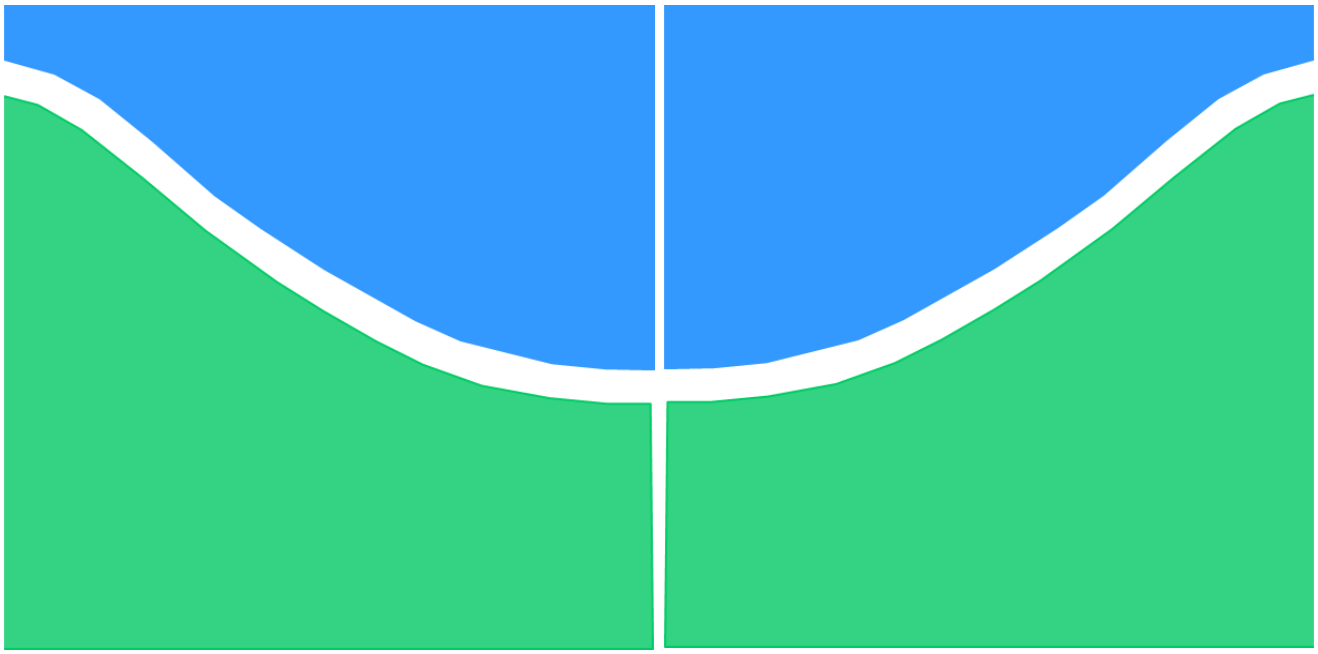


PROJETO DE GRADUAÇÃO

Otimização da Distribuição Logística: Um Modelo de Alocação de Demanda em rede farmacêutica varejista do Distrito Federal e entorno

Por,

ISAAC VERAS LIMA

Brasília, 3 de julho de 2025.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DEBRASILIA
Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA: UM MODELO DE ALOCAÇÃO DE DEMANDA EM REDE FARMACÊUTICA VAREJISTA DO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

Por,

ISAAC VERAS LIMA

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

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sérgio Ronaldo Granemann,
UnB/ EPR(Orientador) _____

Prof. Dr. Reinaldo Crispiniano Garcia,
UnB/EPR _____

Brasília, 3 de julho de 2025.

“A melhor maneira de prever o futuro é criá-lo”.

Peter Drucker (1909-2005) Escritor Austríaco

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais Maria de Fátima e Paulo, pelo apoio incondicional durante toda a minha jornada acadêmica, incentivo constante e por acreditarem no meu potencial. Vocês foram a base sólida que me sustentou até aqui, proporcionando-me educação, valores e forças para seguir em frente, mesmo diante de desafios. Obrigado por estarem sempre do meu lado, em todos os momentos da minha vida. A conquista desta etapa é dedicada a vocês.

Agradeço também aos meus irmãos Paulo Júnior e Diego pela paciência e suporte. Suas palavras de encorajamento e motivação foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar os objetivos. Ter vocês ao meu lado foi uma grande fonte de exemplo e determinação.

Aos meus amigos, sou imensamente grato pelo apoio e amizade ao longo desses anos. Vocês foram minha rede de suporte, trazendo leveza e alegria em todos os momentos. Obrigado por estarem sempre comigo, e por me ajudarem a chegar até aqui.

Aos colegas de trabalho que tive durante meu período de estágio e atuação profissional na empresa em questão, com os quais tive a valiosa oportunidade de aprender e compartilhar conhecimentos, sou grato pelo apoio, colaboração constante e ensinamentos que contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento profissional.

Aos professores do curso, agradeço profundamente pela dedicação, pelo comprometimento e pela transmissão de conhecimentos ao longo da minha formação, em especial ao professor Sérgio Ronaldo Granemann, meu orientador, cuja orientação e dedicação foram essenciais para a realização deste trabalho. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e por estar disponível para me guiar por esse processo.

Agradeço de coração, a cada um de vocês que contribuíram para a conclusão da graduação em Engenharia de Produção. Sem o apoio e a presença de todos, este momento não seria possível. Espero colocar todo meu conhecimento científico adquirido a serviço do bem estar e desenvolvimento da sociedade.

Isaac Veras Lima

RESUMO

O objetivo geral deste estudo foi propor um modelo de alocação de demanda entre centros de distribuição e pontos de venda em uma rede varejista de medicamentos do Distrito Federal e entorno. Essa relação é fundamental para o setor, onde a melhor alocação da rede por meio da redução de custos com o transporte contribui para a eficiência desta e a alavancagem do negócio em um setor competitivo. Para alcançar o objetivo proposto, foram delimitadas duas estratégias de distribuição por meio de um estudo quantitativo de caráter descritivo utilizando programação linear e programação binária. Os resultados obtidos mostraram vantagem competitiva em termos de custo de transporte, e consequentemente de distância, ao se adotar a estratégia de múltipla alocação.

Palavras – Chave: Modelo de alocação, varejo farmacêutico, centro de distribuição, programação linear, planejamento de rede logística.

ABSTRACT

The general objective of this study was to propose a demand allocation model between distribution centers and points of sale in a pharmaceutical retail chain in the Federal District and surrounding areas. This relationship is essential for the sector, where better allocation of the chain by reducing transportation costs contributes to its efficiency and to the leverage of the business in a competitive sector. To achieve the proposed objective, two distribution strategies were defined through a descriptive quantitative study using linear programming and binary programming. The results obtained showed a competitive advantage in terms of transportation costs, and consequently distance, when adopting the multiple allocation strategy.

Keywords: allocation model, pharmaceutical retail, distribution center, linear programming, logistics network planning.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....11
1.1CONTEXTUALIZAÇÃO.....11
1.2 JUSTIFICATIVA 12
1.3 OBJETIVOS.....13
1.3.1 OBJETIVO GERAL 13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
1.4 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA 14
1.5 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS 15
2. REFERENCIAL TEÓRICO 16
2.1 PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO 16
2.2 PROBLEMA DE P-MEDIANA 17
2.3 PROBLEMA DE CENTRO DE GRAVIDADE 18
2.4 PROBLEMA DE DESIGNAÇÃO QUADRÁTICA 18
2.5 PROBLEMA DE TRANSPORTE (PROGRAMAÇÃO LINEAR) 19
2.6 PROBLEMA DE DESIGNAÇÃO (PROGRAMAÇÃO BINÁRIA) 20
3. METODOLOGIA 22
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 22
3.1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 22
3.1.2 SELEÇÃO E DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO 24
3.1.3 COLETA DE DADOS 26
3.1.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 27
3.2 LIMITAÇÕES 28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 29
4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA 29
4.2 RESULTADOS 31
4.2.1 ESTRATÉGIA A 31
4.2.2 ESTRATÉGIA B 34
4.3 ANÁLISES 37
5. CONCLUSÃO 39

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41
APÊNDICES 45
APÊNDICE 1 – MATRIZ DE DISTÂNCIAS 45
APÊNDICE 2 – FILIAIS 46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo matemático do modelo da P-mediana 17
Figura 2 – Modelagem matemática do modelo do centro de gravidade 18
Figura 3 – Modelagem matemática do modelo de designação quadrática 19
Figura 4 – Matriz de transporte 20
Figura 5 – Função objetivo do problema de transporte 20
Figura 6 – Restrições do problema de transporte 20
Figura 7 – Modelagem clássica do problema de designação 21
Figura 8 – Etapas metodológicas 22
Figura 9 – Estratégia A de distribuição da rede 23
Figura 10 – Estratégia B de distribuição da rede 24
Figura 11 – Custo de transporte 25
Figura 12 – Custos fixos de transporte 25
Figura 13 – Variável de decisão 26
Figura 14 – Suplemento solver do Microsoft Excel 27
Figura 15 – Distribuição espacial dos pontos de venda e demanda 30
Figura 16 – Distribuição espacial ampliada dos pontos de venda e demanda mais próximos 30
Figura 17 – Distribuição espacial dos centros de distribuição e ofertas 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Centros de distribuição 31

Tabela 2 – Parâmetros da estratégia A 32

Tabela 3 – Restrições da estratégia A 33

Tabela 4 – Variáveis de decisão da estratégia A 34

Tabela 5 – Parâmetros da estratégia B 35

Tabela 6 – Restrições da estratégia B 36

Tabela 7 – Variáveis de decisão da estratégia B 37

Tabela 8 – Resumo comparativo de resultados das estratégias 38

LISTA DE SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CD – Centro de distribuição

DF – Distrito Federal

ERP – *Enterprise Resource Planning*

PIB – Produto Interno Bruto

PL – Programação linear

PLB – Programação linear binária

PO – Pesquisa operacional

RDC – Resolução de Diretoria Colegiada

RIDE-DF – Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SKU – *Stock keeping unit*

WHO – *World Health Organization*

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as considerações iniciais e gerais do trabalho, como a contextualização do tema estudado, problema de pesquisa, justificativa, objetivos gerais e específicos, metodologia e estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor farmacêutico desempenha um papel vital na economia brasileira, não apenas por garantir o acesso a medicamentos de qualidade, mas também por ser responsável por uma parcela significativa do PIB e por gerar milhares de empregos diretos e indiretos. De acordo com as informações da 7ª edição do Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico, o mercado brasileiro atingiu um faturamento de aproximadamente R$ 142,43 bilhões em 2023, representando um crescimento nominal de 8,53% em relação a 2022. Foram comercializadas 5,77 bilhões de embalagens, um aumento de 1,03% comparado ao ano anterior, abrangendo um total de 14.108 tipos de apresentações, ou seja, variações de forma, dosagem, concentração e tamanho dos medicamentos. (ANVISA, 2024).

