Escola Politécnica. Agradeço pelo comprometimento e pelos ensinamentos que tornaram este trabalho possível.

Aos demais professores da Poli que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

À Universidade de São Paulo e à Escola Politécnica, pela formação que me abre inúmeras portas.

*“Tem professor, tem comida, tem tudo!
O resto é preguiça e covardia.”*

– Clóvis de Barros Filho, em *“Você
tem brio?”*

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho financeiro da política de reposição periódica sob diferentes parâmetros de abastecimento, aplicando um modelo de simulação a uma empresa brasileira do setor de varejo de moda. Foi desenvolvido um simulador parametrizável em Microsoft Excel, capaz de testar distintas combinações de período de revisão e nível de serviço, permitindo analisar o impacto dessas variáveis sobre o nível de estoque e as perdas por ruptura. A metodologia baseou-se em dados reais da empresa, previamente anonimizados e tratados, abrangendo produtos contínuos classificados como itens de maior relevância segundo a curva ABC. A demanda foi modelada estatisticamente de acordo com distribuições de Poisson e normal, validadas por meio do teste qui-quadrado, assegurando a consistência probabilística das simulações. A partir dos cenários simulados, foram construídas curvas de *trade-off* entre nível de estoque e perda de vendas, possibilitando a identificação de configurações ótimas de nível de serviço por combinação produto-loja. Os resultados indicaram que a adoção das políticas otimizadas poderia reduzir em aproximadamente 19% o nível de estoques, sem comprometer o nível de atendimento ao cliente. Conclui-se que o modelo proposto constitui uma ferramenta eficaz de apoio à decisão, permitindo aprimorar a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira de empresas varejistas em contextos de alta volatilidade e custo de capital elevado.

Palavras-chave: Simulação; Gestão de estoques; Reposição periódica; Nível de serviço; *Trade-off*.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the financial performance of the periodic replenishment policy under different supply parameters by applying a simulation model to a Brazilian fashion retail company. A parameterized simulator was developed in Microsoft Excel to test various combinations of review periods and service levels, allowing the analysis of their effects on inventory and sales losses due to stockouts. The methodology was based on real company data, previously anonymized and processed, focusing on continuous products classified as high-relevance items according to the ABC curve. Demand behavior was modeled statistically using Poisson and normal distributions, validated through the chi-square goodness-of-fit test, ensuring the probabilistic consistency of the simulations. From the simulated scenarios, trade-off curves were constructed between inventory holding cost and sales loss, enabling the identification of optimal service-level configurations for each product-store combination. The results indicated that adopting the optimized replenishment policies could reduce the company's total inventory by approximately 19% without compromising customer service levels. It was concluded that the proposed model constitutes an effective decision-support tool, capable of improving operational efficiency and financial sustainability in retail companies operating in contexts of high volatility and elevated capital costs.

Keywords: Simulation; Inventory management; Periodic replenishment; Service level; Trade-off.

LISTA DE FIGURAS

1	Árvore de decisão para a estratégia de uma empresa	16
2	Evolução das taxas de juros em diferentes países (2005–2024) . . .	17
3	Diferentes padrões de demanda	18
4	Curva ABC: relação entre o total de itens e o total de vendas . .	22
5	Pontos de estoque ao longo de uma cadeia de suprimentos	25
6	Modelo de reposição contínua	27
7	Modelo de revisão periódica	29
8	Distribuição normal para diferentes valores de μ	31
9	Representação ilustrativa do teorema central do limite	33
10	Relação entre as tabelas utilizadas	37
11	Classificação mercadológica anonimizada	38
12	Curva ABC com destaque dos produtos contínuos selecionados . .	39
13	Venda diária da calça jeans cor C tamanho 40 em uma das lojas da rede	42
14	Venda semanal da calça jeans cor C tamanho 40 na rede	44
15	Interface de seleção de item e loja no simulador desenvolvido em Excel	46
16	Parâmetros operacionais	49
17	Estrutura de cálculo do simulador de reposição periódica	49
18	Ciclo de vida de um produto	50
19	Tabela de cálculo da curva de <i>trade-off</i>	54
20	Curvas de <i>trade-off</i> para diferentes níveis de serviço	61
21	Comparativo entre o cenário real e os cenários simulados	63
22	Estoque simulado ao longo do período analisado	63

23	Curva de <i>trade-off</i> para nível de serviço de 85%	64
24	Curvas de <i>trade-off</i> para diferentes comportamentos SKU-loja .	65
25	Curva de <i>trade-off</i> com diferentes lead-times e períodos de reposição	69

LISTA DE TABELAS

1	Exemplo de classificação ABC de produtos da indústria química .	23
2	Produtos selecionados	38
3	Exemplo ilustrativo do acúmulo fracionário de vendas perdidas .	40
4	Estatísticas descritivas	45
5	Frequência observada e frequência esperada para a demanda se- manal	45
6	Valores de nível de serviço disponíveis para teste no simulador . .	48
7	Exemplo de configuração dos parâmetros utilizados na simulação	62

LISTA DE SIGLAS

RP – *Review Period* (Período de Revisão)

LT – *Lead Time* (Tempo de Reposição)

CD – *Centro de Distribuição*

NS – *Nível de Serviço*

MP – *Matéria-Prima*

SA – *Semi-acabado*

PA – *Produto Acabado*

SKU – *Stock Keeping Unit* (Unidade de Manutenção de Estoque)

SUMÁRIO

1	Introdução	16
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Justificativa	19
2	Fundamentação Teórica	20
2.1	Curva ABC e sua aplicação na gestão de estoques	20
2.2	Uso de simulações para definir políticas de estoque	23
2.2.1	Vantagens	23
2.2.2	Limitações	24
2.3	Estoque	25
2.4	Políticas de reposição contínua e periódica	26
2.4.1	Modelo de ponto de pedido	27
2.4.2	Modelo de revisão periódica	28
2.4.3	Comparação entre os modelos	29
2.5	Distribuições estatísticas	30
2.5.1	Distribuição de Poisson	30
2.5.2	Distribuição normal	31
2.6	Teorema central do limite	32
2.7	Teste de hipótese qui-quadrado	33
3	Metodologia	35
3.1	Coleta e Tratamento de Dados	36
3.1.1	Modelo de Dados	36

3.1.2	Processo de anonimização das informações	37
3.1.3	Priorização dos produtos contínuos	39
3.2	Simplificações adotadas	39
3.2.1	Perda de venda	39
3.2.2	Modelo de previsão utilizado	41
3.3	Análise da distribuição que rege o comportamento da demanda a depender do nível de granularidade	41
3.4	Definindo a política de reposição utilizada	45
3.5	Ferramenta utilizada na construção da simulação	46
3.6	Implementação da simulação	47
3.6.1	Parâmetros utilizados na simulação	47
3.6.1.1	Produto	47
3.6.1.2	Loja	47
3.6.1.3	Lead time	47
3.6.1.4	Período de revisão	48
3.6.1.5	Nível de serviço	48
3.6.2	Variáveis calculadas	49
3.6.2.1	Venda média diária	50
3.6.2.2	Efeitos	50
3.6.2.3	Variáveis de controle	50
3.6.2.4	Indicação de ciclo de vida ativo do produto	51
3.6.2.5	Condição de abertura da loja	51
3.6.2.6	Validação do dia de cálculo	51
3.6.2.7	Vendas e estoque	51
3.6.2.8	Demanda Verdadeira	51
3.6.2.9	Demanda sobre o período de cobertura total	52
3.6.2.10	Erro entre o cenário realizado e o projetado	52

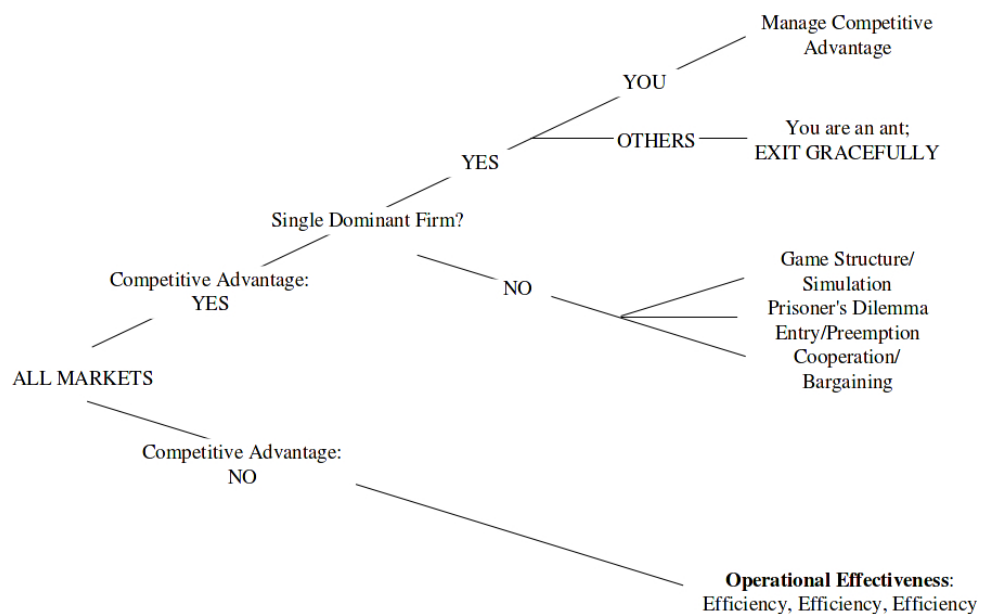
3.6.2.11	Estoque de segurança	52
3.6.2.12	Calendário de compra	53
3.7	Construção da curva de trade-off entre o nível de estoque do estoque e a perda de venda	53
3.7.1	Estoque no início do dia	54
3.7.2	Estoque em trânsito	55
3.7.3	Chegada dos pedido feitos anteriormente	55
3.7.4	Posição de estoque diária	56
3.7.5	Alvo de estoque	56
3.7.6	Pedido planejado diariamente	57
3.7.7	Vendas simuladas	57
3.7.8	Estoque no final do dia	58
3.7.9	Ruptura diária	59
3.7.10	Curva de <i>trade-off</i> entre estoque e ruptura	59
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	62
4.1	Resultado para uma combinação de parâmetros	62
4.2	Otimização do nível de serviço por combinação sku-loja	65
4.3	Resultados consolidados e impacto financeiro	66
5	Conclusão	68
	Referências	70

1 INTRODUÇÃO

Segundo Ballou (2006), a gestão eficiente de estoques é um dos pilares do sucesso operacional em cadeias de suprimento modernas. Manter níveis adequados de estoque para atender à demanda, minimizando ao mesmo tempo os custos de armazenagem e de capital imobilizado, representa um desafio relevante, especialmente em setores como o varejo de moda, caracterizados por elevada diversidade de produtos, volatilidade da demanda e ciclos de vida curtos.

De acordo com Greenwald e Kahn (2005), empresas que atuam em mercados altamente competitivos, nos quais as vantagens estruturais são limitadas, devem concentrar seus esforços na busca pela excelência operacional como principal fonte de vantagem competitiva. Essa lógica é ilustrada na Figura 1, que apresenta a árvore de decisão proposta pelos autores para orientar a formulação de estratégias empresariais.

Figura 1: Árvore de decisão para a estratégia de uma empresa



Fonte: Greenwald e Kahn (2005)

A gestão de estoques, portanto, exerce influência direta sobre a lucratividade das

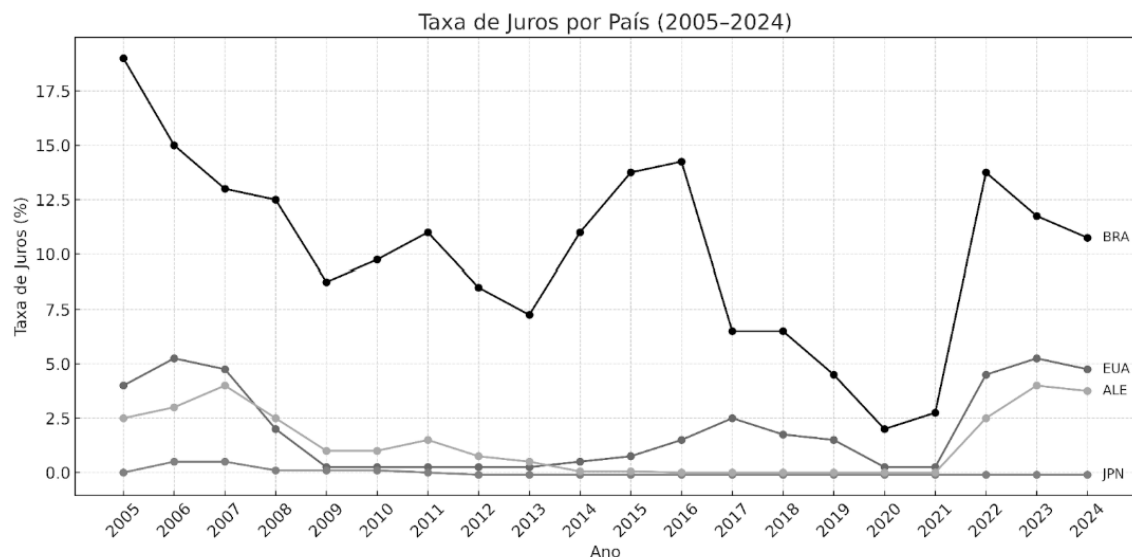
companhias e constitui elemento essencial para a competitividade e a sustentabilidade de longo prazo das organizações.

A empresa estudada é um grande varejista de moda com atuação em âmbito nacional, mantendo uma rede de lojas na casa das centenas, distribuídas por todas as regiões do país. Seu portfólio de produtos contínuos encontra-se na ordem de grandeza de milhares de *SKUs*, o que evidencia a amplitude e a complexidade operacional de sua cadeia de suprimentos. Em ano recente, a companhia registrou faturamento na ordem de bilhões de reais, reforçando sua relevância no setor e a magnitude dos desafios associados à gestão eficiente de estoques em operações de grande escala.

1.1 Motivação

O contexto econômico brasileiro apresenta desafios adicionais à gestão de estoques. As taxas de juros historicamente elevadas, conforme ilustrado na Figura 2, tornam o custo de oportunidade do capital substancialmente superior ao observado em economias desenvolvidas, como Estados Unidos, Japão e Alemanha.

Figura 2: Evolução das taxas de juros em diferentes países (2005–2024)



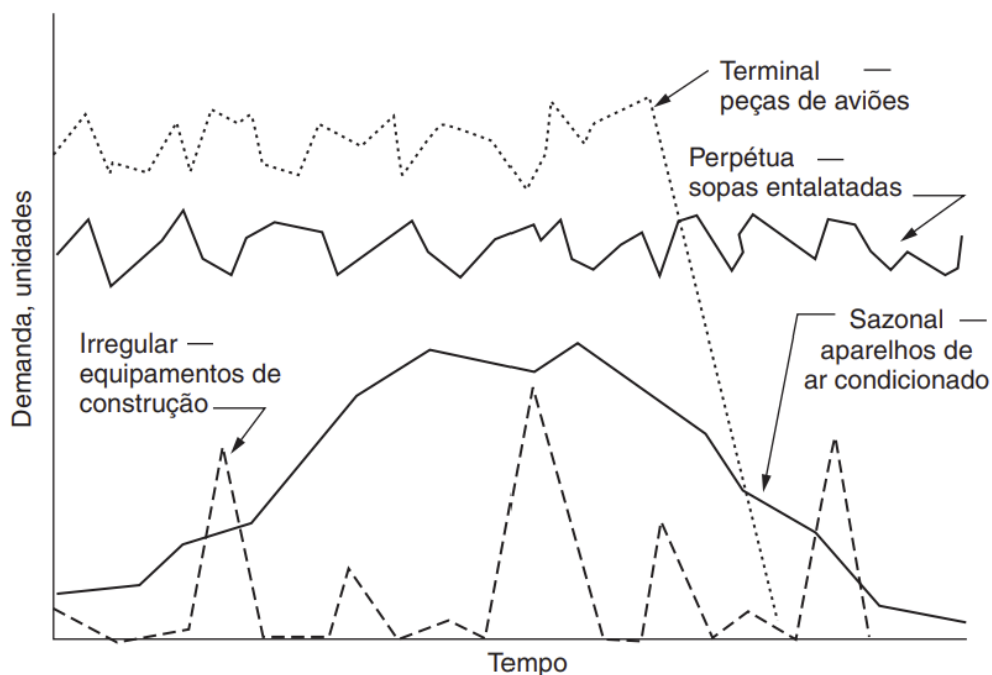
Fonte: Banco Central do Brasil (2025); Reserva Federal dos Estados Unidos (2025); Banco Central Europeu (2025); Banco do Japão (2025).