Nesse contexto, a logística configura-se como essencial para garantir a eficiência operacional das empresas, assegurando a disponibilidade de produtos e a qualidade no atendimento ao cliente. Ela abrange desde a gestão de suprimentos até a entrega final, permitindo a otimização de recursos e a redução de custos. Empresas que investem em logística estruturada conquistam vantagem competitiva ao alinhar demanda e distribuição de forma estratégica (FILHO, 2012).

Com as mudanças recentes verificadas nas últimas décadas no mercado global, como a introdução de produtos genéricos, inovações tecnológicas e as novas exigências regulatórias, as empresas do setor farmacêutico buscam alcançar maior eficiência nos seus processos logísticos para se manterem competitivas no mercado, em um ambiente globalizado atual com cadeias produtivas integradas. Isso é fundamental para evitar problemas como custos elevados, desperdício de recursos e baixa produtividade, contribuindo assim para uma operação mais eficaz (SAMPAIO, 2010).

A cadeia de distribuição envolve a movimentação de produtos do fabricante ao consumidor, geralmente com um intermediário, como o varejista. O objetivo é garantir a entrega eficiente com o menor custo possível, equilibrando a qualidade do serviço e os gastos logísticos envolvidos no processo. A gestão moderna da cadeia de suprimentos prioriza a otimização sistêmica, que foca na redução de custos logísticos em vez de custos de produção. A distribuição física pode ocorrer via atacadistas, centros de distribuição ou diretamente ao varejo, com entrega no ponto de venda ou na casa do consumidor, dependendo do tipo de produto e do canal de compra (NOVAES, 2016).

Assim, na logística de distribuição uma decisão fundamental para uma rede logística é a de localização de centros de distribuição e de pontos de venda. Conforme Ribeiro (2002), a

Teoria da Localização Industrial, formulada por Alfred Weber (1909) afirma que a escolha do local ideal para a instalação de uma indústria depende, em grande parte, da minimização dos custos de transporte – tanto dos insumos quanto dos produtos acabados – bem como dos demais custos operacionais, como mão de obra e processamento. Essa decisão estratégica influencia diretamente a logística de distribuição, pois o posicionamento da fábrica em relação aos centros consumidores e às fontes de matéria-prima determina as distâncias que os produtos precisam percorrer, afetando, assim, o tempo de entrega e os custos logísticos.

No presente trabalho, o problema consiste em otimizar a rede logística de distribuição de produtos de uma empresa farmacêutica do Distrito Federal, considerando a alocação da demanda de 43 filiais a três centros de distribuição, respeitando as particularidades do estudo. Para enfrentar esse problema, propõe-se um modelo matemático baseado na análise de duas estratégias de alocação utilizando modelos de programação linear, de modo a identificar a configuração que minimiza os custos de transporte e maximiza a eficiência da distribuição, contribuindo para a competitividade da empresa analisada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Recentemente, a pandemia do novo coronavírus (Covid) provocou rupturas na cadeia de suprimentos de insumos de saúde, para abastecimento de hospitais, clínicas e consumidor final. Insumos importados tiveram seu abastecimento interrompido em indústrias locais, o que impactou no escoamento de produtos nacionais. Esse fenômeno disruptivo afetou principalmente as redes logísticas de setores da saúde no Brasil, incluindo o farmacêutico (SOARES, 2021).

O planejamento das redes logísticas constitui-se decerto em uma decisão estratégica fundamental que repercute em vários aspectos empresariais, como a política de estoques, a conexão com a cadeia de suprimentos, decisões sobre transporte e o grau de prontidão ao atendimento ao cliente. E um fator importante desse planejamento envolve decisões de localização das instalações.

Ballou (2006) aborda o problema de configuração da rede como a definição da estrutura pela qual os produtos serão distribuídos, desde os pontos de origem até os centros de demanda, em que o processo exige a determinação das instalações a serem utilizadas, a quantidade necessária, localização, produtos e clientes atendidos por cada uma, meios de transporte empregados, fluxos de produtos desde a origem até os clientes e os níveis de estoque mantidos em cada ponto da rede.

A escolha da técnica de configuração de rede depende do objetivo do estudo e da qualidade das informações disponíveis. A maioria das técnicas exige um grande volume de dados o que pode tornar a análise excessivamente complexa e até mesmo inviável, devido às limitações computacionais (FIUZA, 2003).

No contexto da localização de instalações, as decisões são de longo prazo, envolvem investimentos significativos e impactam diretamente na performance da empresa. Portanto, devem ser baseadas em análises alinhadas à estratégia organizacional.

Segundo Pizzolato (2012), os modelos quantitativos de localização podem ser classificados em três categorias principais. Os problemas de cobertura determinam os locais de instalação com base em um critério de peso atribuído às distâncias entre origem e destino. Os problemas centrais têm como objetivo minimizar a maior distância entre os clientes e as instalações, buscando a localização de p instalações em uma rede (p-centro). Já os problemas de p-mediana consistem na alocação de p instalações nos vértices de uma rede, de forma a minimizar a distância ponderada entre os clientes e o ponto de oferta. A análise é feita dentro da categoria de problemas de alocação.

De acordo com Klose (2005), as aplicações de modelos de localizações de instalações para sistemas de distribuição possuem uma ampla área de aplicação para os quais podem ser estendidos, desde análise de cluster, seleção de fornecedores, localização de bancos de dados em computadores e, também, projetos de redes de telecomunicações. Isso demostra a aplicabilidade destes modelos.

Silva (2023) analisou estratégias de abastecimento para um varejista de materiais de construção com base em programação matemática, na minimização dos custos logísticos, em que a estratégia de redistribuição de produtos entre as lojas tornou a malha logística mais flexível.

Diante dessa questão, pode-se resumir o problema de pesquisa na seguinte pergunta: Qual método de alocação de demanda permitiria otimizar uma rede de distribuição de medicamentos em função dos custos de transporte mínimos?

A relevância do tema se justifica pela necessidade de se avaliar se o sistema logístico de distribuição de medicamentos da empresa estudada é capaz de atender de forma eficiente aos pontos de venda, de forma a reduzir custos de transporte. Dessa forma, os possíveis impactos alcançados podem refletir no grau de disponibilidade de medicamentos ao consumidor final, elevando o nível de serviço e resultando em uma distribuição mais ágil, evitando assim vendas perdidas, perdas operacionais e desperdícios ao longo do processo de distribuição.

Com a otimização da alocação da demanda, o sistema logístico poderá responder de forma mais eficaz às variações do mercado, promovendo assim uma operação mais resiliente, o que é fundamental para a competitividade e a sustentabilidade do negócio no setor varejista.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de alocação de demanda entre centros de distribuição e pontos de venda.

1.3.2 Objetivos específicos

1) Identificar os modelos mais utilizados de alocação de demanda na literatura.

2) Simular soluções alternativas de configuração da rede logística de distribuição de medicamentos.

3) Identificar e calcular os custos de transporte envolvidos para cada alternativa simulada.

1.4 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA

Segundo Severino (2017), a pesquisa científica se desenvolve por meio da aplicação de técnicas, do uso de um método estruturado e do fundamento epistemológico. Esses elementos são comuns a qualquer processo de construção do conhecimento e estão presentes em todas as atividades de pesquisa.

Tendo em vista estes aspectos, a pesquisa possui natureza aplicada, visto que pretende gerar conhecimentos voltados a aplicação prática pela solução de problemas específicos (GIL, 2006).

O problema foi abordado como quantitativo, pois para mensurar os fenômenos estudados por meio de uma análise dos fatos por meio de um raciocínio com a lógica dedutiva e estabelece relações de causalidade por testá-los matematicamente por quantificação. (PROETTI, 2017).

Do ponto de vista dos objetivos, classifica-se como pesquisa exploratória, pois busca levantar informações sobre o objeto de estudo, levantando suas condições, características e particularidades. (SEVERINO, 2017).

Os passos metodológicos necessários para atingir os objetivos e responder à questão de pesquisa são os seguintes:

1) Revisão bibliográfica do estado da arte da configuração das redes logísticas e das cadeias de distribuição de medicamentos. Também será feita a revisão dos modelos de otimização.
2) Identificar a estrutura da cadeia logística atual e da alocação de demanda de uma organização de distribuição de medicamentos.
3) Desenhar com o auxílio de um sistema de informações geográficas a configuração da cadeia de distribuição atual da organização.
4) Levantar as informações de custos de transporte da organização a ser estudada.
5) Propor cenários simulados de alocação de demanda para a organização em questão.
6) Desenvolver modelo de otimização para a alocação de demanda na distribuição de medicamentos, com base no modelo matemático de Programação Linear (PL) e Programação Linear Binária (PLB).

7) Aplicar o modelo desenvolvido para diferentes configurações de alocação da demanda.
8) Calcular os custos das diferentes alternativas de redes e identificar a rede ideal otimizada.

O detalhamento referente a metodologia utilizada será feito no capítulo 3, de procedimentos metodológicos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos que contemplam toda a análise acerca do tema abordado, sua aplicação no estudo de caso e suas implicações.

I. O primeiro capítulo trata da introdução do trabalho, e contém a contextualização do tema, o problema de pesquisa, justificativa e objetivos.
II. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico sobre os modelos de alocação de demanda, sobre distribuição de medicamentos e sobre as estruturas de redes de distribuição existentes.
III. O terceiro capítulo aborda o desenvolvimento/identificação do modelo teórico para definir a alocação da demanda em uma cadeia de distribuição de medicamentos, estabelecendo o modelo matemático, as restrições e as diferentes estruturas de cadeias de distribuição alternativas.
IV. O quarto capítulo consiste na aplicação do modelo desenvolvido para testar a configuração ideal para a cadeia logística de distribuição da organização a ser estudada.
V. O quinto capítulo discorre acerca das conclusões obtidas, limitações e recomendações para desdobramentos de futuros trabalhos acadêmicos.

CAPÍTULO 2: REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo constitui a base conceitual que apoia a pesquisa, contendo os fundamentos necessários para a compreensão e análise do tema proposto.

2.1 PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO

Com a expansão da infraestrutura logística dos mercados no século XX e as crises do sistema de produção em massa, teorias acerca da localização de instalações no contexto da logística começaram a emergir como uma forma de melhorar a eficiência da distribuição de produtos.

Diante da necessidade crescente de suprir os mercados e manter integrado a produção com o abastecimento, pesquisadores se viram diante do problema de localização como decidir acerca onde localizar facilidades, sejam estas fábricas, centros de distribuição, terminais de transbordo, que atendem a pontos de demanda, clientes ou pontos de venda, em uma rede logística estabelecida (JÚNIOR, 2016).

Alfred Weber inicia assim a aprofundar os estudos nessa linha de pesquisa industrial, e formula a Teoria da Localização, em 1909, em que define o conceito de fator locacional como uma economia de custos que a empresa obtém ao escolher uma localização, e a partir deste a localização ótima é a que proporciona os menores custos de transporte. (CLEMENTE e COSENZA, 2002).

Tendo por base o trabalho pioneiro de Weber, e devido a importância do tema, outros estudos surgiram, como Lösch em 1939, Hoover em 1957 e Hakimi em 1964. Cada um aborda o problema sob diferentes perspectivas, contribuindo para uma compreensão mais abrangente nos diferentes contextos.

No que tange às classificações destes problemas, estas são variadas, de acordo com suas características agregadoras na tomada de decisão, porém destaca-se a de Ballou (2006), que utiliza as seguintes categorias: 1) por força direcionadora; 2) número de instalações; 3) descontinuidade das escolhas; 4) grau de agregação de dados; 5) horizonte de tempo.

Quanto ao número de instalações, Silva (2004) os classifica em problemas de única instalação ou de múltiplas instalações, a depender da quantidade de instalações selecionadas para atender a demanda de um dado mercado.

Oliveira (2012) classifica os problemas de acordo com o grau de divisão do espaço representativo como modelos contínuos ou discretos. Os modelos contínuos são tratados de forma que qualquer ponto do espaço pode ser uma facilidade potencial. Por sua vez, os modelos discretos consideram um número limitado de pontos candidatos a facilidade, dispostos em uma rede.

Ballou (2006) afirma que as decisões logísticas exigem a análise de *trade-offs* para maior assertividade, visto que nas redes logísticas interligadas, uma decisão de uma empresa pode afetar as demais na cadeia de suprimentos. Os principais *trade-offs* envolvem estratégias

de estocagem, transporte e localização, sendo que esta última engloba questões de demarcação de demandas a pontos de estocagem.

2.2 PROBLEMA DE P-MEDIANA

O problema das p-medianas é um dos modelos mais estudados e utilizados na área de problemas de localização de instalações. A partir da definição da localização ideal de p facilidades em uma rede formada por n nós, o método busca minimizar a soma das distâncias entre cada ponto de demanda e sua instalação mais próxima. (SENNE, 2003).

O modelo recorre a programação linear inteira, de Pesquisa Operacional, para obter a distância mínima da rede, satisfazendo as restrições de que cada cliente é atendido por uma única facilidade.

A Figura 1 a seguir mostra a representação matemática desse modelo, conforme Lorena (2001):

Figura 1 – Modelo matemático da P-mediana

$$v(P) = \textbf{Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij}x_{ij}$$

$$P \text{ sujeito a: } \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad \forall i \in N$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{jj} = p$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}, \qquad \forall i, j \in N, i \neq j$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \qquad \forall i, j \in N$$

Fonte: LORENA et al (2001)

Em que:

N = {1, ..., n}, em que n é o número de vértices (clientes) da rede;

p é o número de medianas a serem localizadas;

[dij] n × n é uma matriz de distâncias, em que djj = 0, ∀j ∈ N;

[xij] n × n é a matriz de decisão entre a alocação dos clientes (i) com as facilidades (j)

Este modelo não é aplicável ao estudo em questão, pois a localização dos centros de distribuição já está definida.

2.3 PROBLEMAS DE CENTRO DE GRAVIDADE

O modelo do centro de gravidade é utilizado para definir a melhor localização para uma instalação dentro de uma rede existente. Para isso, leva em conta a posição das instalações atuais, os fluxos de bens ou serviços e os custos logísticos. O objetivo deste método é minimizar a distância total ponderada entre a nova instalação e as demais, de forma a reduzir os custos de transporte. (MOREIRA, 2008).

As coordenadas da localização desejada são dadas pelas coordenadas do centro de gravidade.

A Figura 2 representa a modelagem matemática do método do centro de gravidade, conforme Moreira (2008):

Figura 2 – Modelo matemático do centro de gravidade

$$Gx = \frac{\sum Dx.\ P.\ C}{\sum P.\ C} \qquad Gy = \frac{\sum Dy.\ P.\ C}{\sum P.\ C}$$

Onde:

Dx: Coordenada Horizontal da Instalação ou Mercado.

Dy: Coordenada Vertical da Instalação ou Mercado.

P: Custo de Transportes na Direção da Instalação ou Mercado.

C: Volume Transportado de/para a Instalação ou Mercado.

Fonte: Moreira (2008)

Da mesma forma que o modelo anterior, este não se aplica ao estudo em questão devido a localização dos centros de distribuição estar definida a priori.

2.4 PROBLEMAS DE DESIGNAÇÃO QUADRÁTICA

O problema de designação quadrática ou alocação quadrática, descrito por Koopmans em 1955 é um dos mais explorados na literatura, inicialmente relacionado a atividades econômicas. Consiste na alocação de n instalações para n locais, de forma que cada instalação seja alocada em apenas um local para minimizar o custo do produto do fluxo e as distâncias. (OLIVEIRA, 2015).

A modelagem matemática para este problema utiliza-se da programação linear inteira, em que a variável de decisão assume apenas valores inteiros.

A Figura 3 mostra a modelagem matemática desse modelo:

Figura 3 – Modelo matemático de designação quadrática

$$\min \sum_{i,j=1}^{n} \sum_{k,p=1}^{n} f_{ij} d_{kp} x_{ik} x_{jp} \qquad (1)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad 1 \leq j \leq n, \qquad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad 1 \leq i \leq n, \qquad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad 1 \leq i,j \leq n. \qquad (4)$$

Fonte: Oliveira et al (2015)

Em que: f_{ij} é o fluxo entre as instalações i e j; d_{kp} a distância entre os locais k e p.

O problema de designação quadrática não se adequa ao estudo proposto visto que este se trata de uma designação entre quantidades iguais de instalações e locais, diferente da alocação desigual da quantidade de instalações e locais em questão.

2.5 PROBLEMA DE TRANSPORTE (PROGRAMAÇÃO LINEAR)

Os problemas de transporte é uma das ferramentas mais importantes da área de Pesquisa Operacional (PO), que consiste na utilização de modelos matemáticos para a tomada de decisões nas organizações. A modelagem é a representação simplificada de um sistema real, visando otimizar uma função objetivo através dos valores das variáveis e sujeita a restrições (FÁVERO, 2008)

Moreira (2008) define o problema de transporte como a situação em que n fontes despachantes de mercadorias enviam estas para as m destinações, baseado nas capacidades das fontes (ofertas) e as necessidades dos destinos (demandas). Também é conhecido os custos de envio unitário entre as fontes e os destinos. Dessa forma, objetiva-se saber quanto será enviado visando minimizar o custo total de transporte.

A matriz de transporte representa o problema de transporte, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Matriz de transporte

		DESTINAÇÕES					
		D_1	D_2	D_3	...	D_m	Capacidade
FONTES	F_1	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	$C_{1,3}$	...	$C_{1,m}$	c_1
	F_2	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	$C_{2,3}$	...	$C_{2,m}$	c_2
	F_3	$C_{3,1}$	$C_{3,2}$	$C_{3,3}$	...	$C_{3,m}$	c_3
	...	...	...	...	...	...	...
	F_n	$C_{n,1}$	$C_{n,2}$	$C_{n,3}$	...	$C_{n,m}$	c_n
	Demanda	d_1	d_2	d_3	...	d_m	

Fonte: Moreira (2008)

Na matriz, Fi representa as fontes, Dj as destinações, Cij (células) o custo unitário de transportar a mercadoria da fonte i para a destinação j, Dm as demandas individuais das destinações e Cn as capacidades das fontes.

O objetivo desse problema é minimizar por meio da programação linear a função objetivo de custo total dada pelo produto dos custos unitários e as quantidades alocadas entre cada fonte e destinação, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Função objetivo do problema de transporte

$$\sum_{i} \sum_{j} C_{i,j} X_{i,j}$$

Fonte: Moreira (2008)

As restrições são relativas ao atendimento das demandas das destinações e das ofertas das fontes. A Figura 6 mostra as restrições desse modelo.

Figura 6 – Restrições do problema de transporte

$$\sum_{i=1}^{n} X_{i,j} = d_j \qquad \sum_{j=1}^{m} X_{i,j} = c_i$$

Fonte: Moreira (2008)

Essa condição é tida como balanceada e pode ser relaxada no caso em que a capacidade total é maior que a demanda total.

2.6 PROBLEMA DE DESIGNAÇÃO (PROGRAMAÇÃO BINÁRIA)

A programação linear binária (PLB) é tida como uma extensão da programação linear, em que as variáveis de decisão assumem valores discretos e binários, diferentemente da programação linear em que as variáveis de decisão podem ser inteiras não binárias.

A PLB é descrita muitas vezes na literatura pelo problema clássico de designação de tarefas, no formato de i tarefas a m máquinas, mas que se estende ao amplo escopo de situações em que o modelo pode ser aplicado, como no caso da alocação única entre CDs e filiais estudado. A Figura 7 examina as características desse problema.

Figura 7 – Modelagem clássica do problema de designação

Parâmetros do modelo:

c_{ij} = custo de designar uma tarefa i a uma máquina j, $i = 1,..., m$; $j = 1,..., m$

Variáveis de decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } i \text{ é designada à máquina } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Formulação geral:

$$\min z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, \qquad i = 1, 2, \ldots, m \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \qquad j = 1, 2, \ldots, m \qquad (2)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1, \quad i = 1, 2, \ldots, m, \quad j = 1, 2, \ldots, m \qquad (3)$$

Fonte: Fávero et al (2012)

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

Este capítulo apresenta detalhadamente os procedimentos adotados para resolução do problema proposto

O presente estudo trata da seleção de estratégias de otimização da rede de distribuição de medicamentos termolábeis, baseado no critério de custo de transporte, visando à uma proposta de melhoria da eficiência logística e a garantia de atendimento do nível de serviço da operação.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para se obter os objetivos estipulados no trabalho, etapas metodológicas foram seguidas. Estas estão representadas no fluxograma abaixo da Figura 8 e serão detalhadas a seguir:

Figura 8 – Etapas metodológicas



Fonte: Autor (2025)

3.1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O primeiro passo da metodologia consiste na definição do problema. Inicialmente, o problema foi delimitado pela análise de estratégias a partir do processo logístico de distribuição de medicamentos termolábeis em uma rede varejista farmacêutica, na qual 3 centros de distribuição (CDs) atendem a 43 pontos de venda, chamados de filiais. Um ponto de venda em específico foi desconsiderado no estudo por comercializar outras variedades de produtos, que não incluem o objeto analisado.