Nesse cenário, otimizar o capital imobilizado em estoques torna-se uma necessidade estratégica. A redução de níveis de estoque, sem comprometer o nível de serviço, contribui diretamente para a rentabilidade e a eficiência operacional. Assim, compreender o

equilíbrio entre o nível de atendimento da demanda e o nível de estoques é fundamental para sustentar o desempenho competitivo das empresas (BALLOU, 2006).

A previsão de demanda desempenha papel central nesse processo, pois serve de base para o dimensionamento de estoques e a definição de políticas de reposição. Em situações em que a demanda apresenta estabilidade e aderência à distribuição normal, modelos teóricos são adequados para estimar os estoques de segurança. No entanto, segundo Law (2014) a prática empresarial frequentemente envolve incertezas associadas ao *lead time* e padrões de demanda irregulares, como mostrado na Figura 3, o que limita a aplicação direta desses modelos e evidencia a importância da utilização de técnicas de simulação computacional.

Figura 3: Diferentes padrões de demanda



Fonte: Ballou (2006)

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a aplicação de um simulador parametrizável capaz de testar diferentes combinações de parâmetros de abastecimento para pontos de venda de um varejista de brasileiro de moda.

Entre os parâmetros ajustáveis, destacam-se o nível de serviço desejado e a política de reposição adotada. O simulador possibilitará a avaliação dos impactos financeiros das políticas testadas, incluindo a medição de perda de venda e do nível de estoque, além de permitir a comparação entre os resultados simulados e os dados históricos reais da empresa.

A análise será conduzida sobre um conjunto representativo de produtos contínuos, selecionados em função da estabilidade de demanda e da relevância estratégica para a companhia, conforme exigência da própria organização. A comparação entre os desempenho simulado e observado permitirá identificar lacunas de eficiência e propor melhorias práticas ao sistema de abastecimento existente.

1.3 Justificativa

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo fundamenta-se na relevância econômica e operacional da gestão de estoques no contexto brasileiro. Em um ambiente de elevado custo de capital, decisões inadequadas de reposição podem impactar diretamente o fluxo de caixa e a rentabilidade das empresas. Portanto, torna-se necessário dispor de ferramentas que possibilitem a avaliação de diferentes cenários e a tomada de decisão baseada em dados.

Além da contribuição prática, ao apoiar o aprimoramento da gestão de estoques da empresa estudada, o trabalho também apresenta contribuição acadêmica, ao integrar simulação e análise empírica de dados em um modelo unificado de avaliação de políticas de estoque.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho tem por objetivo apresentar os conceitos, modelos e ferramentas que sustentam a análise das políticas de reposição de estoques e o desenvolvimento do simulador proposto. Com base em contribuições da literatura de gestão de estoques, busca-se compreender as inter-relações entre as variáveis que determinam o desempenho operacional e financeiro de um sistema de distribuição no contexto do varejo de moda.

Inicialmente, são discutidos os princípios da curva ABC e sua aplicação na gestão de estoques, ressaltando seu papel como instrumento de priorização e segmentação de produtos. Em seguida, aborda-se o uso de simulações computacionais como ferramenta de apoio à decisão, evidenciando seu potencial para representar o comportamento dinâmico de sistemas complexos e avaliar o impacto de diferentes políticas de reposição.

Posteriormente, são apresentados os conceitos fundamentais sobre estoques e seus modelos de reposição, incluindo a reposição periódica e a reposição contínua, bem como os fundamentos do estoque de segurança.

Além disso, inclui-se uma revisão dos principais conceitos estatísticos que sustentam a modelagem da demanda nos pontos de venda, abordando a aplicação das distribuições de Poisson e normal, o teste de hipótese qui-quadrado e o teorema central do limite. Esses elementos são fundamentais para compreender o comportamento probabilístico das vendas, validar a aderência das distribuições utilizadas e garantir a consistência estatística do simulador desenvolvido.

2.1 Curva ABC e sua aplicação na gestão de estoques

A *curva 80-20* foi observada pela primeira vez por Vilfredo Pareto em 1897, durante um estudo sobre a distribuição da renda e da riqueza na Itália. O autor concluiu que uma grande porcentagem da renda total estava concentrada nas mãos de uma pequena

parcela da população, em uma proporção aproximada de 80% para 20%, respectivamente (BALLOU, 2006).

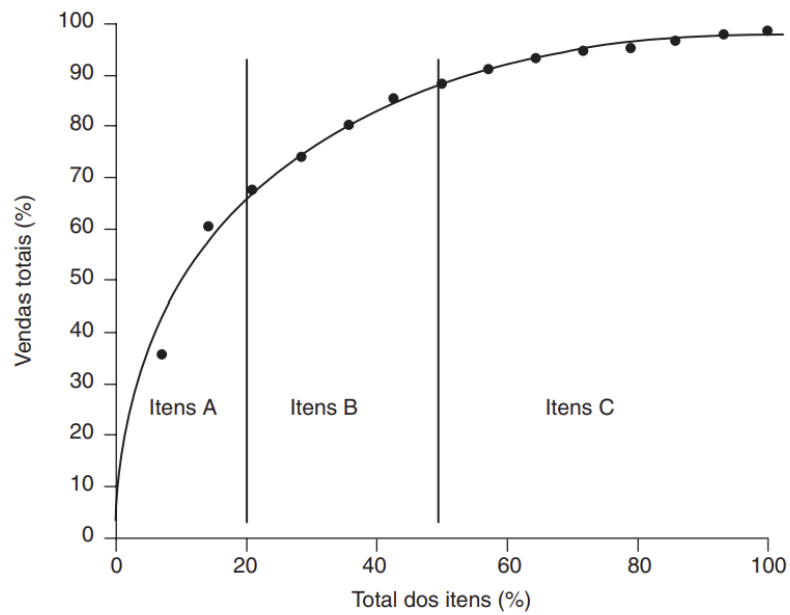
Posteriormente, na década de 1950, esse princípio foi adaptado às necessidades da administração de estoque por engenheiros da General Electric (GE), dando origem ao que atualmente se conhece como Curva ABC. Desde então, essa ferramenta tem sido amplamente utilizada em diversos setores, especialmente na gestão de estoques, devido à sua praticidade, eficiência e apoio à tomada de decisões estratégicas (CURVA..., 2017).

O conceito *80-20* é especialmente útil no planejamento da distribuição quando os produtos são agrupados ou classificados de acordo com suas atividades de venda. Os 20% mais bem classificados podem ser denominados *itens A*, os 30% seguintes, *itens B*, e os restantes, *itens C*. Cada categoria de itens deve possuir uma estratégia de distribuição diferenciada.

Por exemplo, os *itens A* devem receber ampla cobertura geográfica, sendo distribuídos por meio de diversos armazéns com altos níveis de estoque disponíveis. Já os *itens C* podem ser concentrados em um único ponto central de estocagem como uma fábrica ou centro de distribuição, operando com níveis de estoque totais menores. Os *itens B*, por sua vez, tendem a adotar uma estratégia intermediária de distribuição, utilizando um número reduzido de armazéns regionais.

A Figura 4 ilustra o comportamento típico da curva ABC, representando a relação entre o percentual acumulado de vendas e o percentual acumulado de itens. Observa-se que uma pequena fração dos produtos (itens A) é responsável pela maior parte das vendas totais, enquanto os itens B e C possuem menor representatividade.

Figura 4: Curva ABC: relação entre o total de itens e o total de vendas



Fonte: Ballou (2006)

De forma complementar, a Tabela 1 apresenta um exemplo prático de classificação dos produtos segundo o critério ABC. Nela, observa-se a ordenação dos itens conforme o volume de vendas mensais e as respectivas porcentagens cumulativas de vendas e de total de itens. A partir desses dados, é possível identificar as fronteiras entre os grupos A, B e C e aplicar estratégias distintas de abastecimento e controle de estoque para cada categoria.

Tabela 1: Exemplo de classificação ABC de produtos da indústria química

Número do produto	Classificação por vendas ^a	Vendas mensais (000s)	Percentagem cumulativa das vendas totais ^b	Percentagem cumulativa do total de itens ^c	Classificação ABC
D-204	1	\$5.056	36,2%	7,1%	A
D-212	2	3.424	60,7	14,3	
D-185-0	3	1.052	68,3	21,4	B
D-191	4	893	74,6	28,6	
D-192	5	843	80,7	35,7	
D-193	6	727	85,7	42,9	
D-179-0	7	451	89,1	50,0	
D-195	8	412	91,9	57,1	C
D-196	9	214	93,6	64,3	
D-186-0	10	205	95,1	71,4	
D-198-0	11	188	96,4	78,6	
D-199	12	172	97,6	85,7	
D-200	13	170	98,7	92,9	
D-205	14	159	100,0	100,0	
		\$13.966			

Fonte: Ballou (2006).

Em relação à aplicabilidade desta ferramenta na presente pesquisa, optou-se por focar nos produtos de demanda contínua, dado que estes, segundo a curva ABC, se posicionam majoritariamente na classe A, representando elevado valor agregado e impacto estratégico.

Assim, a utilização da curva ABC justifica e orienta a priorização dos produtos contínuos neste estudo, com o objetivo de implementar políticas de reposição mais eficientes, que assegurem a disponibilidade dos itens críticos e contribuam para o desempenho competitivo da organização.

2.2 Uso de simulações para definir políticas de estoque

A utilização de simulações computacionais constitui a principal abordagem metodológica adotada neste trabalho para a determinação de uma política de estoques mais rentável aplicada aos produtos de demanda contínua.

2.2.1 Vantagens

A simulação apresenta-se como uma das ferramentas mais poderosas para a análise e aprimoramento de sistemas complexos. Segundo Bateman et al. (2013), sua principal vantagem consiste em possibilitar o estudo do comportamento de um sistema sem a necessidade de interromper ou modificar suas operações reais, o que reduz significativamente os riscos e os custos associados à experimentação.

Entre as vantagens associadas ao uso da simulação, destaca-se, em primeiro lugar, sua flexibilidade na modelagem, que permite representar sistemas dinâmicos e estocásticos de naturezas diversas, abrangendo desde processos produtivos até fluxos logísticos e cadeias de suprimentos complexas, com diferentes níveis de detalhe e complexidade. Além disso, a simulação possibilita a avaliação de múltiplos cenários, permitindo testar alternativas de políticas operacionais como variações em parâmetros de produção, transporte e gestão de estoques sem comprometer a estabilidade do sistema real.

Outra vantagem importante refere-se à identificação de gargalos, uma vez que a simulação auxilia na localização de restrições e pontos críticos do processo, favorecendo o planejamento de intervenções mais eficazes. Também atua como ferramenta de suporte à tomada de decisão, fornecendo aos gestores informações quantitativas sobre os efeitos das mudanças propostas e incentivando decisões baseadas em evidências concretas. Por fim, destaca-se a análise visual e didática, visto que, por meio de gráficos e animações, a simulação facilita a comunicação dos resultados e o entendimento do comportamento dinâmico dos sistemas modelados.

Bateman et al. (2013) também ressaltam que a simulação é particularmente útil em sistemas cujas interações são complexas demais para serem descritas por modelos analíticos tradicionais, como equações determinísticas. Nessas situações, o modelo de simulação permite representar a incerteza associada a variáveis aleatórias: como demanda, tempos de processamento e atrasos, com base em distribuições probabilísticas adequadas.

2.2.2 Limitações

Entretanto, apesar de suas inúmeras vantagens, a simulação também apresenta limitações que devem ser cuidadosamente consideradas durante sua aplicação. Uma das principais refere-se à complexidade de implementação, uma vez que a construção de modelos realistas exige tempo, experiência e compreensão aprofundada do sistema analisado. Além disso, o custo computacional pode se tornar significativo, especialmente quando se trata de simulações em larga escala ou com elevado nível de detalhamento, que demandam maior poder de processamento e tempo de execução prolongado.

Outro fator crítico é a dependência da qualidade dos dados. Resultados confiáveis só podem ser obtidos a partir de dados de entrada precisos e representativos, o que impõe a necessidade de processos rigorosos de coleta, tratamento e validação. Por fim, destaca-se a interpretação dos resultados, visto que os modelos de simulação não fornecem respostas automáticas. Sua análise requer discernimento técnico e capacidade crítica por parte do

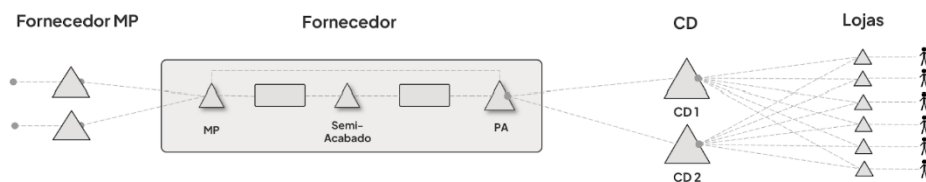
pesquisador, de modo a transformar as saídas do modelo em informações úteis para a tomada de decisão.

Assim, conforme enfatiza Bateman et al. (2013), a simulação deve ser entendida como uma ferramenta de apoio à decisão, e não como um substituto para o julgamento técnico. Seu verdadeiro valor reside na possibilidade de comparar alternativas operacionais sob condições controladas e representativas, oferecendo uma base quantitativa sólida para o aprimoramento contínuo dos sistemas de produção e distribuição.

2.3 Estoque

De acordo com Ballou (2006), estoques são itens de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que surgem ao longo das cadeias de suprimentos das empresas sendo armazenados fisicamente em algum local como um armazém ou depósito, como mostra a Figura 5 a seguir

Figura 5: Pontos de estoque ao longo de uma cadeia de suprimentos



Fonte: Autor.

Ainda segundo Ballou (2006), os estoques podem ser classificados em cinco categorias distintas, de acordo com o tipo e a função que desempenham dentro da cadeia de suprimentos. Os estoques de canal correspondem aos materiais em trânsito, isto é, aqueles que se encontram a caminho entre o fornecedor e a unidade de produção ou distribuição. Os estoques de especulação são mantidos com o objetivo de aproveitar oportunidades de mercado, como oscilações favoráveis de preço ou disponibilidade, permitindo à empresa obter ganhos financeiros em momentos futuros.

Os estoques regulares, por sua vez, destinam-se a atender de forma contínua e estável as necessidades da produção ou do consumo, garantindo o fluxo constante de materiais ao longo do processo produtivo. Já os estoques de segurança são mantidos como uma reserva preventiva, utilizada para compensar incertezas associadas à variabilidade da demanda ou a possíveis atrasos no fornecimento. Por fim, os estoques obsoletos referem-se aos itens

que perderam sua utilidade econômica em decorrência de deterioração, vencimento, danos físicos, furtos ou mudanças nas condições de mercado.

Além dessas categorias, existem também os custos de falta, que surgem quando a demanda não é atendida devido à indisponibilidade de insumos, tanto nas etapas intermediárias da cadeia quanto na oferta de produtos acabados. Os custos de excesso, que surgem quando a oferta é maior do que a demanda, e por fim os custos de obsolescência, resultantes de desperdícios, vencimentos ou inutilização de produtos, conforme apontado por Ballou (2006).

A existência desses custos leva as organizações a buscarem pontos de equilíbrio nos níveis de estoque, de modo a garantir a disponibilidade de produtos sem incorrer em excessos que aumentem os custos de armazenagem. A definição do ponto ótimo de reposição é uma tarefa complexa, pois envolve variáveis como o estoque de segurança, o tempo de reposição (*lead time*), as flutuações na demanda e a capacidade de armazenamento disponível.

Em virtude dessa complexidade, é comum a adoção de tecnologias e sistemas de apoio à decisão que possibilitam análises mais precisas e alinhadas à realidade operacional da empresa. Com o avanço e a disseminação dos sistemas de informação no ambiente corporativo, práticas antes restritas a grandes organizações tornaram-se acessíveis a empresas de diferentes portes.

Dessa forma, o presente trabalho propõe um modelo de otimização de políticas de estoque por meio de uma simulação desenvolvida em Microsoft Excel, aplicada em um cenário real de um varejista de moda brasileiro.

2.4 Políticas de reposição contínua e periódica

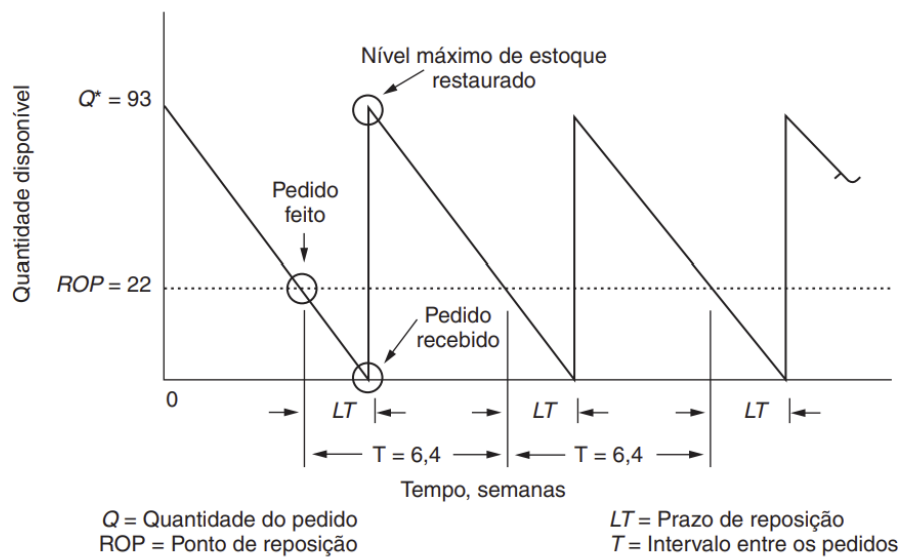
As políticas de reposição de estoques têm como objetivo principal equilibrar o nível de serviço ao cliente e os custos operacionais associados, em especial os custos de manutenção e de falta de estoque. Segundo Ballou (2006), existem duas abordagens fundamentais de controle de estoques aplicáveis a sistemas de demanda contínua: a política de reposição contínua (ou modelo de ponto de pedido) e a política de reposição periódica. Ambas buscam garantir a disponibilidade de produtos, diferindo, contudo, na forma de monitoramento e no momento em que as ordens de compra são emitidas.

2.4.1 Modelo de ponto de pedido

No modelo de reposição contínua, o nível de estoque é monitorado de forma constante, e um pedido de reabastecimento é emitido sempre que o estoque disponível atinge um determinado ponto de pedido (*reorder point* - ROP). Esse ponto representa o nível mínimo de estoque necessário para cobrir a demanda esperada durante o prazo de entrega e uma fração adicional correspondente ao estoque de segurança, destinado a absorver eventuais flutuações de demanda ou atrasos de fornecimento (BALLOU, 2006).

O comportamento típico do nível de estoque nesse modelo é apresentado na Figura 6, onde se observa o padrão em formato de “dente de serra”, característico do processo de consumo e reposição contínuos.

Figura 6: Modelo de reposição contínua



Fonte: Ballou (2006), Figura 9-8.

A quantidade pedida (Q^*) é geralmente calculada com base na quantidade econômica de pedido (*Economic Order Quantity* - EOQ), que representa o ponto de equilíbrio entre os custos de aquisição e os custos de manutenção. Essa relação pode ser expressa pela fórmula:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (2.1)$$

em que D é a demanda anual, S o custo de pedido, I a taxa de manutenção do estoque

e C o custo unitário do item.

O ponto de pedido é definido como:

$$ROP = d \times LT \quad (2.2)$$

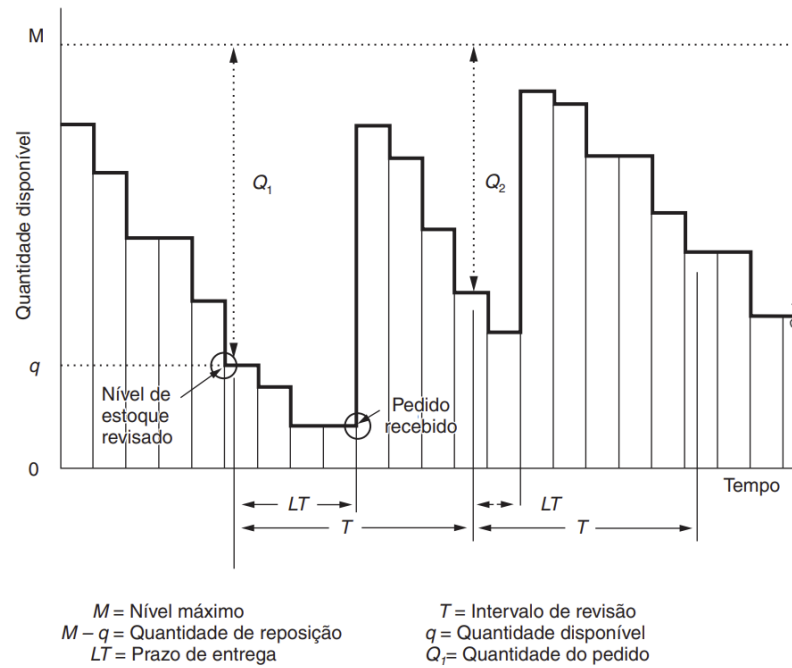
Em que d representa a taxa média de demanda e LT o prazo médio de entrega. Esse modelo proporciona controle preciso sobre o nível de estoque, reduzindo o risco de rupturas, mas requer acompanhamento contínuo e sistemas de monitoramento confiáveis (BALLOU, 2006).

2.4.2 Modelo de revisão periódica

O modelo de revisão periódica baseia-se na avaliação dos estoques em intervalos regulares de tempo (T). Ao final de cada período, realiza-se uma auditoria do nível de estoque e emite-se um pedido de reposição suficiente para elevar o estoque até um nível máximo pré-estabelecido (M^*) (BALLOU, 2006). Assim, a quantidade pedida em cada revisão é variável e depende da demanda ocorrida desde a última reposição.

A lógica de funcionamento desse sistema é ilustrada na Figura 7, que mostra a oscilação dos níveis de estoque ao longo dos períodos de revisão e a emissão dos pedidos em intervalos fixos.

Figura 7: Modelo de revisão periódica



Fonte: Ballou (2006), Figura 9-13

A quantidade a ser pedida é obtida pela diferença entre o nível máximo planejado (M) e o estoque disponível no momento da revisão (q):

$$Q = M - q \quad (2.3)$$

Para o cálculo do nível máximo de estoque, Ballou (2006) sugere considerar a demanda média durante o período de revisão mais o prazo de entrega, acrescida do estoque de segurança:

$$M = d(T + LT) + z \times s'_d \quad (2.4)$$

em que z é o fator da distribuição normal correspondente ao nível de serviço desejado e s'_d o desvio padrão da demanda durante o intervalo de revisão mais o prazo de entrega.

2.4.3 Comparação entre os modelos

A escolha entre os modelos de reposição contínua e periódica depende das características operacionais da empresa e do nível de controle desejado. O modelo contínuo oferece

maior precisão e menores custos totais de estoque, mas requer monitoramento constante e maior complexidade administrativa. Já o modelo periódico simplifica a gestão e permite consolidação de pedidos, sendo indicado para empresas com grande número de *SKUs* ou restrições operacionais quanto à frequência de pedidos.

Em termos de custo total, Ballou (2006) demonstra que a política de revisão periódica tende a gerar um custo levemente superior ao modelo de ponto de pedido, devido à necessidade de estoques de segurança maiores. No entanto, a economia obtida em custos administrativos e logísticos pode compensar essa diferença, tornando-a uma alternativa eficiente em ambientes com alto volume de itens e estrutura de reposição consolidada.

“O controle de revisão periódica exige um estoque ligeiramente maior, sendo, porém, os custos adicionais de manutenção mais do que compensados pela redução dos custos administrativos e pela simplificação do processo de reposição.” (BALLOU, 2006, p. 293)

2.5 Distribuições estatísticas

A análise estatística de dados de demanda em sistemas de gestão de estoques requer a compreensão dos principais modelos de distribuição de probabilidade e dos métodos utilizados para avaliar o ajuste dos dados empíricos a essas distribuições teóricas. Entre os modelos mais relevantes nesse contexto, destacam-se as distribuições de Poisson e normal, além do teste de hipótese qui-quadrado, utilizado para verificar a aderência entre as frequências observadas e esperadas.

2.5.1 Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é amplamente utilizada para modelar o número de ocorrências de um evento discreto em um intervalo de tempo fixo, sob a suposição de que tais eventos são independentes e ocorrem a uma taxa média constante. Sua função de probabilidade é dada por:

$$P(X = k) = \frac{e^{-\mu} \mu^k}{k!} \quad (2.5)$$

em que:

- k representa o número de ocorrências (ou vendas) em um período de tempo;

- μ é a média de ocorrências por período (taxa de demanda média);
- e é a constante de Euler ($e \approx 2,71828$).

Essa distribuição é particularmente adequada para modelar demandas de baixa magnitude e caráter esporádico, como ocorre em produtos com vendas intermitentes ou em lojas individuais. Em aplicações de gestão de estoques, ela é comumente empregada na determinação do estoque de segurança quando o comportamento da demanda diária é discreto e assimétrico.

2.5.2 Distribuição normal

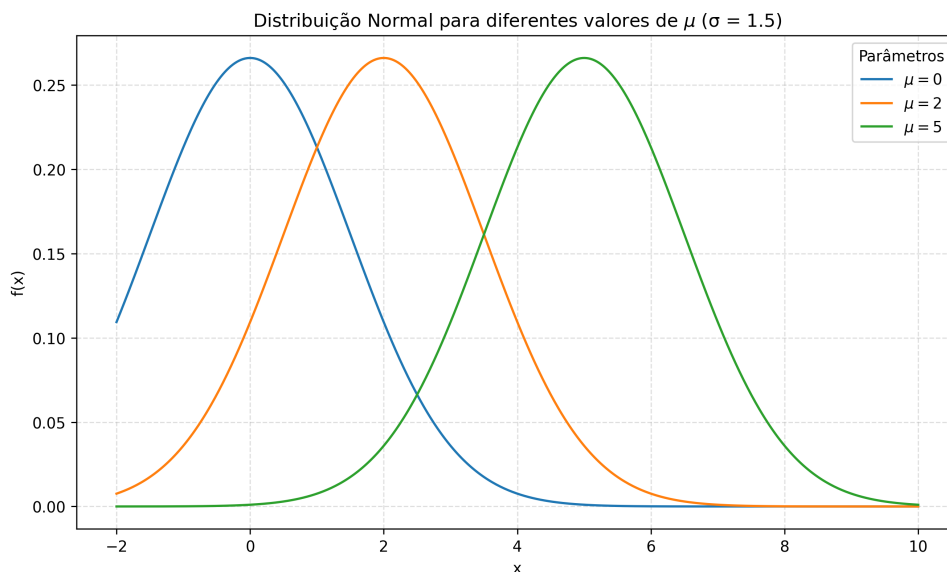
A distribuição normal, ou Gaussiana, é o modelo probabilístico mais utilizado na estatística, sendo caracterizada por sua forma simétrica em torno da média. Sua função densidade de probabilidade é expressa por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.6)$$

em que:

- μ é a média dos valores observados;
- σ é o desvio-padrão, que representa a dispersão em torno da média.

Figura 8: Distribuição normal para diferentes valores de μ



Fonte: Autor.

A distribuição normal é apropriada para representar variáveis contínuas que resultam da soma de diversas causas independentes, o que se justifica pelo teorema central do limite. Em sistemas de varejo, a demanda agregada de um mesmo produto em diferentes lojas tende a se aproximar dessa distribuição, permitindo o uso de técnicas baseadas em intervalos de confiança e probabilidade acumulada.

2.6 Teorema central do limite

O Teorema central do limite (TCL) é um dos pilares da teoria estatística e possui grande relevância para a análise de sistemas de demanda. Ele estabelece que, sob certas condições, a soma de um grande número de variáveis aleatórias independentes tende a seguir uma distribuição normal, independentemente da distribuição original de cada variável individual (MONTGOMERY; RUNGER, 2019).

Matematicamente, o teorema pode ser expresso da seguinte forma. Seja X_1, X_2, \dots, X_n um conjunto de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, cada uma com média μ e variância σ^2 . Define-se a média amostral como:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.7)$$

À medida que o número de observações n cresce, a distribuição da média amostral tende à normal, com média μ e variância σ^2/n . Essa relação é formalizada como:

$$\frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \xrightarrow{d} N(0, 1) \quad (2.8)$$

onde \xrightarrow{d} indica convergência em distribuição e $N(0, 1)$ representa a distribuição normal padrão, com média zero e variância igual a um.

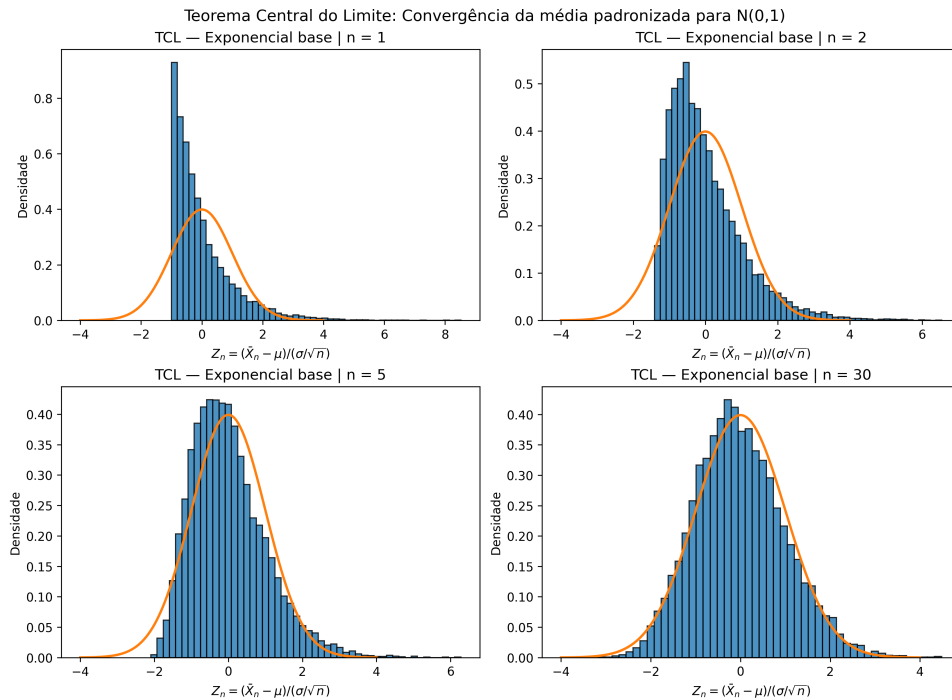
O teorema central do limite é de particular importância neste estudo porque explica o comportamento distinto observado entre diferentes níveis de agregação da demanda. No nível mais granular (produto-loja-dia), a demanda é discreta, esporádica e bem modelada pela distribuição de Poisson. Entretanto, quando se agregam as demandas de múltiplas lojas ou períodos, a soma dessas variáveis independentes tende à normalidade, em conformidade com o teorema central do limite.