A demanda foi considerada baseada na venda média dos produtos em cada ponto de venda e a oferta no estoque médio dos centros de distribuição, por entregas de fornecedores.

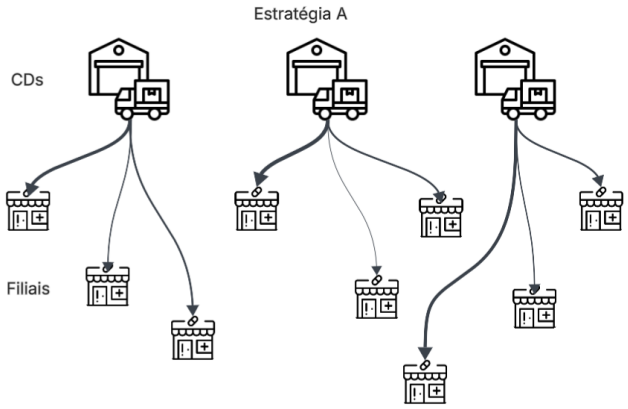
O problema real envolve diferentes variáveis e várias incertezas, o que torna inviável representá-lo integralmente em um modelo matemático efetivo computacionalmente. Entretanto, apesar das simplificações e abstrações, os fatores mais relevantes que impactam na operação de alocação logística de transporte foram mantidos na solução proposta, como as distâncias e volumes demandados, que validam sua funcionalidade como apoio gerencial.

Com base na disponibilidade de dados e nas particularidades do contexto em questão, foram elaboradas e avaliadas duas estratégias possíveis de serem adotadas.

A primeira estratégia, “A”, considera que cada CD atende a um conjunto de filiais, em que cada filial é atendida por apenas um centro de distribuição. Isso visa reduzir riscos operacionais, com melhor planejamento de rotas e operações e controle maior de custos.

A Figura 9 ilustra a estratégia A, em que a intensidade de cada relação representa a demanda suprida:

Figura 9 – Estratégia A de distribuição na rede



Fonte: Autor (2025)

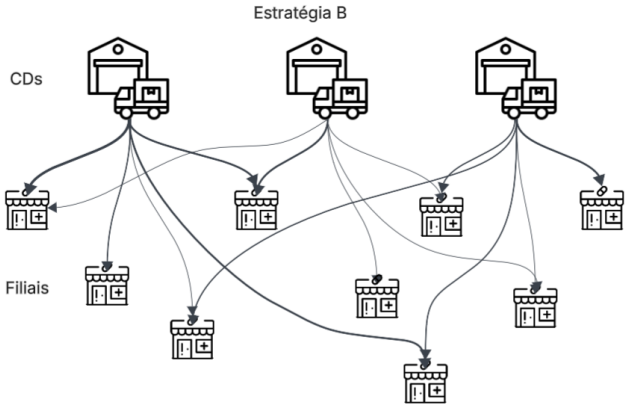
Segundo Huang (2005), a estratégia de fornecimento único consiste em atribuir toda a demanda de um cliente a uma única unidade de produção, reduzindo a complexidade operacional e de gestão. Essa abordagem de alocação exclusiva, é comum em ambientes onde se busca simplicidade na integração de sistemas e controle centralizado de distribuição.

Essa estratégia pressupõe a formação de níveis de estoques de segurança suficientes para suprir eventuais variações da demanda das filiais, o que implica em custos de estoque relativamente maiores comparados à estratégia B.

A segunda estratégia, “B”, considera que não há relação exclusiva entre os CDs e as filiais, em que uma mesma filial pode ser atendida por diferentes centros de distribuição, conforme a conveniência operacional e as restrições de capacidade de oferta de cada um dos CDs. Assim, é possível oferecer maior flexibilidade no atendimento a demandas específicas pontuais e buscar melhor aproveitamento da capacidade disponível na rede, apesar de aumentar o risco operacional.

A Figura 10 ilustra a estratégia B, em que da mesma forma a demanda suprida é representada pela intensidade de cada relação:

Figura 10 – Estratégia B de distribuição da rede



Fonte: Autor (2025)

Conforme Catalán (2012), a estratégia de *split order* consiste em suprir um pedido de um varejista via múltiplos centros de distribuição. Isso ocorre, por exemplo, quando nenhum CD isolado possui todo o estoque necessário para atender aos pedidos.

Cada estratégia de distribuição leva em conta vantagens e desvantagens específicas, cabendo, portanto, ao modelo proposto indicar qual delas sobressai em termos de otimização dos custos de transporte no contexto da rede em questão.

3.1.2 SELEÇÃO E DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO

Com a definição do problema feita, o modelo a ser aplicado foi selecionado e detalhado. A especificidade de cada caso dificulta generalizar uma solução para os vários tipos de problema. Diferentes métodos ou combinações entre si para avaliação e seleção de fornecedores, o que se estende aos centros de distribuição, considerando seu papel na cadeia de suprimentos, são válidos desde que atendam às necessidades de cada problema. Portanto, cabe ao pesquisador avaliar a abordagem que mais se adequa ao cenário de estudo. (HASSANZADEH, 2016).

Com base nos modelos estudados na literatura, pôde-se identificar aquele que melhor respondia ao problema proposto: optou-se pelo de programação linear binária para a estratégia A e o de programação linear para a estratégia B, com posterior análise comparativa.

A estratégia A é descrita pela programação binária, uma vez que se trata da escolha de designar ou não um ponto de venda ao atendimento por um CD, escolha essa de forma binária, com as restrições impostas de oferta e demanda.

E a estratégia B é descrita pela programação linear inteira, uma vez que esta opção considera o atendimento de um ponto de venda a partir de um ou mais CDs, e a variável de decisão no caso é a parcela da demanda que é transportada entre cada elo. O que diferencia um modelo de outro são as restrições cabíveis.

A minimização dos custos de transporte, critério fundamental na escolha do modelo, é essencial para a organizações direcionarem esforços estratégicos para o atingimento da meta econômica (SIMÃO, 2015).

A formulação matemática adotada segue os conceitos apresentados por Borba (2010), que distingue no custo de transporte os custos associados a parcela variável com a quantidade transportada, distância e tarifa e a parcela fixa, referente a custos com a manutenção do veículo e da remuneração da mão de obra.

O custo de transporte foi definido conforme a Figura 11, como a soma de sua contribuição variável e fixa, para cada par de alocação da filial i para o CD j.

Figura 11 - Custo de transporte

$$C_t = \sum_{i=1}^{43} \sum_{j=1}^{3} Q_{ij} \cdot D_{ij} \cdot T + M_v + R_m$$

em que:

- C_t: custo de transporte;
- Q_{ij}: quantidade de produto transportada do ponto de venda i para o centro de distribuição j (demanda);
- D_{ij}: distância entre o ponto de venda i e o centro de distribuição j (km);
- T: tarifa de transporte (R$/kg·km);
- M_v: custo com a manutenção do(s) veículo(s);
- R_m: custo com a remuneração da mão de obra.

Fonte: Adaptado de Borba (2010)

Considerou-se que os veículos dispõem de capacidade volumétrica suficiente para atender a todas as entregas previstas, de modo que o volume ocupado pelas cargas não foi tratado como restrição no modelo. A tarifa de transporte adotada é unitária (R$1/kg.km) e os custos fixos, de manutenção e remuneração foram estimados de forma mensal, considerando os valores da Figura 12.

Figura 12 – Custos fixos de transporte

Custo de manutenção (R$/mês)					
Veículos	tipo	marca	modelo	custo anual com manutenção	custo mensal
3	caminhão médio porte	**Volkswagen**	**Delivery 11.180**	R$ 10.000,00	R$ 833,33

Remuneração mão-de-obra (R$/mês)			
Salário do motorista	Motoristas necessários	Salário do ajudante	Ajudantes necessários
R$ 2.000,00	3	R$ 1.600,00	3

Custos fixos	Custo de manutenção (R$/mês)	Remuneração mão-de-obra (R$/mês)	Custo Fixo total
	R$ 833,33	R$ 10.800,00	R$ 11.633,33

Fonte: Autor (2025)

Considerando que a equação da Figura 11 reflete de forma geral o custo de transporte, é necessário o detalhamento do termo da variável de decisão para representar a decisão de

alocação ou não na estratégia A e o quanto de cada demanda é suprida por cada CD na estratégia B. Dessa forma, a Figura 13 representa a definição da variável de decisão para cada caso:

Figura 13 – Variável de decisão

Estratégia A (alocação binária):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o ponto de venda } i \text{ for totalmente alocado ao CD } j; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Estratégia B (alocação proporcional):

$$x_{ij} = Q_{ij}$$

em que:

- Q_{ij} = quantidade da demanda do ponto de venda i atendida pelo CD j;

Fonte: Autor (2025)

A princípio outros fatores contribuem com o custo logístico, como o de estoque, armazenagem, processamento de pedidos, administrativos e de demanda não atendida, porém tendo vista os objetivos do trabalho, o custo de transporte já permite definir a melhor alocação estudada.

3.1.3 COLETA DE DADOS

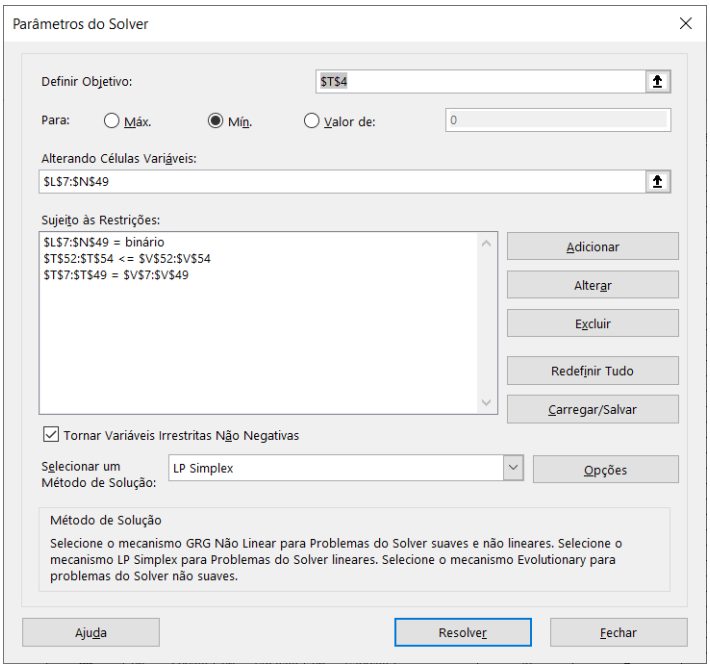
Seguindo as considerações do modelo apresentadas, a coleta de dados do trabalho foi obtida quantitativamente através do suporte do sistema de gestão integrada (EPR), referente aos parâmetros do modelo proposto, como o dimensionamento das demandas dos pontos de venda, capacidades dos centros de distribuição, distâncias entre os pontos de venda e os CDs e custos estimados para o transporte.