Essa propriedade é amplamente explorada em aplicações de previsão e controle de estoques, uma vez que permite o uso de modelos contínuos para descrever a demanda

agregada, simplificando o cálculo de probabilidades e intervalos de confiança. Em contextos práticos, tal comportamento justifica o emprego de abordagens baseadas na distribuição normal em políticas de reposição e dimensionamento de estoques de produtos de maior giro, cujas vendas são resultantes da combinação de múltiplas fontes de demanda independentes.

A Figura 9 ilustra de forma conceitual o processo de convergência da soma de variáveis aleatórias independentes, inicialmente com distribuições distintas, para uma forma aproximadamente normal à medida que o número de observações aumenta. Tal princípio constitui o fundamento teórico que justifica a utilização de diferentes distribuições probabilísticas ao longo deste trabalho, conforme o nível de agregação da demanda analisada.

Figura 9: Representação ilustrativa do teorema central do limite



Fonte: Autor.

2.7 Teste de hipótese qui-quadrado

O teste de aderência qui-quadrado (χ^2) é utilizado para avaliar se um conjunto de dados observados segue uma determinada distribuição teórica. O teste compara as frequências observadas (O_i) com as frequências esperadas (E_i) para cada categoria de ocorrência, sendo a estatística do teste definida como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.9)$$

onde:

- O_i são as frequências observadas em cada classe ou intervalo;
- E_i são as frequências esperadas segundo a distribuição teórica;
- k é o número total de classes analisadas.

O valor obtido de χ^2 é comparado com o valor crítico da distribuição qui-quadrado com $(k-1)$ graus de liberdade e um nível de significância pré-definido. Se a estatística calculada for menor que o valor crítico, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os dados seguem a distribuição teórica proposta.

No contexto deste estudo, o teste de qui-quadrado foi empregado para validar a aderência da demanda diária à distribuição de Poisson e da demanda semanal à distribuição normal, assegurando a consistência estatística das suposições utilizadas na modelagem do estoque de segurança e nas simulações do sistema de reposição.

3 METODOLOGIA

A presente seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para a realização deste estudo, bem como as ferramentas, dados e parâmetros empregados na construção e execução das simulações. O objetivo central é apresentar de forma estruturada as etapas que possibilitaram a análise do impacto financeiro de diferentes políticas de reposição de estoques em uma empresa do setor de varejo de moda, com foco específico em produtos de demanda contínua.

A metodologia adotada fundamenta-se em uma abordagem quantitativa e experimental, combinando dados reais da operação da empresa com técnicas de simulação computacional. Essa estratégia permite avaliar, sob condições controladas, o comportamento dos estoques e o desempenho financeiro frente à variação de parâmetros do nível de serviço.

Inicialmente, são apresentados os dados utilizados e o processo de anonimização das informações, assegurando a confidencialidade dos dados fornecidos pela empresa. Em seguida, detalham-se os critérios de seleção dos produtos contínuos por meio da curva ABC e o entendimento sobre quais distribuições probabilísticas regem o comportamento da demanda em diferentes níveis de agregação. Posteriormente, são descritas as simplificações adotadas, as variáveis de entrada e saída do modelo e os parâmetros que compõem o simulador desenvolvido.

Por fim, é apresentada a estrutura lógica da simulação, construída no Microsoft Excel, e o racional por trás da escolha dessa ferramenta, bem como a descrição das equações, indicadores e procedimentos utilizados para gerar os resultados analisados. Essa abordagem visa garantir transparência metodológica, reprodutibilidade e alinhamento entre o modelo teórico e a realidade operacional observada.

3.1 Coleta e Tratamento de Dados

3.1.1 Modelo de Dados

Os dados utilizados para o desenvolvimento do simulador foram extraídos diretamente do banco de dados da empresa. A Figura 10 apresenta o modelo relacional contendo as principais tabelas empregadas na construção das variáveis de entrada do simulador.

A tabela *Product* contém informações cadastrais dos itens, como o identificador do produto (*ProductId*), a descrição da cor (*ColorDescription*) e a descrição do tamanho (*SizeDescription*).

A tabela *Location* reúne os dados relativos aos locais de estocagem ou venda dos produtos, abrangendo campos como *LocationId*, descrição do local (*LocationDescription*) e tipo de localidade (*Type*), podendo representar uma loja ou um centro de distribuição.

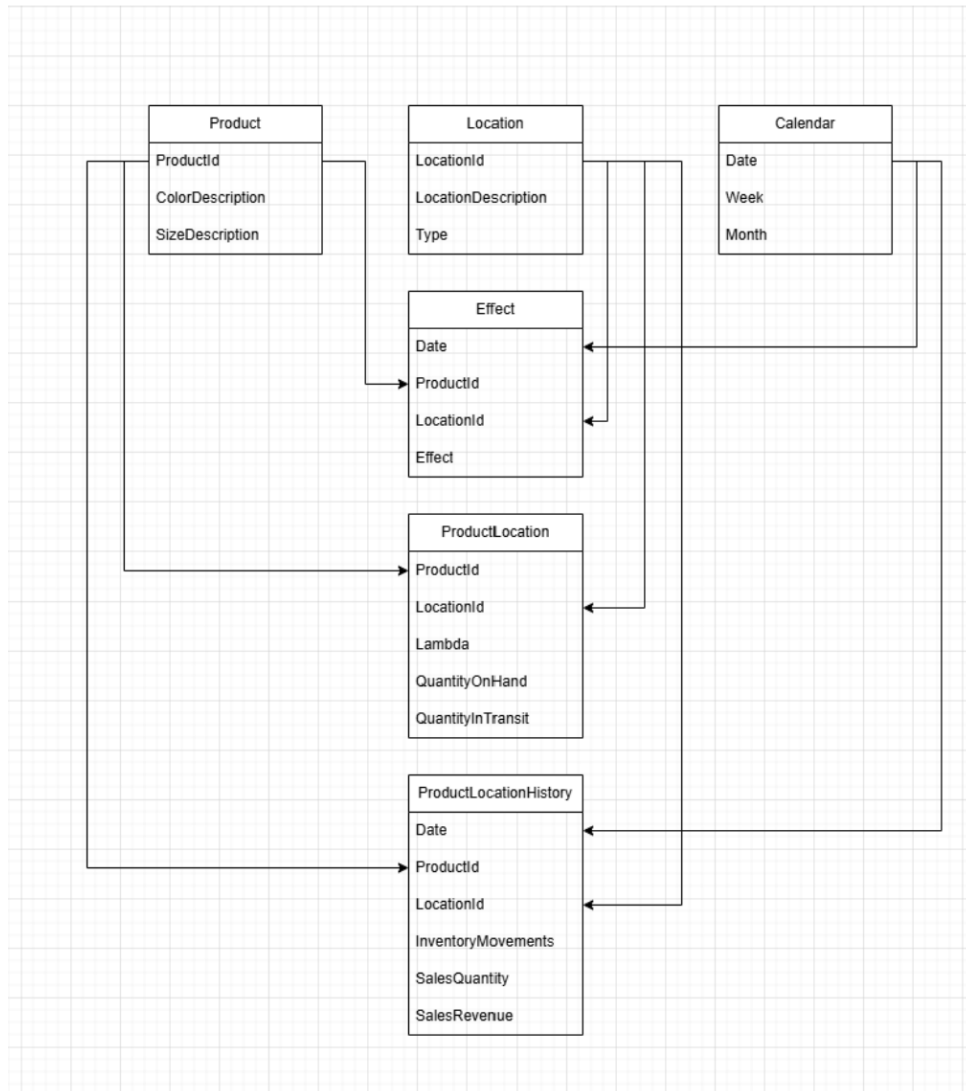
A tabela *Calendar* provê a estrutura temporal utilizada nas análises, permitindo a agregação dos dados por data (*Date*), semana (*Week*) e mês (*Month*), sendo essencial para a organização cronológica das movimentações.

A tabela *ProductLocation* representa o estoque atual por item e local, além de conter parâmetros operacionais como *QuantityOnHand* (estoque disponível), *QuantityInTransit* (estoque em trânsito) e *Lambda* (venda média diária), utilizada como base estatística para os cálculos do simulador.

A tabela *ProductLocationHistory* armazena o histórico operacional por data, produto e local, incluindo campos como *InventoryMovements* (movimentações de inventário), *SalesQuantity* (quantidade vendida) e *SalesRevenue* (receita obtida).

Por fim, a tabela *Effect* registra os efeitos aplicados sobre determinados produtos, locais e datas, permitindo considerar variações sazonais e promocionais por meio do campo *Effect*.

Figura 10: Relação entre as tabelas utilizadas

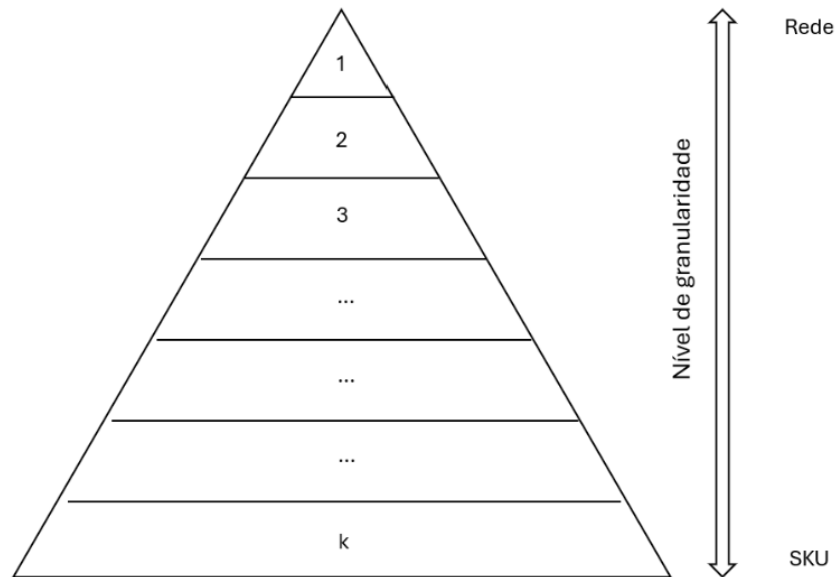


Fonte: Autor.

3.1.2 Processo de anonimização das informações

Os dados coletados continham informações sensíveis, incluindo a classificação mercadológica dos produtos da empresa, conforme ilustrado na Figura 11. Essa classificação desempenha um papel estratégico no treinamento dos modelos preditivos e, por essa razão, as informações originais foram intencionalmente suprimidas durante o processo de exportação das tabelas utilizadas neste estudo.

Além disso, optou-se por restringir a análise a dados referentes ao ano 2024 e primeiro semestre de 2025, como medida preventiva para assegurar a confidencialidade das informações e mitigar o risco de exposição de dados corporativos recentes.

Figura 11: Classificação mercadológica anonimizada

Fonte: Autor.

Outro processo relevante de anonimização adotado neste trabalho foi a substituição da descrição completa dos produtos por uma representação reduzida, composta pela concatenação de três de suas principais características. Assim, ao invés de exibir a descrição comercial integral, optou-se por apresentar apenas atributos como o tipo do item, a cor e o tamanho como por exemplo: Calça Jeans Cor C Tamanho 40. A Tabela 2 apresenta os produtos escolhidos para compor a amostra de análise.

Tabela 2: Produtos selecionados

Produto	Cor	Tamanhos
Calça	A	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	B	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	C	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	D	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	E	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	F	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	G	34-36-38-40-42-44-46-48
Calça	H	34-36-38-40-42-44-46-48

Fonte: Autor.

Essa abordagem visa preservar a confidencialidade dos dados corporativos sem comprometer a identificação funcional dos produtos dentro do contexto analítico da simulação.

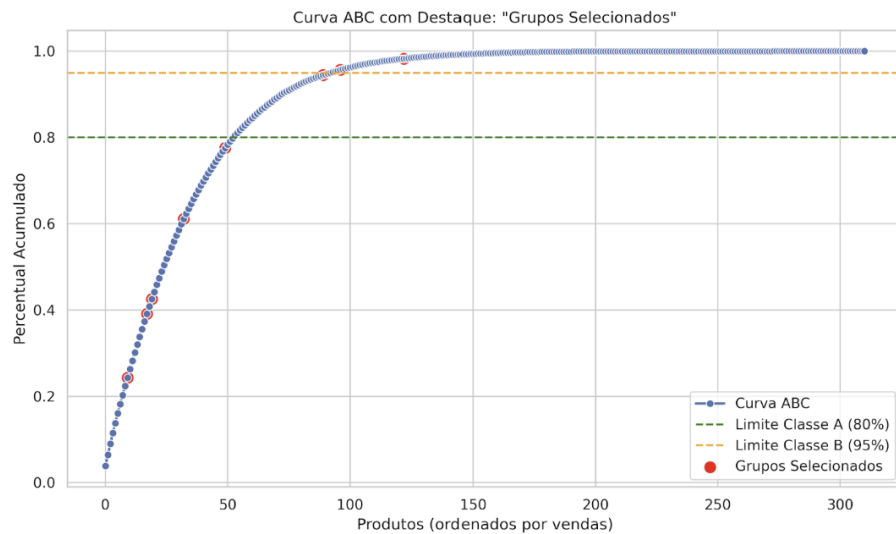
3.1.3 Priorização dos produtos contínuos

Para a priorização dos produtos contínuos no desenvolvimento e teste do simulador, utilizou-se a curva ABC como critério de classificação. Essa metodologia permitiu identificar os itens de maior relevância no volume total de vendas, categorizando-os conforme sua contribuição acumulada.

Os produtos pertencentes à classe A, que representam a menor parcela do portfólio, porém com maior impacto financeiro, foram considerados prioritários para os testes iniciais do simulador.

Os grupos de produtos apresentados na Tabela 2 estão destacados na cor vermelha na curva ABC ilustrada na Figura 12.

Figura 12: Curva ABC com destaque dos produtos contínuos selecionados



Fonte: Autor.

3.2 Simplificações adotadas

3.2.1 Perda de venda

A empresa não armazena, em seu banco de dados, informações referentes às vendas perdidas decorrentes de falta de produto, registrando apenas as vendas efetivamente

realizadas. Diante dessa restrição, optou-se por utilizar a previsão de demanda como estimativa para mensurar as vendas não atendidas nos dias em que as lojas permaneceram abertas, e apresentaram saldo de estoque nulo.

Para operacionalizar esse procedimento, considerou-se a previsão de demanda como uma variável fracionária de ruptura. Assim, em cada dia em que não havia estoque disponível, a previsão de vendas era acumulada até atingir uma unidade inteira, a qual, então, era contabilizada como uma venda perdida. Esse método permite aproximar, ainda que de maneira indireta, o volume de vendas não realizadas em virtude da indisponibilidade do produto.

A lógica de cálculo pode ser representada conforme a Equação 3.1:

$$R_t = \begin{cases} R_{t-1} + D_t, & \text{se } \text{Estoque}_t = 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \text{e} \quad \text{Vendas Perdidas} = \lfloor R_t \rfloor \quad (3.1)$$

onde:

- R_t representa o *acúmulo fracionário de demanda não atendida* no dia t ;
- D_t é a previsão de demanda diária no dia t ;
- Estoque_t indica o nível de estoque no início do dia;
- $\lfloor R_t \rfloor$ corresponde à parte inteira do acúmulo, registrada como uma unidade de venda perdida.

A Tabela 3 exemplifica o funcionamento do procedimento de acúmulo fracionário:

Tabela 3: Exemplo ilustrativo do acúmulo fracionário de vendas perdidas

Dia	Estoque Inicial	Previsão de Demanda (D_t)	Acúmulo (R_t)	Parte Inteira ($\lfloor R_t \rfloor$)	Venda Perdida
1	0	0,05	0,05	0	0
2	0	0,09	0,14	0	0
3	0	0,18	0,32	0	0
4	0	0,25	0,57	0	0
5	0	0,43	1,00	1	1 unidade

Fonte: Autor.

Conforme apresentado, a cada dia em que o estoque permanece zerado, o valor previsto de demanda é acumulado até completar uma unidade, momento em que o simulador registra uma ocorrência de venda perdida.

3.2.2 Modelo de previsão utilizado

A empresa em estudo adota um modelo proprietário de previsão de demanda, cuja formulação baseia-se na técnica de *Recursive Least Squares* (RLS). Esse método consiste em uma adaptação recursiva do estimador de mínimos quadrados ordinários (*Ordinary Least Squares* - OLS), permitindo a atualização dinâmica dos parâmetros do modelo à medida que novos dados são incorporados. Dessa forma, o modelo é capaz de captar de maneira mais responsiva as variações nos padrões de consumo, ajustando-se continuamente às mudanças observadas no mercado.

No caso específico da organização, o modelo de previsão é estruturado a partir da combinação de dois componentes principais: a venda base, que representa o volume médio esperado em condições normais, e os efeitos sazonais, que introduzem flutuações periódicas de acordo com características do setor de moda e do calendário comercial. A previsão final de demanda resulta da multiplicação entre esses dois fatores, produzindo, assim, a estimativa de vendas esperadas para cada produto em cada ponto de venda.

Em razão do caráter proprietário da solução, não foi concedido acesso ao detalhamento da modelagem, tampouco aos parâmetros técnicos utilizados na calibração do algoritmo de RLS. Por essa razão, o presente estudo não avalia a acurácia ou a robustez estatística do modelo de previsão adotado pela empresa.

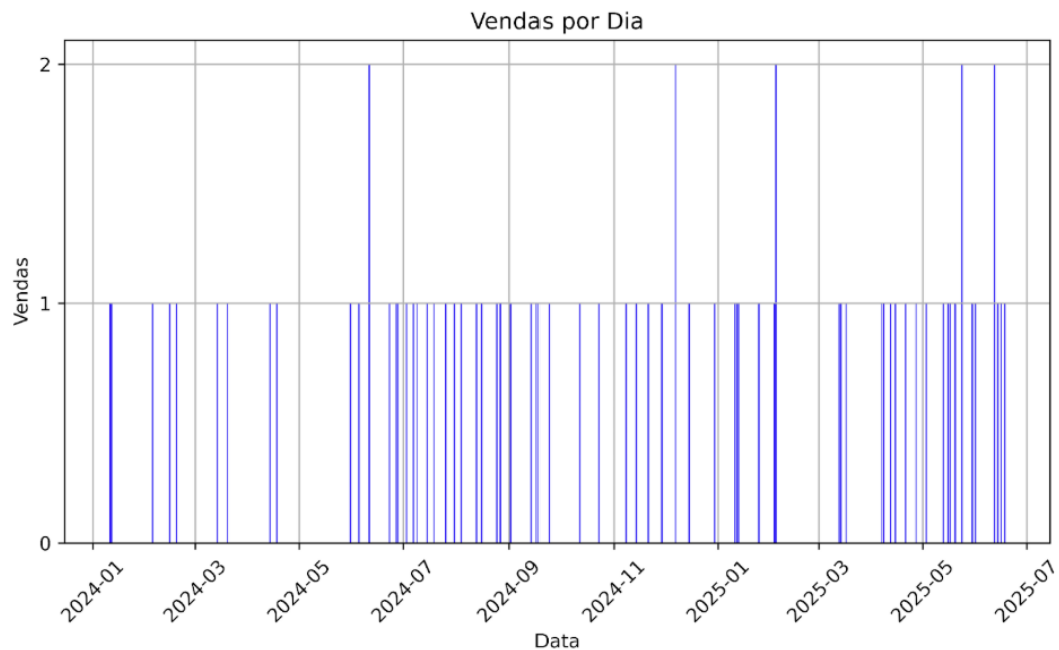
3.3 Análise da distribuição que rege o comportamento da demanda a depender do nível de granularidade

Ao analisar políticas de reposição de estoques em redes varejistas, é fundamental compreender o comportamento estatístico da demanda tanto no nível mais granular possível (produto-loja-dia) quanto em níveis mais agregados, como produto-rede-semana.

A demanda observada para um único item em uma loja tende a ser baixa em volume, discreta e esporádica, apresentando frequentemente dias com ocorrência nula de vendas. Esse tipo de comportamento é bem modelado pela distribuição de Poisson, que é amplamente utilizada para representar eventos raros e independentes no tempo.

A Figura 13 apresenta a série temporal das vendas diárias de um produto contínuo (calça jeans cor C tamanho 40) em uma das lojas da rede varejista utilizada neste estudo.

Figura 13: Venda diária da calça jeans cor C tamanho 40 em uma das lojas da rede



Fonte: Autor.

Para avaliar se os dados de demanda diária seguem uma distribuição de Poisson, foi coletada uma amostra correspondente a 524 dias de demanda esperadas da loja. Essa amostra foi submetida a um teste de hipótese de aderência para verificar a adequação da distribuição teórica aos dados observados.

As hipóteses formuladas foram:

- **Hipótese nula (H_0):** a amostra coletada segue uma distribuição de Poisson com média $\mu = 0,141$;
- **Hipótese alternativa (H_1):** a amostra não segue uma distribuição de Poisson com média $\mu = 0,141$.

A função de massa de probabilidade da distribuição de Poisson é definida por:

$$P(X = k) = \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^k}{k!} \quad (3.2)$$

onde:

- k representa o número de vendas por dia (valores inteiros: 0, 1, 2, ...);

- μ é a média empírica da demanda diária (neste caso, $\mu \approx 0,141$);
- e é a constante de Euler ($e \approx 2,71828$).

A frequência esperada de k vendas em um dia ao longo do período de observação é dada por:

$$E_k = P(X = k) \cdot N \quad (3.3)$$

onde N é o número total de dias da amostra. Com $N = 524$ dias, têm-se os seguintes cálculos ilustrativos:

$$P(X = 0) = \frac{e^{-0,141} \cdot 0,141^0}{0!} \approx 0,8686 \Rightarrow E_0 = 0,8686 \cdot 524 \approx 455 \quad (3.4)$$

$$P(X = 1) = \frac{e^{-0,141} \cdot 0,141^1}{1!} \approx 0,1225 \Rightarrow E_1 = 0,1225 \cdot 524 \approx 64 \quad (3.5)$$

$$P(X = 2) = \frac{e^{-0,141} \cdot 0,141^2}{2!} \approx 0,0086 \Rightarrow E_2 = 0,0086 \cdot 524 \approx 4,5 \quad (3.6)$$

Essas frequências esperadas foram comparadas com as frequências observadas por meio do teste de aderência qui-quadrado, cuja estatística é dada por:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.7)$$

em que O_i representa as frequências observadas e E_i as frequências esperadas sob a hipótese de que os dados seguem uma distribuição de Poisson.

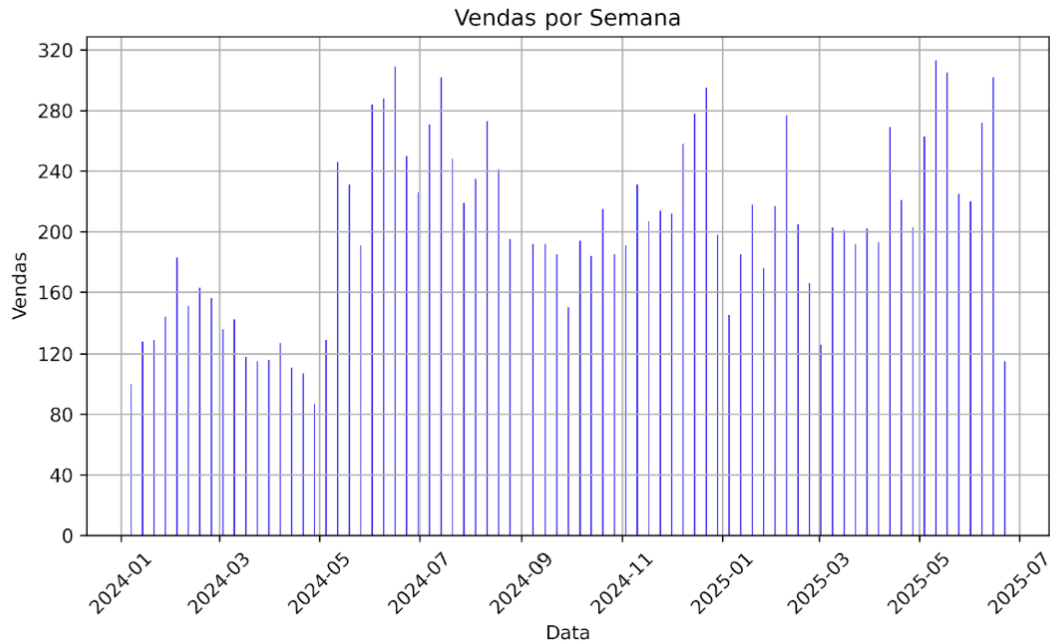
O valor obtido para a estatística qui-quadrado foi de aproximadamente $\chi^2 = 0,0499$, com p -valor de cerca de 0,975, indicando que não há evidências para rejeitar a hipótese nula de que as vendas seguem uma distribuição de Poisson.

Entretanto, quando consideramos a demanda agregada de um item em todas as lojas da rede, em um período de tempo menos granular, o comportamento estatístico tende a se modificar. Ainda que cada loja individualmente apresente uma demanda que segue uma distribuição de poisson, a soma dessas variáveis aleatórias independentes resulta em uma distribuição que se aproxima da distribuição normal.

Esse fenômeno é explicado pelo teorema central do limite, segundo o qual a soma de

muitas variáveis aleatórias independentes tende à normalidade, desde que possuam média e variância finitas (Massachusetts Institute of Technology, 2025). A Figura 14 demonstra o comportamento das vendas semanais de um produto contínuo na rede de lojas.

Figura 14: Venda semanal da calça jeans cor C tamanho 40 na rede



Fonte: Autor.

Para avaliar se os dados de demanda semanal seguem uma distribuição normal, foi coletada uma amostra com 524 dias de demanda esperada para todas as lojas da empresa em que esse produto estava disponível. Essa amostra também foi submetida a um teste de hipótese para verificar se poderia ter sido extraída de uma distribuição normal.

As hipóteses formuladas foram:

- **Hipótese nula (H_0):** a amostra segue uma distribuição normal com média $\mu = 214,9$ e desvio padrão $\sigma = 71$;
- **Hipótese alternativa (H_1):** a amostra não segue uma distribuição normal com média $\mu = 214,9$ e desvio padrão $\sigma = 71$.

As principais estatísticas descritivas dessa amostra estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Estatísticas descritivas

Estatística	Valor aproximado
Tamanho da amostra	75 semanas
Média amostral	214,9
Desvio padrão amostral	71
Mínimo	114
Máximo	421

Fonte: Autor.

A verificação da aderência dessa amostra à hipótese de normalidade foi realizada por meio do teste de qui-quadrado, comparando as frequências observadas e esperadas segundo uma distribuição normal. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Frequência observada e frequência esperada para a demanda semanal

Intervalo	Frequência observada	Frequência esperada
0–158	10	8,2
159–201	9	8,4
202–246	8	9,4
247–290	6	7,3
291–333	4	3,9
334–377	1	1,4
378–421	1	0,4

Fonte: Autor.

O valor obtido para o p -valor foi de aproximadamente 0,09, o que indica que não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese de normalidade ao nível de significância de 5%. Assim, conclui-se que a demanda agregada semanal desse produto na rede pode ser adequadamente modelada por uma distribuição normal.

3.4 Definindo a política de reposição utilizada

A política de reposição da empresa baseia-se no modelo de revisão periódica, em que os estoques são avaliados em intervalos regulares. Este estudo mantém essa abordagem por refletir o processo real da organização, garantindo maior aplicabilidade e coerência

entre prática e simulação. A escolha também facilita a comparação entre parâmetros e a análise dos *trade-offs* entre custos de manutenção e de falta de produtos.

3.5 Ferramenta utilizada na construção da simulação

O simulador das políticas de reposição foi desenvolvido no Microsoft Excel, escolhido pela familiaridade da equipe comercial com a ferramenta e pelo caráter exploratório do estudo, que não exige, neste estágio, o uso de recursos computacionais mais complexos.

A Figura 15 exemplifica a estrutura do simulador e demonstra a praticidade do Excel na organização e visualização dos dados. O recorte apresentado corresponde à seleção do item e da loja utilizados em uma simulação, reunindo as principais informações do cenário analisado, como identificador e descrição do produto, ponto de venda, período de análise e dados financeiros, incluindo preço unitário, custo unitário e margem de contribuição.

Figura 15: Interface de seleção de item e loja no simulador desenvolvido em Excel

	Seleção Item/Loja
Nome do Produto	12103410017~BL SKINNY VINTAGE~OPAG-004#JEANS_ESC5
Nome Loja	TTE-PP-C-SHOPPING TIETÊ PLAZA
Primeira Venda SKU	8/12/2023
Primeira Mov Estoque	7/20/2023
Início Calendário	12/27/2021
Fim do Calendário	1/5/2025
Período de Análise	1106
Primeiro dia Venda	594
Último dia de Venda	1067
Primeiro dia de Estoque	571
Preço Unitário	R\$ 139.99
Custo Unitário	R\$ 53.23
Margem Unitária	R\$ 86.76

Fonte: Autor.

3.6 Implementação da simulação

3.6.1 Parâmetros utilizados na simulação

O simulador desenvolvido neste estudo foi concebido com o propósito de possibilitar a análise de diferentes cenários de reposição de estoques dentro do modelo de revisão periódica. Para isso, estruturou-se um conjunto de parâmetros ajustáveis que conferem ao usuário liberdade na configuração das simulações. Entre esses parâmetros, destacam-se o produto, a loja, o *lead time*, o período de revisão e o nível de serviço.

3.6.1.1 Produto

O parâmetro relativo ao produto refere-se à possibilidade de selecionar o *SKU* a ser avaliado, permitindo a análise individualizada do comportamento de cada item. Essa funcionalidade mostra-se essencial, uma vez que diferentes produtos apresentam padrões distintos de demanda, refletindo dinâmicas próprias do consumo no varejo de moda, sobretudo, os *SKUs* com numerações de ponta (e.g. tamanhos 34, 36, 46 e 48).

3.6.1.2 Loja

Da mesma forma, a seleção da loja possibilita considerar as especificidades de cada ponto de venda, já que fatores como localização geográfica, perfil do público-alvo e sazonalidade influenciam diretamente os volumes de vendas.

3.6.1.3 Lead time

Outro parâmetro incorporado ao simulador é o *lead time*, que corresponde ao tempo decorrido entre o pedido de ressurgimento e a efetiva disponibilidade do produto em loja. Ainda que tenha sido mantido fixo ao longo das simulações, dado que sua alteração demandaria a remodelagem da cadeia logística da empresa, aspecto que foge ao escopo do presente trabalho, o modelo foi desenvolvido de modo a permitir que esse valor seja ajustado, caso o usuário deseje explorar cenários alternativos e compreender os impactos do tempo de reposição sobre os níveis de estoque.

3.6.1.4 Período de revisão

O período de revisão, por sua vez, refere-se ao intervalo entre duas verificações sucessivas do estoque. Esse parâmetro é particularmente relevante porque a frequência de reposição influencia diretamente tanto a probabilidade de ocorrência de rupturas quanto os custos associados à manutenção de estoques. Esse parâmetro, também foi mantido fixo, pelo mesmo motivo mencionado anteriormente para o tempo de ressuprimento.

3.6.1.5 Nível de serviço

Por fim, o nível de serviço representa a probabilidade de atendimento integral da demanda, sem ocorrência de rupturas. O simulador foi configurado para permitir a análise de diferentes patamares de nível de serviço, abrangendo desde valores mais conservadores, como 50%, até limites mais elevados, como 99%. A Tabela 6 apresenta a sequência de valores considerados nas simulações.

Tabela 6: Valores de nível de serviço disponíveis para teste no simulador

Categoria		Níveis de serviço
Valor inicial		50%
Incrementos de 5%	55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%	
Incrementos de 1%		96%, 97%, 98%, 99%

Fonte: Autor.

A escolha por incluir diferentes faixas de nível de serviço visa a possibilitar a avaliação detalhada dos *trade-offs* envolvidos, permitindo mensurar em que medida o aumento da disponibilidade de produtos justifica os custos adicionais incorridos.