Inicialmente foram compilados dados referentes as localizações de todos os pontos estudados. Em seguida, foi elaborada uma matriz de distâncias (em km) entre cada ponto e os CDs. Após isso, foram detalhados os custos de transporte e suas parcelas relativas a cada par i-j, da filial i ao CD j. Com essas informações foram delimitadas as duas estratégias no formato do modelo utilizado.

As informações coletadas foram organizadas e tratadas em planilha do software Microsoft Excel, com o uso do suplemento solver para obtenção das soluções ótimas do cenário para cada estratégia elencada, com base nos modelos matemáticos desenvolvidos.

A Figura 14 ilustra a tela dos parâmetros do solver utilizados na estratégia A.

Figura 14 – Suplemento solver do Microsoft Excel



Fonte: Autor (2025)

Como visto, a equação da Figura 11 é a função objetivo que se busca minimizar, dado por uma parcela fixa mensal e outra variável com a distância. O que muda de uma estratégia para outra é a variável de decisão, vide Figura 12, de se alocar um ponto de venda a um CD na estratégia A e a quantidade de produtos termolábeis transportada entre estes na estratégia B. As restrições são relativas aos limites de que cada ponto de venda seja abastecido com no mínimo sua demanda, que as quantidades demandadas de cada CD não excedam a capacidade máxima disponível e de domínio das variáveis de restrição.

Em ambos os casos a opção de tornar as variáveis irrestritas não negativas foi selecionada, para reforçar que os valores obtidos nas variáveis de decisão serão positivos, na designação em A e nas quantidades alocadas em B. Da mesma forma, o método de solução acionado é o LP Simplex, que tem uma boa aplicabilidade prática ao investigar as soluções lineares no extremo da região imposta pelas restrições (ZARDINI, 2024).

Ressalta-se que, em razão da natureza sensível das informações, os dados utilizados no desenvolvimento do modelo foram descritos de forma agregada, com a omissão dos valores específicos, sem prejuízo à validade do modelo e das análises realizadas. No trabalho, são apresentados apenas os valores estritamente necessários para a resolução do modelo proposto.

3.1.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos em cada estratégia, foi possível analisá-los e compará-los em termos do custo, distância percorrida e taxa de ocupação dos CDs, para se identificar, das duas estratégias, a que melhor se aplica no cenário em questão.

3.2 LIMITAÇÕES

Constituem limitações do método de resolução utilizado as hipóteses relativas ao espaço temporal dos dados obtidos, o escopo do problema restrito a uma parte do portfólio de produtos comercializados, a acuracidade dos dados obtidos no ambiente real em que o sistema se insere e a incerteza da demanda e da oferta. Além disso, outra limitação refere-se ao limite do software Microsoft Excel, no módulo solver, que é capaz de processar até 200 variáveis de decisão e 200 restrições.

O modelo não contempla fatores subjetivos ou qualitativos, como culturais ou organizacionais, que podem ter influência sobre o fenômeno estudado, mas que não impactam significativamente nas conclusões obtidas.

Constituem limitações do trabalho a impossibilidade de divulgação dos dados brutos em sua totalidade utilizados, devido a questões de confidencialidade com a empresa fornecedora. Ainda assim, os resultados apresentados foram obtidos a partir de dados aproximados e estimados, com fins exclusivamente acadêmicos, devidamente tratados segundo os procedimentos metodológicos descritos e o modelo aplicado.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo trata dos resultados do modelo proposto nas duas estratégias formuladas, visando a configuração ideal da rede analisada

4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa em questão, de médio porte, possuí uma grande capilaridade no mercado farmacêutico do Distrito Federal, abrangendo áreas da região do Entorno de Goiás na região integrada de desenvolvimento da RIDE-DF. A organização trabalha com a comercialização de produtos farmacêuticos principalmente, mas também de não farmacêuticos, como itens de higiene pessoal, cosméticos e dermocosméticos, infantis, bomboniere e utilidades para o lar. A rede logística possui 43 pontos de venda e três centros de distribuição.

O objeto desse estudo trata dos produtos termolábeis, que são definidos pela Resolução RDC N°304 da ANVISA (2019) como medicamentos cuja especificação de temperatura máxima seja igual ou inferior a 8°C, que trata de diretrizes de boas práticas de armazenamento, transporte, recebimento e expedição desta classe de medicamentos

Segundo a referida resolução, deve-se minimizar a exposição à temperatura ambiente nas operações envolvidas na distribuição na rede, com o monitoramento e controle térmico e minimização de riscos de falhas de energia ou de equipamentos. Tais medidas são necessárias para padronizar processos logísticos e garantir a entrega desses medicamentos em condições adequadas ao uso.

Esta classe de medicamentos abrange vários medicamentos, como hipoglicemiantes, antibióticos, anti-inflamatórios oftálmicos, insulina e vacinas, o que mostra sua importância para a manutenção da saúde em diferentes contextos clínicos.

De acordo com Sartore (2024), recentemente tem-se notado um aumento significativo da busca por medicamentos hipoglicemiantes devido ao uso *off-label* para tratamento da obesidade, o que evidencia o papel da logística para assegurar a disponibilidade de oferta ao mercado consumidor no nível de serviço satisfatório. No entanto, ressalta-se que a compra desses medicamentos deve ser realizada sob prescrição médica, garantindo a segurança e eficácia do tratamento pretendido.

Os termolábeis em estudo totalizam 51 SKUs distintos (unidade de manutenção de estoques), como diferentes variações de produtos, porém agregados em virtude de simplificação do modelo e por apresentarem características comuns de armazenamento e relativamente próximas em termos de cubagem, da ordem de 10 cm^3 no caso de vacinas, segundo a OMS (2017). Esses produtos são geralmente transportados em caixas de isopor, por ser um material isolante à temperatura e os produtos somente são aceitos no destino se a temperatura estiver dentro dos limites estabelecidos e com a documentação fiscal.

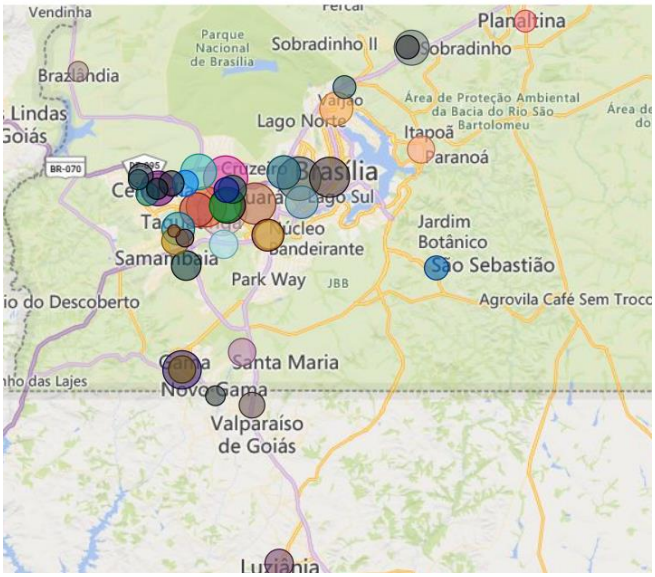
A demanda pela classe de produtos analisada foi modelada no período mensal para cada filial, baseado no histórico de vendas de três meses consecutivos do ano vigente, visando um

valor mais uniforme, representativo e menos sujeito a oscilações sazonais da demanda. Por sua vez, a oferta foi baseada no valor médio de estoque nos CDs em três meses consecutivos.

Para facilitar o entendimento da abrangência geográfica da operação logística, apresenta-se a seguir a distribuição espacial da rede logística, evidenciando que a disposição espacial dessas unidades permite avaliar a eficiência logística e o potencial de atendimento aos clientes de diferentes regiões.

A Figura 15 ilustra a distribuição dos pontos de venda, utilizando o software Microsoft Power BI, que possui integração com o Sistema de Informação Geográfica (SIG). As bolhas no mapa representam proporcionalmente a demanda de cada ponto de venda.

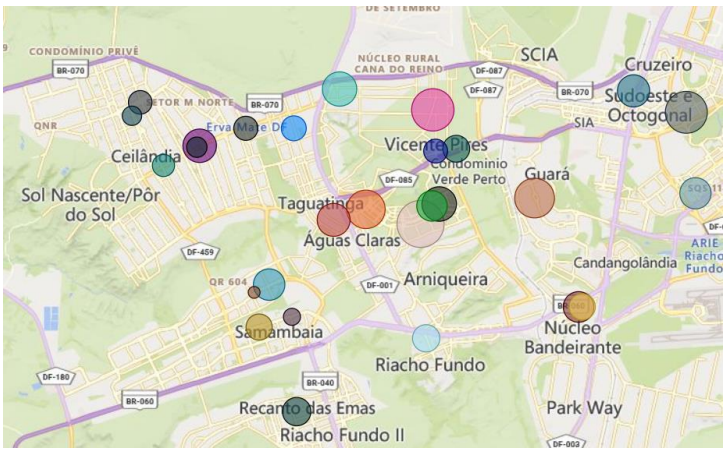
Figura 15 – Distribuição espacial dos pontos de venda e demanda



Fonte: Autor (2025)

Como vários pontos de venda da figura anterior encontram-se em regiões próximas, para facilitar a visualização foram exibidos estes de forma ampliada na Figura 16.

Figura 16 – Distribuição espacial ampliada dos pontos de venda e demanda mais próximos



Fonte: Autor (2025)

A Tabela 1 descreve os centros de distribuição analisados, identificados pelos códigos como CD 90, 95 e 97.

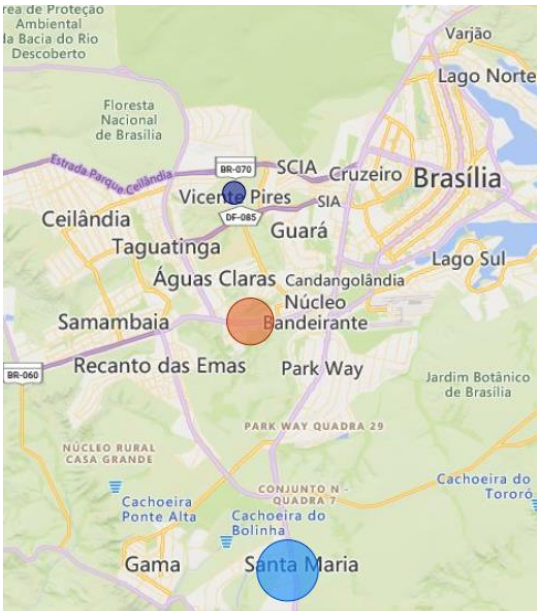
Tabela 1 – Centros de Distribuição

Nome	Estado	Cidade	Região Administrativa
CD90	Distrito Federal	Brasília	Santa Maria
CD95	Distrito Federal	Brasília	Vicente Pires
CD97	Distrito Federal	Brasília	Arniqueiras

Fonte: Autor (2025)

Da mesma forma, os centros de distribuição foram representados na Figura 17, em que o tamanho da bolha é proporcional a capacidade de oferta de cada um.