Os parâmetros podem ser alterados por meio de botões interativos, de forma que os profissionais da área comercial consigam configurar os cenários de interesse sem a necessidade de conhecimentos técnicos avançados. Essa preocupação com a experiência do usuário garante maior autonomia e agilidade na realização das análises.

A Figura 16 apresenta a seção do simulador destinada à definição dos parâmetros operacionais da simulação, onde o usuário pode ajustar variáveis como o *lead time*, o intervalo entre envios e o nível de serviço desejado.

Figura 16: Parâmetros operacionais

	Dados para a Simulação	
Lead Time	14	
Intervalo entre Envios	7	
Nível de Serviço	98.0%	▲ ▼

Fonte: Autor.

3.6.2 Variáveis calculadas

A cada configuração de parâmetros, o simulador fornece uma visão detalhada dos resultados obtidos, permitindo acompanhar o comportamento diário dos estoques, da demanda e das rupturas ao longo de todo o horizonte de análise.

A Figura 17 apresenta a estrutura de cálculo adotada no simulador, na qual cada coluna representa um dia do período analisado, compreendido entre a data da primeira venda registrada e o momento em que o produto é descontinuado. No caso dos itens selecionados para este estudo, todos classificados como produtos contínuos, o ciclo de vida ainda se encontra em andamento, ou seja, tais produtos continuam sendo enviados regularmente aos pontos de venda. Dessa forma, a simulação para esses itens foi delimitada até o último dia de dados disponíveis na base utilizada para esse estudo.

Figura 17: Estrutura de cálculo do simulador de reposição periódica

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	7/20/2023	7/21/2023	7/22/2023	7/23/2023	7/24/2023	7/25/2023	7/26/2023	7/27/2023	7/28/2023	7/29/2023	7/30/2023	7/31/2023
Lambda	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Efeito	1.98	2.37	4.41	2.85	1.73	1.68	1.87	1.98	2.37	4.41	2.85	1.73
Forecast Diário	0.06	0.07	0.14	0.09	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.14	0.09	0.05
Está no Ciclo de Vida	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Loja Aberta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
É um dia válido	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vendas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estoque		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Demanda Verdadeira	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda OLT+RP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Forecast OLT+RP	1.48	1.48	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.39	1.38	1.34	1.32
Erro	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estoque de Segurança	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dias em Ruptura (Realizado)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perda de Venda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calendário Compra	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Autor.

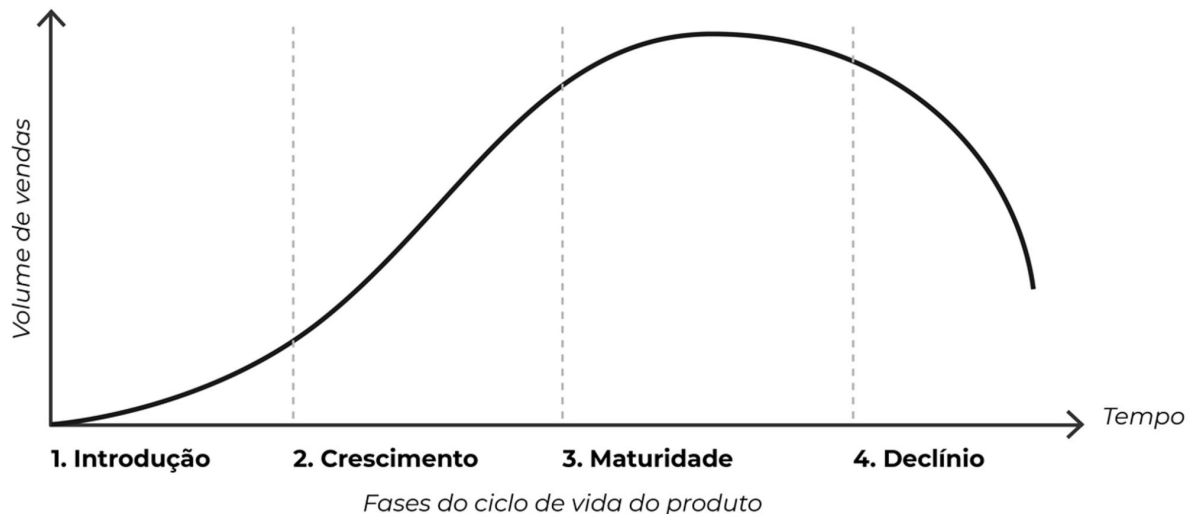
As linhas da tabela, por sua vez, representam tanto as variáveis de entrada utilizadas

na simulação quanto os resultados gerados a partir dos cálculos realizados pelo modelo.

3.6.2.1 Venda média diária

O primeiro dado de entrada da simulação corresponde à venda média diária da combinação produto-loja selecionada. Optou-se, por simplificação, pelo uso do valor mais recente disponível. Contudo, reconhece-se que, em um aperfeiçoamento futuro do simulador, o ideal seria reconstruir essa variável de forma dinâmica, considerando a evolução temporal da venda média diária, uma vez que ela tende a variar ao longo do ciclo de vida do produto, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18: Ciclo de vida de um produto



Fonte: Autor.

3.6.2.2 Efeitos

O segundo dado de entrada utilizado é o efeito, variável responsável por capturar oscilações sazonais que impactam diretamente a previsão da demanda. Dessa forma, a multiplicação entre a venda média e o efeito resulta na previsão diária de vendas para a combinação produto-loja selecionada, servindo como base para o cálculo da demanda simulada em cada período do horizonte de análise.

3.6.2.3 Variáveis de controle

Além das variáveis de entrada já mencionadas, o simulador também considera um conjunto de variáveis de controle de cálculo, cuja função é garantir a coerência lógica

e operacional da simulação. Essas variáveis atuam como condições de validação que determinam se um determinado dia é elegível para o processamento das métricas de estoque e de venda. Entre as principais, destacam-se:

3.6.2.4 Indicação de ciclo de vida ativo do produto

Variável binária que assume valor 1 quando o item encontra-se ativo e 0 quando está desativado. Essa informação assegura que apenas os produtos em fase de comercialização sejam considerados nas simulações.

3.6.2.5 Condição de abertura da loja

Variável binária, assume valor 1 quando a loja estava aberta e 0 quando se encontrava fechada. Essa variável impede que sejam registrados eventos de venda ou ruptura em dias que a loja estava fechada.

3.6.2.6 Validação do dia de cálculo

Variável binária que verifica se as condições anteriores são atendidas, ou seja, se a loja estava aberta e o produto ativo. Apenas nesses casos o dia é considerado válido para o cálculo de indicadores como a ruptura. Essa verificação evita distorções nos resultados, já que, em dias em que não há operação de venda, não é adequado contabilizar uma falta de produto.

3.6.2.7 Vendas e estoque

As linhas de vendas e de estoque representam, respectivamente, o volume de unidades vendidas por dia para a combinação produto-loja selecionada e o estoque disponível ao final de cada período. Essas informações serão utilizadas posteriormente para comparar os cenários simulados com o que foi praticado na realidade, fornecendo subsídios para a análise da eficiência das políticas de reposição adotadas.

3.6.2.8 Demanda Verdadeira

A variável denominada demanda verdadeira foi construída com o propósito de representar, da forma mais fiel possível, o comportamento real de consumo para cada combinação produto-loja. Para os dias em que há registro efetivo de vendas, o próprio volume

vendido é considerado como demanda observada. Já nos períodos em que não havia estoque disponível, a demanda é estimada com base na previsão de vendas correspondente, de modo a aproximar o valor que teria sido comercializado caso o produto estivesse disponível.

Trata-se, portanto, de uma aproximação da demanda real, necessária em função da ausência de registros de vendas perdidas no banco de dados da empresa. Em um cenário ideal, a organização manteria o controle das ocorrências de ruptura e das respectivas quantidades não atendidas, o que permitiria a mensuração direta da demanda verdadeira. Contudo, diante dessa limitação, a metodologia adotada busca reconstruir de forma coerente o comportamento da demanda, garantindo a continuidade e a consistência das simulações realizadas.

3.6.2.9 Demanda sobre o período de cobertura total

A $\text{Demanda}_{\text{OLT}+\text{RP}}$ é calculada a partir da demanda verdadeira, acumulando o consumo esperado durante todo o período de cobertura. Na prática, ela representa o total de produtos que precisam estar disponíveis para suprir as vendas previstas enquanto o próximo pedido ainda não chega. Já o $\text{Forecast}_{\text{OLT}+\text{RP}}$ segue o mesmo raciocínio, mas utiliza como base a previsão de vendas fornecida pelo modelo de demanda da empresa, refletindo o volume que o sistema espera vender nesse mesmo horizonte.

3.6.2.10 Erro entre o cenário realizado e o projetado

A variável erro compara esses dois valores. Ela é calculada apenas para os dias que ocorrem após a primeira venda registrada e corresponde à diferença entre o $\text{Forecast}_{\text{OLT}+\text{RP}}$ e a $\text{Demanda}_{\text{OLT}+\text{RP}}$. Nos dias anteriores à primeira venda, o erro é automaticamente igual a zero, evitando distorções no início da série.

3.6.2.11 Estoque de segurança

O estoque de segurança é calculado a partir da distribuição de Poisson, utilizando como parâmetros o nível de serviço e o erro calculado entre a previsão e a demanda observada. Essa escolha metodológica baseia-se em um teste de hipótese realizado previamente, que demonstrou que as vendas diárias, no nível de granularidade produto-loja, seguem uma distribuição de Poisson. Dessa forma, o uso dessa distribuição na modelagem do estoque de segurança é estatisticamente consistente com o comportamento real

dos dados.

A aplicação da distribuição de Poisson permite estimar, de maneira probabilística, a quantidade adicional de estoque necessária para assegurar o atendimento da demanda dentro do período de cobertura, mesmo diante das incertezas inerentes à previsão. Em termos práticos, para cada nível de serviço definido no simulador, é determinado um valor de estoque de segurança.

3.6.2.12 Calendário de compra

Por fim, foi desenvolvido o calendário de compra, também estruturado como uma variável binária, que indica os dias de emissão de pedidos de reposição. Essa variável recebe o valor 1 nos dias de revisão, definidos de acordo com o período de revisão, e 0 nos demais dias.

3.7 Construção da curva de trade-off entre o nível de estoque do estoque e a perda de venda

Após a etapa de validação e consolidação do simulador, procedeu-se à etapa de construção da curva de *trade-off* entre o nível de estoque do estoque e a perda de vendas. O objetivo desta etapa consiste em avaliar o impacto dos parâmetros de nível de serviço sobre o desempenho operacional e financeiro da empresa, permitindo identificar o ponto de equilíbrio entre o nível de estoque do estoque e o custo associado às perdas de vendas decorrentes de rupturas.

Para um valor dado de período de reposição, foram testados todos os níveis de serviço definidos na Tabela 6, gerando um conjunto de simulações que cobre o espaço de combinações entre essas variáveis. O mesmo processo pode ser aplicado a cada combinação de produto e loja contemplada na base de dados.

Para cada cenário testado, o simulador gera uma tabela síntese contendo as principais variáveis de desempenho, como o estoque no início e final do dia de simulação, o volume de vendas realizadas, o número de rupturas e os pedidos planejados. A Figura 19 ilustra um exemplo desse relatório de simulação, representando o comportamento do sistema para um cenário com nível de serviço de 50%, período de reposição de 7 dias, *lead time* de 14 dias e produto calça jeans cor C tamanho 38 na loja localizada no Shopping Tietê Plaza.

Figura 19: Tabela de cálculo da curva de *trade-off*

DRP - Curva de Tradeoff	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estoque Segurança 50%	7/20/2023	7/21/2023	7/22/2023	7/23/2023	7/24/2023	7/25/2023	7/26/2023	7/27/2023	7/28/2023	7/29/2023	7/30/2023
Posição Estoque Início do Dia	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Em Transito	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Entradas de Pedidos Anteriores	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Subtotal On Hand + On Order	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Forecast OLT+RP	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3
Safety Stock	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pedidos Plan.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Venda Final	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Venda Final Acumulada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Venda Final Acumulada Discreta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perda de Venda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Saldo (EOD)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Dias em Ruptura Simulado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fonte: Autor.

A tabela apresentada na Figura 19 reúne as principais variáveis utilizadas na construção da curva de *trade-off*. Cada variável possui uma função específica dentro da estrutura de cálculo do simulador, conforme descrito a seguir.

3.7.1 Estoque no início do dia

A variável SID_t representa o estoque disponível no início de cada dia da simulação, correspondendo à quantidade efetivamente presente no ponto de venda antes do atendimento da demanda. No primeiro dia de simulação, esse valor é inicializado com o estoque real observado na base de dados da empresa. A partir do segundo dia em diante, o estoque inicial é atualizado com base no estoque final do dia anterior.

Matematicamente, essa relação pode ser expressa da seguinte forma:

$$SID_t = \begin{cases} S_{\text{real}}, & \text{se } t = 1 \\ SFD_{t-1}, & \text{se } t > 1 \end{cases} \quad (3.8)$$

em que S_{real} representa o estoque real no primeiro dia do período analisado e SFD_{t-1} corresponde ao estoque no final do dia anterior. Essa formulação assegura a consistência entre os períodos simulados, permitindo que o modelo capture adequadamente as variações diárias do nível de estoque ao longo do horizonte temporal estudado.

3.7.2 Estoque em trânsito

A variável T_t representa o volume de produtos que já foram expedidos pelo centro de distribuição, mas que ainda não chegaram ao ponto de venda, influenciando diretamente a disponibilidade futura de mercadorias. No primeiro dia de simulação, essa variável é inicializada com valor zero, uma vez que não há pedidos em trânsito no início do horizonte de análise.

A partir dos dias subsequentes, o valor de estoque em trânsito passa a refletir a soma acumulada dos pedidos emitidos, descontando-se as quantidades que já foram entregues, conforme o *lead time*. Em termos conceituais, o cálculo pode ser expresso pela seguinte Equação 3.9:

$$T_t = \sum_{i=1}^t P_i - \sum_{j=1}^t E_j \quad (3.9)$$

em que T_t representa o volume total de produtos em trânsito no dia t , P_i indica o pedido planejado emitido no dia i , e E_j corresponde à entrada de pedidos efetivamente recebida no dia j .

3.7.3 Chegada dos pedidos feitos anteriormente

A variável Entradas de Pedidos Anteriores representa o volume de pedidos realizados em períodos anteriores que se tornam disponíveis no dia analisado, incorporando o efeito do *lead time* na simulação. No primeiro dia de execução, essa variável é inicializada com valor zero, uma vez que ainda não há pedidos em trânsito. Nos dias subsequentes, o cálculo passa a considerar o tempo de reposição definido, de modo que um pedido emitido somente se torna disponível após o término do *lead time*.

A lógica implementada pode ser representada pela Equação 3.10 :

$$E_t = \begin{cases} P_{t-L}, & \text{se } t > L \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.10)$$

onde E_t representa as Entradas de Pedidos Anteriores no dia t , P_{t-L} indica o pedido realizado L dias antes, e L corresponde ao *lead time* definido.

3.7.4 Posição de estoque diária

O subtotal Posição de Estoque corresponde à soma entre o estoque físico disponível e o estoque em trânsito, refletindo o total de unidades que estão sob posse ou em processo de entrega ao ponto de venda. Essa variável é fundamental para determinar o nível total de cobertura do sistema, uma vez que considera tanto os itens já disponíveis para venda quanto aqueles que se encontram a caminho da loja.

O cálculo dessa variável pode ser representado pela seguinte equação:

$$\text{Posição de Estoque} = SID_t + T_t \quad (3.11)$$

Onde SID representa o estoque físico disponível no início do dia t , e T_t indica o volume de produtos em trânsito que ainda não chegaram ao ponto de venda.

3.7.5 Alvo de estoque

A variável Alvo representa o nível total de estoque desejado para o período de cobertura, sendo utilizada como referência para o cálculo do pedido planejado. Seu valor é definido pela soma entre a previsão de demanda para o horizonte de reposição e o estoque de segurança correspondente ao nível de serviço adotado. Essa variável expressa, portanto, o ponto de reposição ideal que garante a disponibilidade de produtos até a próxima revisão de estoque, considerando as incertezas inerentes à demanda.

O cálculo do Alvo pode ser representado pela Equação 3.12:

$$Alvo_t = \lceil \text{Forecast}_{\text{OLT}+\text{RP}} + \text{SS} \rceil \quad (3.12)$$

em que $\text{Forecast}_{\text{OLT}+\text{RP}}$ corresponde à previsão acumulada de demanda ao longo do período de cobertura (soma do *lead time* e do *review period*), e SS representa o estoque de segurança calculado para o nível de serviço desejado. A função de arredondamento para cima, indicada por $\lceil \cdot \rceil$, assegura que o valor obtido seja expresso em unidades inteiras de produto, compatíveis com a natureza discreta das vendas e dos pedidos.

3.7.6 Pedido planejado diariamente

A variável Pedido Planejado é calculada a partir de uma regra de decisão aplicada exclusivamente nos dias de compra. No modelo, o dia de pedido (DP) assume valor igual a 1 quando é dia de fazer um pedido e 0 quando não. Assim, o pedido planejado é diferente de zero apenas quando o indicador é igual a 1. Em termos algébricos, o cálculo pode ser expresso conforme a Equação 3.13:

$$P_t = \begin{cases} \left\lceil \frac{\max(0, Alvo_t - (SID_t + T_t))}{MOQ} \right\rceil \times MOQ, & \text{se } DP = 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.13)$$

em que:

- SID_t é o saldo disponível no início do dia;
- T_t é o volume já em trânsito com chegada prevista;
- MOQ representa o lote mínimo de compra.

A função $\max(0, \cdot)$ impede valores negativos, garantindo que não haja pedidos quando o estoque total projetado já cobre a demanda prevista acrescida do estoque de segurança. A operação de arredondamento para cima assegura que o pedido seja múltiplo inteiro do lote mínimo.

3.7.7 Vendas simuladas

A variável Venda Final representa o volume de vendas efetivamente realizadas em cada dia da simulação, considerando o estoque disponível e a ocorrência de eventuais rupturas. Assim, as vendas diárias são limitadas pelo menor valor entre o estoque disponível no início do dia e a demanda verdadeira observada.

No primeiro dia de simulação, as variáveis são inicializadas conforme as seguintes expressões:

$$VF_1 = \min(SID_1, DV_1) \quad (3.14)$$

$$VF_1^{accum} = VF_1 \quad (3.15)$$

$$VF_1^{disc} = \lfloor VF_1^{accum} \rfloor \quad (3.16)$$

em que VF_1 representa a Venda Final do primeiro dia, SID_1 é o estoque disponível no início do dia e DV_1 é a Demanda Verdadeira. A variável VF_1^{accum} corresponde ao acumulado de vendas no primeiro dia, e VF_1^{disc} representa a parte inteira desse valor, isto é, o número total de unidades vendidas até aquele momento.

A partir do segundo dia de simulação, o modelo segue o mesmo princípio, mas incorpora o histórico de vendas acumuladas, conforme as equações a seguir:

$$VF_t = \min(SID_t, DV_t) \quad (3.17)$$

$$VF_t^{accum} = VF_{t-1}^{accum} + VF_t - VF_{t-1}^{disc} \quad (3.18)$$

$$VF_t^{disc} = \lfloor VF_t^{accum} \rfloor \quad (3.19)$$

onde $t \geq 2$. A Venda Final (VF_t) continua sendo o mínimo entre o estoque disponível no início do dia (SID_t) e a demanda verdadeira (DV_t). Já a Venda Final Acumulada (VF_t^{accum}) é calculada somando-se a *Venda Final* do dia ao acumulado anterior, subtraindo-se a parte inteira já contabilizada no dia anterior (VF_{t-1}^{disc}). Por fim, a Venda Final Acumulada Discreta (VF_t^{disc}) é atualizada como a parte inteira do acumulado de vendas atual.

3.7.8 Estoque no final do dia

A variável Saldo Final do Dia representa o estoque remanescente ao final de cada dia, após o atendimento da demanda. Esse valor é fundamental para o controle dinâmico do sistema de simulação, pois constitui o ponto de partida para o cálculo do estoque disponível no início do dia subsequente. Dessa forma, o modelo garante a continuidade lógica do fluxo de estoque entre os períodos.

O cálculo do Saldo Final do Dia é realizado pela diferença entre o estoque disponível no início do dia e o volume efetivamente vendido no mesmo período, sendo expresso pela

Equação 3.20:

$$SFD_t = \max(0, SID_t - VF_t^{disc}) \quad (3.20)$$

em que SFD_t indica o estoque remanescente ao final do dia t , SID_t representa o saldo no início do dia e VF_t^{disc} corresponde à Venda Final Acumulada Discreta, que reflete o número inteiro de unidades efetivamente vendidas durante o período.

A função $\max(0, \cdot)$ garante que o resultado não assuma valores negativos, evitando que o modelo contabilize estoques fictícios.

3.7.9 Ruptura diária

Por fim, a variável Dias em Ruptura Simulado tem como finalidade contabilizar os dias em que ocorreu ruptura de estoque ao longo do horizonte de simulação, funcionando como um indicador do número de dias em que a empresa deixou de realizar vendas devido à indisponibilidade de produtos. Essa métrica é essencial para mensurar o impacto operacional da falta de estoque sobre o desempenho comercial e o nível de serviço.

A variável assume valor igual a 1 quando há ruptura e 0 caso contrário, de acordo com as condições lógicas que definem o funcionamento da loja e o ciclo de vida do produto. Sua formulação pode ser expressa da seguinte forma:

$$DR_t = \begin{cases} 1, & \text{se } (SID_t \leq 0) \wedge (L_t = 1) \wedge (CV_t = 1) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.21)$$

em que DR_t representa o indicador binário de Dias em Ruptura Simulado no dia t , SID_t é o estoque disponível no início do dia, L_t indica se a loja estava aberta (1 para aberta e 0 para fechada) e CV_t indica se o produto encontrava-se dentro de seu ciclo de vida (1 para ativo e 0 para descontinuado).

3.7.10 Curva de *trade-off* entre estoque e ruptura

A partir dos resultados obtidos para cada cenário, foi construída uma curva de *trade-off* como mostra a Figura 24. Essa curva representa a relação entre o o estoque à custo (eixo x) e o custo percentual de perda de vendas (eixo y) em diferentes níveis de serviço simulados.

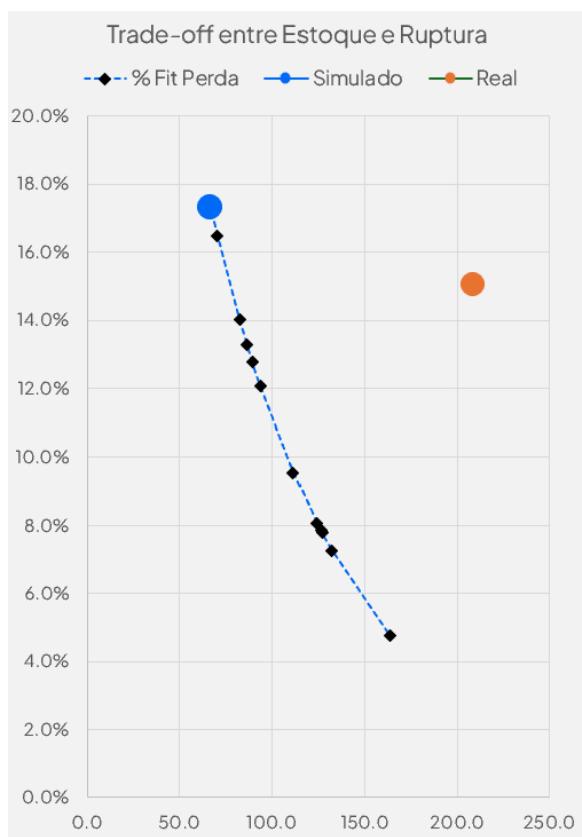
A curva simulada foi comparada ao cenário real da empresa, representado por um ponto de referência que traduz as condições operacionais vigentes. Essa comparação possibilita avaliar se a política atual tende a se posicionar em uma região de excesso de estoque, associada a altos custos de manutenção, ou em uma região de ruptura elevada, vinculada à perda de vendas.

O ponto laranja na figura indica a situação real da empresa, ou seja, o desempenho obtido com a política de reposição atualmente praticada. Já o ponto azul corresponde a um dos cenários simulados, calculado com base em um conjunto de parâmetros específicos de período de reposição e nível de serviço.

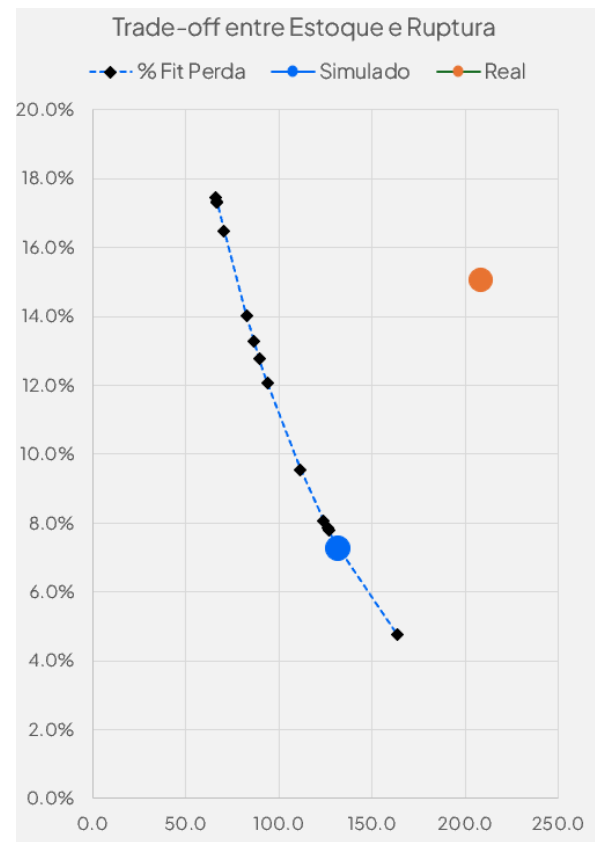
Cada gráfico de *trade-off* foi construído considerando o mesmo período de reposição fixo e os 14 níveis de serviço previamente definidos. Dessa forma, à medida que o nível de serviço varia, o ponto azul desloca-se ao longo da curva, representando o comportamento do sistema frente ao aumento da disponibilidade de produtos e, conseqüentemente, à elevação dos custos de manutenção de estoque.

A Figura 24 apresenta as curvas de *trade-off* obtidas para dois níveis de serviço distintos: 50% e 99%. A primeira curva, exibida à esquerda, reflete um cenário de menor nível de estoque, porém com perdas significativas decorrentes de rupturas. Já a segunda, à direita, evidencia uma expressiva redução no custo de perda de vendas, mas acompanhada por um aumento substancial no nível de estoque de estoque.

Figura 20: Curvas de *trade-off* para diferentes níveis de serviço



(a) Nível de serviço de 50%.



(b) Nível de serviço de 99%.

Fonte: Autor.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resultado para uma combinação de parâmetros

Cada combinação de parâmetros de entrada resultou em uma simulação independente. A Tabela 7 mostra os parâmetros utilizados para a discussão dos resultados apresentados a seguir.

Tabela 7: Exemplo de configuração dos parâmetros utilizados na simulação

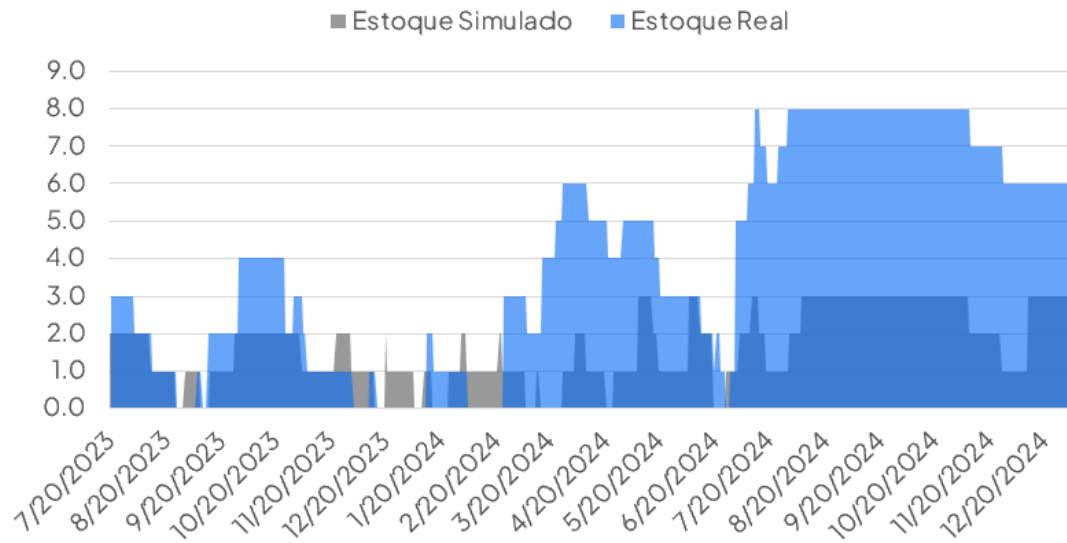
Parâmetro	Valor selecionado
Produto	Calça Jeans - Cor C - Tamanho 38
Loja	Shopping Plaza Tietê
Período de reposição	7 dias
Níveis de serviço	14 possibilidades

Fonte: Autor.

Inicialmente, realiza-se a comparação entre o estoque histórico real e simulado no *backtesting*, conforme ilustrado na Figura 21. Esse gráfico evidencia como a política atualmente praticada pela empresa se posiciona à simulação utilizando o nível de serviço de 85%.

A análise busca verificar se o desempenho real está mais próximo de uma situação de excesso de estoque associada a custos de manutenção mais elevados ou de uma condição de ruptura, caracterizada por perdas significativas de receita e redução do nível de atendimento ao cliente.

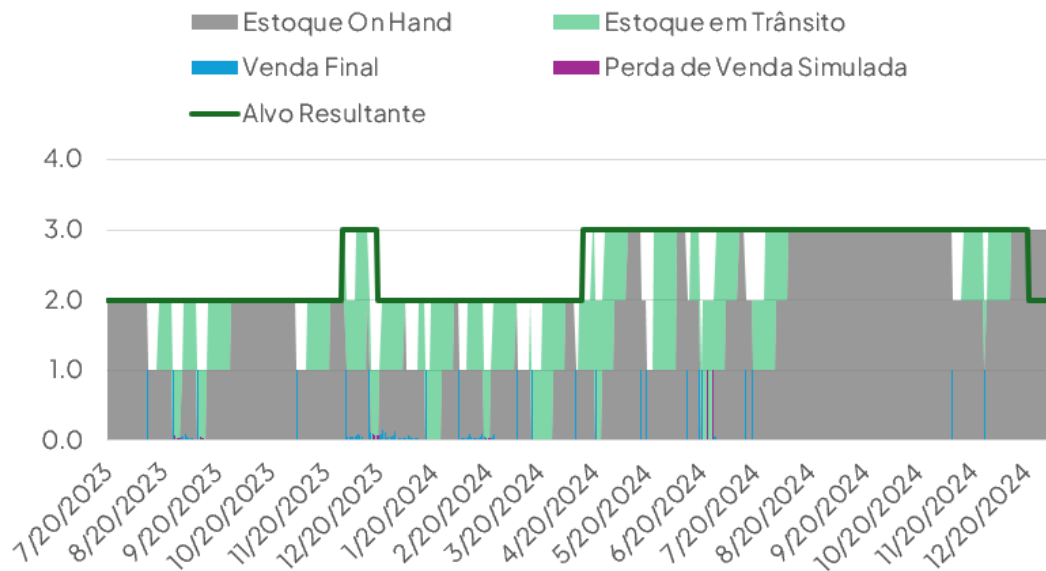
Figura 21: Comparativo entre o cenário real e os cenários simulados



Fonte: Autor.