Figura 17 – Distribuição espacial dos centros de distribuição e ofertas



Fonte: Autor (2025)

Os resultados encontrados correspondem aos custos de transporte da operação de abastecimento no período de um mês, levando em conta que as entregas são feitas uma vez por mês em cada filial.

As planilhas com as filias e a matriz de distâncias, utilizados na formulação do modelo foram disponibilizadas no apêndice ao final deste trabalho. Aproximações e estimativas foram consideradas para os custos.

A seguir serão apresentados os resultados decorrentes da resolução do modelo para cada uma das estratégias.

4.2 MODELO PROPOSTO

4.2.1 ESTRATÉGIA A

Para a estratégia A, de fornecimento único, foram calculados os custos de transporte totais para cada par de iterações filial - CD. A matriz de custos de transporte é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da Estratégia A

Matriz de Custos de Transporte					
	Centro de Distribuição				
Filial	CD90	CD95	CD97		Demanda mensal
1	R$ 1.640,00	R$ 280,00	R$ 480,00		40
3	R$ 1.224,00	R$ 72,00	R$ 396,00		36
4	R$ 4.256,00	R$ 672,00	R$ 896,00		112
5	R$ 2.592,00	R$ 810,00	R$ 1.296,00		81
6	R$ 4.865,00	R$ -	R$ 1.807,00		139
7	R$ 1.428,00	R$ 3.978,00	R$ 3.162,00		102
8	R$ 1.885,00	R$ 325,00	R$ 650,00		65
9	R$ 1.100,00	R$ 990,00	R$ 605,00		55
10	R$ 1.750,00	R$ 910,00	R$ 700,00		70
11	R$ 5.280,00	R$ 1.232,00	R$ 1.408,00		176
13	R$ 3.182,00	R$ 172,00	R$ 1.462,00		86
14	R$ 5.712,00	R$ 544,00	R$ 1.768,00		136
15	R$ 728,00	R$ 338,00	R$ 416,00		26
16	R$ 3.195,00	R$ 2.340,00	R$ 2.610,00		45
17	R$ 1.722,00	R$ 984,00	R$ 574,00		82
18	R$ 2.650,00	R$ 1.750,00	R$ 2.050,00		50
19	R$ 1.125,00	R$ 585,00	R$ 135,00		45
20	R$ 2.116,00	R$ 1.610,00	R$ 1.748,00		46
21	R$ 222,00	R$ 2.516,00	R$ 1.850,00		74
22	R$ 609,00	R$ 231,00	R$ 357,00		21
23	R$ 2.130,00	R$ 1.050,00	R$ 1.230,00		30
24	R$ 1.221,00	R$ 444,00	R$ 703,00		37
25	R$ 2.496,00	R$ 702,00	R$ 1.248,00		78
26	R$ 1.215,00	R$ 315,00	R$ 360,00		45
27	R$ 520,00	R$ 340,00	R$ 240,00		20
28	R$ 552,00	R$ 2.967,00	R$ 2.346,00		69
29	R$ 3.000,00	R$ 1.800,00	R$ 1.800,00		120
30	R$ 1.350,00	R$ 450,00	R$ 550,00		50
31	R$ 630,00	R$ 1.323,00	R$ 1.155,00		21
32	R$ 1.404,00	R$ 624,00	R$ 741,00		39
33	R$ 288,00	R$ 1.920,00	R$ 1.488,00		48
34	R$ 2.871,00	R$ 522,00	R$ 1.131,00		87
35	R$ 1.914,00	R$ 396,00	R$ 594,00		66
36	R$ 990,00	R$ 585,00	R$ 315,00		45
37	R$ 434,00	R$ 1.209,00	R$ 961,00		31
38	R$ 1.508,00	R$ 986,00	R$ 1.160,00		29
39	R$ 205,00	R$ 115,00	R$ 145,00		5
40	R$ 390,00	R$ 195,00	R$ 150,00		15
41	R$ 576,00	R$ 336,00	R$ 192,00		24
42	R$ 3.584,00	R$ 1.120,00	R$ 1.792,00		112
43	R$ 1.023,00	R$ 561,00	R$ 693,00		33
44	R$ 1.330,00	R$ 1.435,00	R$ 1.400,00		35
45	R$ 2.592,00	R$ 1.080,00	R$ 1.584,00		72
				Soma demanda	2598
Oferta mensal	2200	200	1200	Soma oferta	3600

Fonte: Autor (2025)

As restrições desse modelo de PLB, conforme Figura 12, são referentes à natureza binária das variáveis de decisão, a restrição de que cada filial só pode ter sua demanda atendida por um único CD e a de que cada CD só pode distribuir quantidade inferior ou igual à sua capacidade operacional. Dessa forma, a Tabela 3 relaciona as restrições mencionadas.

Tabela 3 – Restrições da Estratégia A

Modelo Matemático

Função Objetivo:

min	**Custo Total**	R$	59.011,33

s.a Restrições:

	Filial	CDs alocados		CDs possíveis de alocação
Demanda	1	1	=	1
	3	1	=	1
	4	1	=	1
	5	1	=	1
	6	1	=	1
	7	1	=	1
	8	1	=	1
	9	1	=	1
	10	1	=	1
	11	1	=	1
	13	1	=	1
	14	1	=	1
	15	1	=	1
	16	1	=	1
	17	1	=	1
	18	1	=	1
	19	1	=	1
	20	1	=	1
	21	1	=	1
	22	1	=	1
	23	1	=	1
	24	1	=	1
	25	1	=	1
	26	1	=	1
	27	1	=	1
	28	1	=	1
	29	1	=	1
	30	1	=	1
	31	1	=	1
	32	1	=	1
	33	1	=	1
	34	1	=	1
	35	1	=	1
	36	1	=	1
	37	1	=	1
	38	1	=	1
	39	1	=	1
	40	1	=	1
	41	1	=	1
	42	1	=	1
	43	1	=	1
	44	1	=	1
	45	1	=	1

	CD	Quantidade alocada		Oferta	Ocupação
Oferta	90	1216	<=	2200	55,27%
	95	200	<=	200	100,00%
	97	1182	<=	1200	98,50%

Fonte: Autor (2025)

Com isso, foi delimitado um campo para inserção das variáveis de decisão binárias após a execução do solver, como na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis de decisão da estratégia A

Variáveis de decisão			
	Alocação		
	Centro de Distribuição		
Filial	CD90	CD95	CD97
1	0	0	1
3	0	1	0
4	0	0	1
5	1	0	0
6	0	1	0
7	1	0	0
8	0	0	1
9	1	0	0
10	1	0	0
11	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	1	0	0
16	1	0	0
17	1	0	0
18	1	0	0
19	0	0	1
20	1	0	0
21	1	0	0
22	1	0	0
23	0	0	1
24	1	0	0
25	0	0	1
26	0	0	1
27	0	1	0
28	1	0	0
29	1	0	0
30	0	0	1
31	1	0	0
32	0	0	1
33	1	0	0
34	0	0	1
35	0	0	1
36	1	0	0
37	1	0	0
38	1	0	0
39	0	1	0
40	0	0	1
41	1	0	0
42	0	0	1
43	1	0	0
44	1	0	0
45	1	0	0

Soma CD	23	4	16
Distância percorrida (km)	769	58	275

Fonte: Autor (2025)

No modelo, o valor 0 foi atribuído ao caso de não alocação de uma filial ao CD e 1 ao caso de alocação. Os dados foram preenchidos pelo solver após a execução.

As informações abaixo da tabela relacionam quantas filiais ficam atendidas por cada CD e as distâncias percorridas nessa situação. O CD 90 ficou alocado a 23 filiais, já o CD 95 ficou alocado a 4 filiais e o CD 97 a 16 filiais.

Após consolidar essas informações, procedeu-se à formulação da minimização da função objetivo do custo de transporte total em uma célula. O solver foi acionado e retornou o valor de R$59.011,33. De forma complementar, para subsidiar a análise de efetividade, foram calculadas as distâncias percorridas nessa situação, retornando o valor de 1102 km.

4.2.2 ESTRATÉGIA B

A estratégia B foi definida pelo múltiplo fornecimento dos produtos entre CDs e filiais. Os parâmetros de custos utilizados, presentes na Tabela 5, foram o produto dos fatores de distância e tarifa de transporte, visto que estes se relacionam com a demanda proporcional transportada nesse caso, como variáveis de decisão conforme Figura 12. Os custos fixos são somados na função objetivo para o custo de transporte total.