Com o intuito de aprofundar esse entendimento, a Figura 22 apresenta o detalhamento do estoque simulado dia a dia.

Figura 22: Estoque simulado ao longo do período analisado



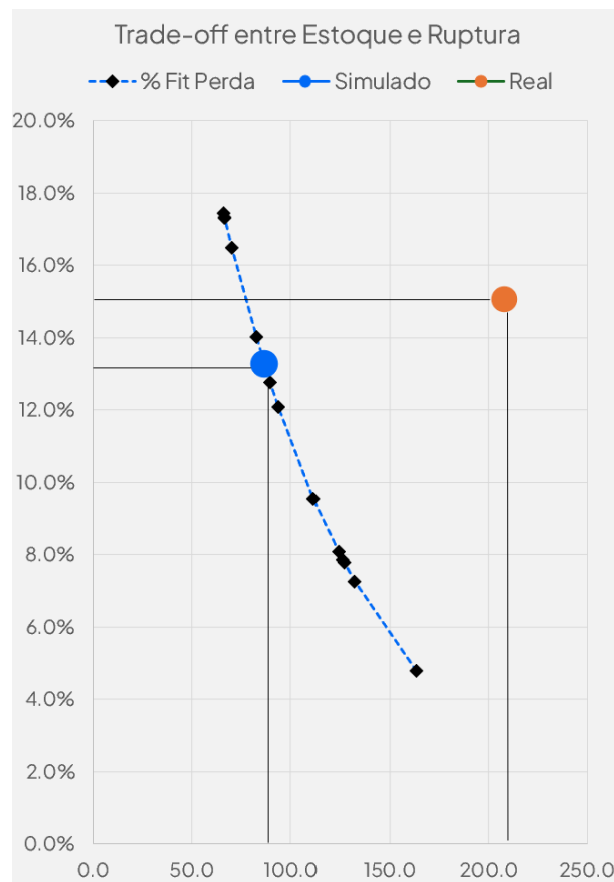
Fonte: Autor.

Embora a análise visual dos gráficos forneça uma compreensão inicial do comportamento dos estoques, ela pode levar a interpretações imprecisas. Para evitar conclusões subjetivas, recorre-se à *curva de trade-off* entre o nível de estoque e o nível de

perda de vendas, conforme demonstrado na Figura 23

A política atualmente praticada pela empresa apresenta um estoque marcado à um custo de R\$ 208,00 e um nível de ruptura de 15%. Entretanto, a simulação indica que seria possível alcançar um nível de ruptura de 13% com um estoque de apenas R\$ 86,70. Essa diferença evidencia que a empresa poderia reduzir significativamente seus custos de manutenção de estoque com a possibilidade de melhorar o nível de ruptura.

Figura 23: Curva de *trade-off* para nível de serviço de 85%



Fonte: Autor.

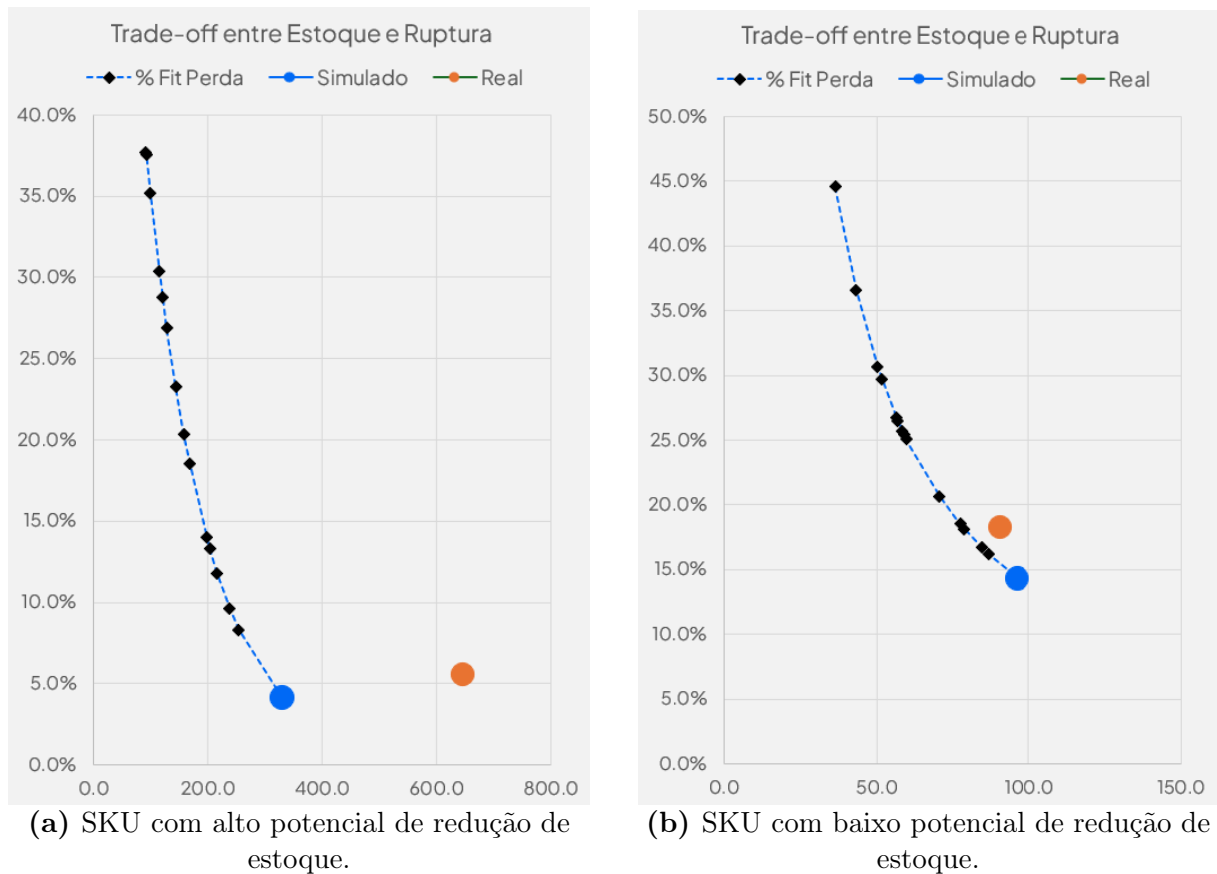
Portanto, é possível notar que para essa combinação de parâmetros a empresa poderia ter reduzido o seu nível de estoque sem perder mais vendas, na verdade isso poderia ter sido feito com um nível de ruptura ainda menor do que o que foi praticado.

4.2 Otimização do nível de serviço por combinação sku-loja

Embora o comportamento do exemplo analisado anteriormente já evidencie o potencial de otimização, diferentes combinações SKU–loja apresentam padrões distintos na relação entre estoque e ruptura. Para ilustrar essa variabilidade, a Figura 24 apresenta duas curvas de *trade-off* representativas de cenários contrastantes: um em que o potencial de redução de estoque é elevado e outro em que o ganho marginal é relativamente baixo.

No primeiro caso, pequenas variações no nível de serviço resultam em alterações significativas no nível de estoque, indicando que a política atual encontra-se distante da fronteira eficiente. No segundo caso, a curva apresenta baixo grau de sensibilidade, sugerindo que o nível de estoque praticado está mais próximo do ponto ótimo.

Figura 24: Curvas de *trade-off* para diferentes comportamentos SKU–loja



Fonte: Autor.

A definição do ponto ótimo utiliza o ponto observado na operação real da empresa como ponto de partida. A ruptura histórica constitui o limite máximo admissível para qualquer política de reposição recomendada. Dessa forma, a curva de *trade-off* é per-

corrida para identificar o par estoque–ruptura que opera exatamente na fronteira desse limite. Mais especificamente, seleciona-se, entre todos os cenários simulados, aquele que apresenta a maior ruptura possível que ainda seja menor (ou igual) à ruptura observada historicamente.

O nível de estoque correspondente a esse ponto representa o valor mínimo necessário para manter o desempenho operacional dentro do padrão atual da companhia. Ao operar no ponto imediatamente anterior à ruptura real, a empresa mantém o nível de serviço percebido pelo cliente e, simultaneamente, reduz o capital imobilizado.

Do ponto de vista formal, o nível ótimo de serviço n^* pode ser expresso como:

$$n^* = \arg \max_{n \in N} \{R(n) \mid R(n) \leq R_{\text{real}}\},$$

onde $R(n)$ corresponde à ruptura simulada e R_{real} à ruptura observada na operação histórica. O estoque ótimo é, então, dado por:

$$C^* = C_{\text{man}}(n^*).$$

A aplicação desse procedimento ao exemplo analisado evidencia que a política atual encontra-se deslocada para uma região de estoque excessivo, operando com níveis superiores aos necessários para manter o desempenho de ruptura. O método proposto, ao reposicionar o ponto de operação para a fronteira eficiente, proporciona uma redução significativa de estoque sem deteriorar a disponibilidade do produto.

4.3 Resultados consolidados e impacto financeiro

A partir da aplicação da regra de otimização descrita, torna-se possível estimar o impacto financeiro resultante da adoção das políticas de reposição otimizadas em toda a operação considerada neste estudo. Para o escopo de produtos analisado, a reposição no ponto ótimo resultou em um nível de estoque aproximadamente 19% menor do que o praticado historicamente.

Considerando que o estoque médio realizado na rede para esse conjunto de SKUs foi de 32.612 peças e que o custo médio unitário é de aproximadamente R\$ 60,00, a redução de 19% no nível de estoque corresponde a cerca de 6.196 peças a menos em estoque. Em termos monetários, isso representa uma diminuição da ordem de R\$ 371.760,00 em

capital imobilizado. Em termos gerenciais, tal redução permite não apenas aprimorar a eficiência financeira da operação, como também aumentar a uniformidade dos padrões de abastecimento entre lojas, mitigando oscilações de ruptura e evitando excessos.

Os resultados consolidados confirmam que a utilização de simulação para ajuste do nível de serviço e definição do ponto ótimo de estoque constitui uma ferramenta eficaz de suporte à decisão. O método proposto demonstra ser capaz de reduzir de forma significativa o capital imobilizado sem comprometer a experiência do cliente, reforçando seu potencial de aplicação em larga escala e sua contribuição para o aprimoramento da gestão de estoques da empresa.

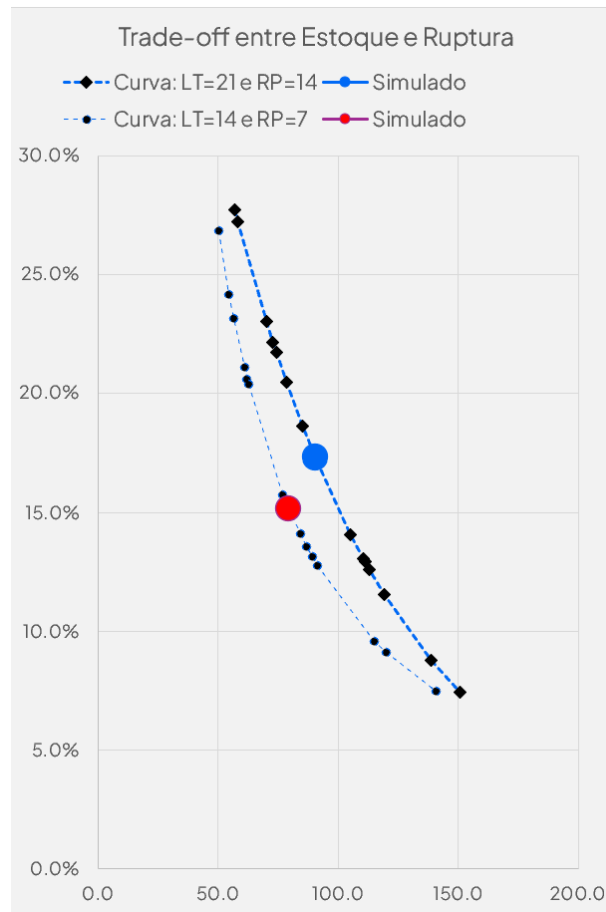
5 CONCLUSÃO

A consolidação dos resultados obtidos revelou um ganho expressivo de eficiência operacional. A adoção das políticas de reposição otimizadas sugeridas pelo modelo desenvolvido proporcionaria, para o conjunto de 64 SKUs contínuos analisados no conjunto de lojas em que esses produtos estão disponíveis, uma redução potencial de aproximadamente R\$ 371.760,00 no valor médio de estoques da empresa, sem comprometer o nível de serviço oferecido aos clientes.

Considerando que o portfólio de produtos contínuos da organização é composto por mais de 10 mil SKUs, caso o ganho médio percentual observado nesse piloto pudesse ser extrapolado para todo esse escopo, o impacto financeiro potencial seria da ordem de R\$ 58 milhões em capital imobilizado. Ainda que se trate de uma estimativa agregada, esse valor ilustra a relevância econômica da aplicação sistemática do modelo em larga escala. Tal resultado evidencia o potencial do simulador como ferramenta de apoio à tomada de decisão, capaz de equilibrar de forma quantitativa os custos de manutenção e as perdas decorrentes de rupturas de estoque.

Do ponto de vista de evolução futura, o modelo pode ser ampliado e aperfeiçoado em diferentes direções. Primeiramente, melhorias operacionais relacionadas à redução do *lead time* e do período de reposição poderiam deslocar a curva de *trade-off* para a esquerda, conforme ilustrado na Figura 25, permitindo alcançar o mesmo nível de serviço com estoques médios menores. Esse deslocamento indicaria ganhos estruturais de eficiência decorrentes de processos logísticos mais ágeis e sincronizados.

Figura 25: Curva de *trade-off* com diferentes lead-times e períodos de reposição



Fonte: Autor.

Adicionalmente, recomenda-se a migração do simulador para uma plataforma computacional em nuvem, com suporte a processamento em paralelo. Essa arquitetura permitiria a execução simultânea de milhares de combinações produto-loja, reduzindo drasticamente o tempo de processamento e ampliando a escalabilidade do modelo. Tal evolução tornaria possível incluir novos parâmetros de decisão, como custos de transporte, restrições de capacidade e priorização de canais de distribuição, conferindo maior robustez e aplicabilidade prática à ferramenta.

Assim, o presente trabalho não apenas alcança seu objetivo principal de avaliar o impacto financeiro de diferentes políticas de reposição de estoques, como também estabelece uma base metodológica sólida para pesquisas e aplicações futuras voltadas à otimização operacional e à transformação digital da gestão de estoques no varejo brasileiro.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 2006.

Banco Central do Brasil. **Séries Temporais – Taxa Selic**. 2025. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estatisticas/txjuros>>.

Banco Central Europeu. **Taxas de Juros de Operações Principais de Refinanciamento**. 2025. Disponível em: <https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/key_ecb_interest_rates/html/index.en.html>.

Banco do Japão. **Uncollateralized Overnight Call Rate**. 2025. Disponível em: <<https://www.boj.or.jp/en/statistics/boj/other/interest/enrate.htm>>.

BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J.; HARRELL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Tradução de: *System Improvement Using Simulation* (5th ed.). Revisão técnica: Raphael Ambrico. ISBN 978-85-352-7162-1.

CURVA ABC: origem, aplicação e importância. In: ANAIS do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe. Sergipe: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.simprod.ufs.br>>.

GREENWALD, B.; KAHN, J. **Competition Demystified: A Radically Simplified Approach to Business Strategy**. New York: Portfolio, 2005.

LAW, A. M. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2014.

Massachusetts Institute of Technology. **Supply Chain Analytics**. 2025. Online Course, edX. Disponível em: <<https://www.edx.org/learn/supply-chain-design/massachusetts-institute-of-technology-supply-chain-analytics>>.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019.

Reserva Federal dos Estados Unidos. **Federal Funds Effective Rate (FEDFUNDS)**. 2025. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS>>.