Tabela 5 – Parâmetros da Estratégia B

Matriz de Custos Logísticos					
	Centro de Distribuição				
Filial	CD90	CD95	CD97		Demanda mensal
1	R$ 41,00	R$ 7,00	R$ 12,00		40
3	R$ 34,00	R$ 2,00	R$ 11,00		36
4	R$ 38,00	R$ 6,00	R$ 8,00		112
5	R$ 32,00	R$ 10,00	R$ 16,00		81
6	R$ 35,00	R$ -	R$ 13,00		139
7	R$ 14,00	R$ 39,00	R$ 31,00		102
8	R$ 29,00	R$ 5,00	R$ 10,00		65
9	R$ 20,00	R$ 18,00	R$ 11,00		55
10	R$ 25,00	R$ 13,00	R$ 10,00		70
11	R$ 30,00	R$ 7,00	R$ 8,00		176
13	R$ 37,00	R$ 2,00	R$ 17,00		86
14	R$ 42,00	R$ 4,00	R$ 13,00		136
15	R$ 28,00	R$ 13,00	R$ 16,00		26
16	R$ 71,00	R$ 52,00	R$ 58,00		45
17	R$ 21,00	R$ 12,00	R$ 7,00		82
18	R$ 53,00	R$ 35,00	R$ 41,00		50
19	R$ 25,00	R$ 13,00	R$ 3,00		45
20	R$ 46,00	R$ 35,00	R$ 38,00		46
21	R$ 3,00	R$ 34,00	R$ 25,00		74
22	R$ 29,00	R$ 11,00	R$ 17,00		21
23	R$ 71,00	R$ 35,00	R$ 41,00		30
24	R$ 33,00	R$ 12,00	R$ 19,00		37
25	R$ 32,00	R$ 9,00	R$ 16,00		78
26	R$ 27,00	R$ 7,00	R$ 8,00		45
27	R$ 26,00	R$ 17,00	R$ 12,00		20
28	R$ 8,00	R$ 43,00	R$ 34,00		69
29	R$ 25,00	R$ 15,00	R$ 15,00		120
30	R$ 27,00	R$ 9,00	R$ 11,00		50
31	R$ 30,00	R$ 63,00	R$ 55,00		21
32	R$ 36,00	R$ 16,00	R$ 19,00		39
33	R$ 6,00	R$ 40,00	R$ 31,00		48
34	R$ 33,00	R$ 6,00	R$ 13,00		87
35	R$ 29,00	R$ 6,00	R$ 9,00		66
36	R$ 22,00	R$ 13,00	R$ 7,00		45
37	R$ 14,00	R$ 39,00	R$ 31,00		31
38	R$ 52,00	R$ 34,00	R$ 40,00		29
39	R$ 41,00	R$ 23,00	R$ 29,00		5
40	R$ 26,00	R$ 13,00	R$ 10,00		15
41	R$ 24,00	R$ 14,00	R$ 8,00		24
42	R$ 32,00	R$ 10,00	R$ 16,00		112
43	R$ 31,00	R$ 17,00	R$ 21,00		33
44	R$ 38,00	R$ 41,00	R$ 40,00		35
45	R$ 36,00	R$ 15,00	R$ 22,00		72
				Soma demanda	2598
Oferta mensal	2200	200	1200	Soma oferta	3600

Custos fixos	R$ 11.633,33

Fonte: Autor (2025)

As variáveis de restrição devem assumir valores inteiros, por se tratar de quantidades, pois há uma restrição de oferta, de que cada CD só pode ser alocado a uma quantidade inferior ou igual à sua capacidade e uma de demanda, de que cada filial deve ser atendida com quantidade igual ou superior à sua oferta, de forma a não ocasionar em vendas perdidas e clientes insatisfeitos.

As restrições da estratégia B estão desenvolvidas na Tabela 6:

Tabela 6 – Restrições da estratégia B

Modelo Matemático

Função Objetivo:

min | **Custo Total** | R$ | 57.952,33

s.a | Restrições:

	Filial	Quantidade alocada		Demanda
Demanda	1	40	>=	40
	3	36	>=	36
	4	112	>=	112
	5	81	>=	81
	6	139	>=	139
	7	102	>=	102
	8	65	>=	65
	9	55	>=	55
	10	70	>=	70
	11	176	>=	176
	13	86	>=	86
	14	136	>=	136
	15	26	>=	26
	16	45	>=	45
	17	82	>=	82
	18	50	>=	50
	19	45	>=	45
	20	46	>=	46
	21	74	>=	74
	22	21	>=	21
	23	30	>=	30
	24	37	>=	37
	25	78	>=	78
	26	45	>=	45
	27	20	>=	20
	28	69	>=	69
	29	120	>=	120
	30	50	>=	50
	31	21	>=	21
	32	39	>=	39
	33	48	>=	48
	34	87	>=	87
	35	66	>=	66
	36	45	>=	45
	37	31	>=	31
	38	29	>=	29
	39	5	>=	5
	40	15	>=	15
	41	24	>=	24
	42	112	>=	112
	43	33	>=	33
	44	35	>=	35
	45	72	>=	72

	CD	Quantidade alocada		Oferta	Ocupação
Oferta	90	1198	<=	2200	54,45%
	95	200	<=	200	100,00%
	97	1200	<=	1200	100,00%

Fonte: Autor (2025)

A partir dessas informações, o solver foi acionado e retornou as seguintes quantidades transportadas entre cada par CD-filial no campo de variáveis de decisão, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Variáveis de decisão da estratégia B

Variáveis de decisão

Alocação - Quantidades			
	Centro de Distribuição		
Filial	CD90	CD95	CD97
1	0	0	40
3	0	0	36
4	0	0	112
5	0	0	81
6	0	114	25
7	102	0	0
8	0	0	65
9	55	0	0
10	70	0	0
11	0	0	176
13	0	86	0
14	0	0	136
15	26	0	0
16	45	0	0
17	82	0	0
18	50	0	0
19	0	0	45
20	46	0	0
21	74	0	0
22	21	0	0
23	0	0	30
24	37	0	0
25	0	0	78
26	0	0	45
27	20	0	0
28	69	0	0
29	120	0	0
30	0	0	50
31	21	0	0
32	0	0	39
33	48	0	0
34	0	0	87
35	0	0	66
36	45	0	0
37	31	0	0
38	29	0	0
39	5	0	0
40	0	0	15
41	0	0	24
42	62	0	50
43	33	0	0
44	35	0	0
45	72	0	0

Soma CD	1198	200	1200
Distância percorrida (km)	770	4	318

Fonte: Autor (2025)

O resultado obtido indica que o CD 90 fica responsável pelo abastecimento de 24 filiais, o CD 95 por duas filiais (6 e 13, ambas em Vicente Pires assim como o CD) e o CD 97 por 19 filiais.

Novamente, o solver foi acionado para minimizar a função objetivo de custo de transporte total, retornando o valor de R$57.952,33. O resultado está associado ao total de 1092 km percorridos. Nota-se que nessa estratégia, duas filiais (6 e 42) tiveram a entrega dividida entre dois CDs e as demais com entrega única.

4.3 ANÁLISES

Diante das estratégias obtidas, foi possível analisá-las para fornecer uma resposta ao problema proposto. Dessa forma, o custo de transporte total, a distância total percorrida e a taxa de ocupação média dos CDs foram considerados fatores relevantes para análise de qual estratégia é melhor a ser tomada no contexto em questão.

Como as quantidades demandadas não variam em função da estratégia, a média das ocupações dos CDs não é uma medida representativa, visto que se mantém a mesma. Portanto, o desvio-padrão evidencia-se como uma medida capaz de mensurar o quão igual ou desigual as demandas ficaram alocadas aos CDs.

A ocupação de cada CD foi calculada como a razão entre a quantidade alocada a ele e sua capacidade disponível, resultando assim em valores que foram analisados pelo desvio-padrão populacional.

A Tabela 8 sintetiza os resultados obtidos:

Tabela 8 – Resumo comparativo de resultados das estratégias

Estratégia	Custo logístico total	Distância total percorrida (km)	Desvio de ocupação dos CDs
A	R$ 59.011,33	1102	0,20740
B	R$ 57.952,33	1092	0,26296

Estratégia selecionada	B		
Economia de custos	R$ 1.059,00	Diferença de distância (km)	10
Economia (%)	1,79%	Diferença de distância (%)	0,91%

Fonte: Autor (2025)

Portanto, a estratégia B de multifornecimento é a melhor, pois gera um custo logístico total menor e, além disso, também percorre uma distância total menor. Em contrapartida, essa estratégia ocasiona uma ociosidade levemente maior nos CDs, justificado pelo desvio padrão maior.

Ao se adotar a estratégia B, observa-se uma economia de 1,79% e uma redução de distância total percorrida de aproximadamente 1% em relação à estratégia A. No entanto, esses ganhos ocorrem à custa de um risco operacional elevado: a ocupação total (100%) dos CDs 95 e 97 coloca o sistema próximo de rupturas no abastecimento, comprometendo a resiliência da operação.

Simultaneamente, o CD 90 apresenta uma utilização relativamente baixa, de cerca de 54%. Isso reflete os altos custos desse CD, que por ter maior capacidade, estar localizado mais distante das filiais no geral e ter mais infraestrutura frente aos demais, demanda mais custos proporcionalmente, porém abre margem de oportunidade de negócio para aumento de oferta pela quantidade de produtos ofertados ou pela diversificação do mix de produtos termolábeis comercializados.

Embora a alta ocupação possa parecer positiva, operar no limite elimina qualquer margem de segurança frente a variações da demanda ou de oferta pelos fornecedores. Assim, a estratégia B, na forma como foi definida, continua como melhor opção, mas demandaria ajustes para equilibrar eficiência e robustez operacional.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões do estudo, seguidas das considerações finais e sugestões para estudos futuros, com base nos resultados obtidos.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado farmacêutico atual impõe diversos desafios e limitações que as empresas precisam superar para identificar oportunidades de se destacar frente às necessidades do consumidor e agregar valor aos seus produtos. Um dos mais importantes desafios está relacionado a forma de integrar a distribuição logística como elo que une os fornecedores aos pontos de venda, de forma a assegurar a entrega de medicamentos no tempo certo, em condições adequadas e com menor custo possível. Essa integração exige um planejamento eficiente da rede, para alinhar os diferentes agentes da cadeia de suprimentos.

O estudo se propôs a uma análise comparativa de estruturas de rede de distribuição de termolábeis definidas pelas estratégias de abastecimento unicamente de um CD, denominada A e de abastecimento via múltiplos CDS, denominada B, visando ao ganho de eficiência pela redução dos custos logísticos.

Os objetivos do trabalho foram alcançados com sucesso, pois o modelo realizado atende a uma representação da distribuição da rede fria de termolábeis entre os pontos de venda e os centros de distribuição, com a análise comparativa de alternativas pelo critério de custo de transporte. Essa classe de medicamentos foi escolhida como objeto, dada as condições comuns de armazenagem.

Contudo, um dos principais entraves enfrentados no desenvolvimento do estudo foi a dificuldade em acessar dados operacionais precisos da situação atual. A ausência de algumas informações e a complexidade da operação real exigiram o uso de estimativas e premissas simplificadas no modelo, que, ainda assim, se mostrou funcional ao representar adequadamente o comportamento da função objetivo.

Na estratégia A, o custo de transporte mensal foi estimado em R$59.011,33 com uma distância total percorrida de 1102 km, enquanto que na estratégia B o custo de transporte mensal corresponde a R$57.952,33, evidenciando uma economia que pode chegar à ordem de R$12.000 se considerar o horizonte anual.

Os resultados indicam que, dadas as premissas adotadas no problema, a estratégia B apresenta vantagens em custo de transporte e distância percorrida, porém envolve limitações operacionais que devem ser consideradas na avaliação de sua viabilidade.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Baseado nos resultados obtidos, sugere-se como possíveis melhorias para estudos futuros a inclusão de incertezas na oferta e na demanda, utilizando técnicas adequadas, análises

de sensibilidade frente a oscilações, e mais estratégias possíveis de distribuição, como o caso de transferência entre filiais de estoques excedentes em intervalos discretizados.

Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação do modelo com a inclusão de fornecedores e a consideração de variáveis de custo adicionais que não foram contempladas nessa análise, tais como o custo de pedidos, o custo de manutenção de estoques e da demanda não atendida. Ademais, análises a longo prazo podem contribuir para a avaliação de viabilidade dos impactos decorrentes da adoção da estratégia B.

É valido ressaltar que eventuais limitações computacionais observadas podem ser mitigadas pela utilização de linguagens de programação mais robustas, como o Python ou Matlab, ainda que o Solver do Excel tenha se mostrado adequado para a obtenção de soluções satisfatórias, dadas as restrições e o nível de complexidade do problema em questão.

Dessa forma, tais contribuições podem favorecer uma melhor compreensão do processo analisado, possibilitando o desenvolvimento de modelos cada vez mais robustos, eficientes na logística e alinhados à realidade operacional das empresas, o que consolida a eficiência logística na distribuição como fator essencial para competitividade do setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. CMED divulga anuário com dados do mercado nacional de medicamentos em 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2024/cmed-divulga-anuario-com-dados-do-mercado-nacional-de-medicamentos-em-2023>. Acesso em: 16 fev. 2025.

ANVISA. Resolução RDC nº 304, de 17 de setembro de 2019. Dispõe sobre as Boas Práticas de Distribuição, Armazenagem e de Transporte de Medicamentos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 18 set. 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2019/rdc0304_17_09_2019.pdf . Acesso em: 06 jun. 2025.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BORBA, J. V. S.; GIBBON, A. R. O. Modelo de custos logísticos. **Revista Sinergia**, Rio Grande, 14 (2): 85-98, 2010.

CATALÁN, Andrés; FISHER, Marshall. Assortment allocation to distribution centers to minimize split customer order, 2012. Disponível em: https://ssrn.com/abstract=2166687. Acesso em: 25 abril 2025.

CLEMENTE, A; COSENZA, C.A.N. Análise da Localização de Projetos. In: CLEMENTE, A.C. (Org.). Projetos Empresariais e Públicos. 2.ed. São Paulo, Atlas, p. 119 – 143, 2002.

FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. Pesquisa Operacional para cursos de administração, contabilidade e economia. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

FILHO, J.D.S. Gestão da logística de um centro de armazenagem e distribuição de bebidas. 2012. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9C4JVX/1/monografia_ufmg.pdf https://aiko.digital/logistica-de-distribuicao/

FIUZA, et al. Configuração de redes logísticas: objetivos, conceitos e técnicas de modelagem. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0112_0898.pdf

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

HASSANZADEH, S.; CHENG, K. Suppliers Selection In Manufacturing Industries And Associated Multi-Objective Desicion Making Methods: Past, Present And The Future. **European Scientific Journal, ESJ**, v. 12, n. 1, p. 93, 29 Jan. 2016.

HUANG, W.; ROMEIJN, H. E.; GEUNES, J. *The continuous-time single-sourcing problem with capacity expansion opportunities*. **Naval Research Logistics**, v. 52, n. 2, p. 193–211, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1002/nav.20064. Acesso em: 2 maio 2025.

JUNIOR, Admir Antonio Betarelli**.** Localização, custo de transporte e aglomeração. Universidade Federal De Juiz De Fora. 2016. Disponível em: https://www2.ufjf.br/lates//files/2016/12/Conte%c3%bado-3-N_Localiza%c3%a7%c3%a3o-custo-de-transporte-e-aglomera%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 16 fev 2025.

KLOSE, Andreas; DREXL, Andreas. Facility location models for distribution system design. **European journal of operational research**, v. 162, n. 1, p. 4-29, 2005.

LORENA, Luiz Antonio Nogueira et al. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. **Gestão & Produção**, v. 8, p. 180-195, 2001.

MOREIRA, D. A. Administração da Produção. São Paulo: Cengage Learning, 2008

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

OLIVEIRA, Luiz; ATTUX, Romis; BOCCATO, Levy. O Problema Quadrático de Alocação. **VIII Oitavo Encontro dos Alunos e Docentes do Departamento de Engenharia de Comutação e Automação Industrial, Campinas, SP, Brasil**, 2015.

OLIVEIRA, M. G.; CARVALHO, C. L**.** Um estudo sobre abordagens para solução de problemas *Facility Location*. 2012. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: https://ww2.inf.ufg.br/sites/default/files/uploads/relatorios-tecnicos/RT-INF_001-12.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

PIZZOLATO, N. D., RAUPP, F. M. P., & AAZZAMORA, G. S. (2012). Revisão de Desafios Aplicados em Localização com base em Modelos de p-Medianas e suas Variantes. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, 4(1):13-42.

PROETTI, Sidney. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo. **Revista Lumen-ISSN: 2447-8717**, v. 2, n. 4, 2017.

RIBEIRO, Miguel Ângelo Campos. localização industrial'. **Degradação ambiental e ineficiência energética (o círculo vicioso da "modernização" agrícola)**, p. 415, 2002.

SAMPAIO, Mauro; CSILLAG, João Mario. Integração da cadeia de suprimentos da indústria farmacêutica. **RAI-Revista de Administração e Inovação**, v. 7, n. 1, p. 109-130, 2010.

SARTORE GALATI, A. L.; MERIGO LOPES, A. L.; DE AGUIAR MESSIAS, E. C.; UNGARI, A. Q. Uso off label de medicamentos para o tratamento da obesidade: uma revisão integrativa. **Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação**, v. 5, n. 1, p. 262-277, 23 jul. 2024.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N.. Abordagens complementares para problemas de p-medianas. **Production**, v. 13, n. 3, p. 78–87, 2003.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2017.

SILVA, Jean Carlos da. **Análise comparativa de estratégias de abastecimento para um varejista de materiais de construção com base em programação matemática**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SILVA, M.R. Uma contribuição ao problema de localização de terminais de consolidação no transporte de carga parcelada. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SIMÃO, L. E., & GONÇALVES, M. B. (2015). Modelo integrado para medição do desempenho de redes logísticas de alto desempenho. **Revista ESPACIOS|** Vol. 36 (Nº 07) Ano 2015.

SOARES, Uly et al. Impactos da Pandemia COVID-19 na economia, na sociedade, no redesenho das cadeias logísticas e no florescimento dos serviços de entrega: o caso brasileiro. **Revista Transporte y Territorio**, n. 25, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Vaccine management handbook: how to calculate vaccine volumes and cold chain capacity requirements*. Geneva: WHO, 2015. Disponível em: https://log.logcluster.org/sites/default/files/2022-08/WHO%20How%20to%20Calculate%20Volumes%20and%20Capacities.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

ZARDINI, João Vitor Vasconcelos; DE OLIVEIRA, Weverthon Lobo; FERNANDES, Leandro Marochio. Uma revisão sobre a programação linear: conceitos e aplicações. In: ENCONTRO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (ENIC), 2024, São José dos Campos. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2024/anais/arquivos/RE_0183_0030_01.pdf. Acesso em: 08 jun. 2025.

APÊNDICES

APENDICE 1 – MATRIZ DE DISTÂNCIAS

		Origem		
Destino	Dist. (km)	CD90	CD95	CD97
	FL01	41	7	12
	FL03	34	2	11
	FL04	38	6	8
	FL05	32	10	16
	FL06	35	0	13
	FL07	14	39	31
	FL08	29	5	10
	FL09	20	18	11
	FL10	25	13	10
	FL11	30	7	8
	FL13	42	4	13
	FL14	28	13	16
	FL15	71	52	58
	FL16	21	12	7
	FL17	53	35	41
	FL18	25	13	3
	FL19	46	35	38
	FL20	3	34	25
	FL21	29	11	17
	FL22	71	35	41
	FL23	33	12	19
	FL24	32	9	16
	FL25	27	7	8
	FL26	26	17	12
	FL27	8	43	34
	FL28	25	15	15
	FL29	27	9	11
	FL30	30	63	55
	FL31	36	16	19
	FL32	6	40	31
	FL33	33	6	13
	FL34	29	6	9
	FL35	22	13	7
	FL36	14	39	31
	FL37	52	34	40
	FL38	41	23	29
	FL39	26	13	10
	FL40	24	14	8
	FL41	32	10	16
	FL42	31	17	21
	FL43	38	41	40
	FL44	36	15	22
	FL45	39	21	27

APÊNDICE 2 – FILIAIS

Filial	UF	Cidade	Região Administrativa / Bairro
1	Distrito Federal	Brasília	Taguatinga
3	Distrito Federal	Brasília	Vicente Pires
4	Distrito Federal	Brasília	Aguas Claras
5	Distrito Federal	Brasília	Ceilândia
6	Distrito Federal	Brasília	Vicente Pires
7	Distrito Federal	Brasília	Gama
8	Distrito Federal	Brasília	Aguas Claras
9	Distrito Federal	Brasília	Recanto das Emas
10	Distrito Federal	Brasília	Samambaia
11	Distrito Federal	Brasília	Aguas Claras
13	Distrito Federal	Brasília	Vicente Pires
14	Distrito Federal	Brasília	Sudoeste
15	Distrito Federal	Brasília	Planaltina
16	Distrito Federal	Brasília	Núcleo Bandeirante
17	Distrito Federal	Brasília	Sobradinho
18	Distrito Federal	Brasília	Riacho Fundo
19	Distrito Federal	Brasília	Paranóa
20	Distrito Federal	Brasília	Santa Maria
21	Distrito Federal	Brasília	SIA
22	Distrito Federal	Brasília	Brazlândia
23	Distrito Federal	Brasília	Ceilândia
24	Distrito Federal	Brasília	Taguatinga
25	Distrito Federal	Brasília	Taguatinga
26	Distrito Federal	Brasília	Samambaia
27	Goiás	Novo Gama	Parque Estrela Dalva VI
28	Distrito Federal	Brasília	Plano Piloto
29	Distrito Federal	Brasília	Guará
30	Goiás	Luziânia	Centro
31	Distrito Federal	Brasília	Ceilândia
32	Goiás	Valparaíso de Goiás	Jardim Oriente
33	Distrito Federal	Brasília	Vicente Pires
34	Distrito Federal	Brasília	Aguas Claras
35	Distrito Federal	Brasília	Núcleo Bandeirante
36	Distrito Federal	Brasília	Gama
37	Distrito Federal	Brasília	Sobradinho
38	Distrito Federal	Brasília	Lago Norte
39	Distrito Federal	Brasília	Samambaia
40	Distrito Federal	Brasília	Samambaia
41	Distrito Federal	Brasília	Ceilândia
42	Distrito Federal	Brasília	Plano Piloto
43	Distrito Federal	Brasília	São Sebastião
44	Distrito Federal	Brasília	Ceilândia
45	Distrito Federal	Brasília	Lago Norte