



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

VINICIUS CLÓVIS GOMES DE LMEIDA

**MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE
INSTALAÇÕES: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**SUMÉ - PB
2024**

VINICIUS CLÓVIS GOMES DE LMEIDA

**MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE
INSTALAÇÕES: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.

**SUMÉ - PB
2024**



A447m Almeida, Vinicius Clóvis Gomes de.
Método para determinação da localização de instalações: uma revisão de literatura. / Vinicius Clóvis Gomes de Almeida. - 2024.

74 f.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Localização de instalações. 2. Cadeia de suprimentos. 3. Logística. 4. Otimização de localização. 5. Programação linear. I. Silva, Yuri Laio Teixeira Veras. II. Título.

CDU: 658.78(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

VINICIUS CLÓVIS GOMES DE LMEIDA

**MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE
INSTALAÇÕES: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.
Orientadora – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Aline Amaral Leal Barbosa.
Examinadora I – UAEP/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Janduy Guerra Araújo.
Examinador II – UATEC/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 08 de outubro de 2024.

SUMÉ - PB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, cuja presença silenciosa e constante me guiou em todos os momentos de incerteza e me fortaleceu nas dificuldades. Sem a Sua luz, essa jornada seria impossível. A Ele, devo toda a gratidão por ter me abençoado com a coragem, a sabedoria e a resiliência necessárias para concluir esta etapa.

Aos meus amados familiares, meu reconhecimento mais profundo. Ao meu pai, Clóvis, que com seu exemplo de força, integridade e dedicação, me ensinou o verdadeiro valor do trabalho árduo e da persistência. À minha mãe, Helenice, que com seu amor incondicional, paciência e palavras de encorajamento, sempre me fez acreditar que eu era capaz de ir além. À minha irmã, Maria Clara, cuja alegria e espírito gentil foram meu refúgio nos momentos mais difíceis, trazendo luz e inspiração para continuar.

Aos meus amigos Denny, Ariadne, José Leonardo, Amanda e Mariana, sou eternamente grato pela amizade verdadeira que me proporcionaram. Vocês foram meu apoio, minha alegria e, muitas vezes, minha força quando as minhas pareciam esgotadas. E em especial à Keren, cuja presença foi muito mais que um suporte; foi uma fonte inesgotável de ensinamentos, paciência e compreensão. A amizade de vocês foi um pilar inabalável em minha vida, e suas palavras e atitudes, verdadeiros guias em minha trajetória.

Ao meu orientador, Yuri Laio, meu mais sincero agradecimento. Sua orientação não foi apenas acadêmica, mas também uma lição de dedicação, rigor e paixão pelo conhecimento. Seu apoio foi decisivo para a realização deste trabalho, e sua paciência e compreensão nos momentos de dúvida foram essenciais para o meu desenvolvimento como pesquisador e como pessoa.

Aos professores e funcionários da UFCG-CDSA, que com sua dedicação e empenho contribuíram imensamente para minha formação. Obrigado por criarem um ambiente acolhedor, onde o conhecimento floresce e o espírito acadêmico é constantemente alimentado. Vocês foram fundamentais na construção deste percurso.

A cada um de vocês, meu mais profundo e sincero agradecimento. Este trabalho é, em grande parte, fruto dos ensinamentos, do apoio e do amor que recebi ao longo desta jornada.

RESUMO

Este trabalho aborda a importância estratégica da localização de instalações no contexto empresarial, especialmente em cadeias de suprimentos e logística, sendo uma decisão crucial para a eficiência operacional, os custos logísticos e a competitividade das organizações. Dada a complexidade dessa decisão, o estudo tem como objetivo mapear os modelos e métodos de localização de instalações presentes na literatura, avaliando suas vantagens, limitações e aplicabilidades em diferentes contextos empresariais. Para tal, foram empregadas as diretrizes de revisão sistemática da literatura, explorando tanto abordagens tradicionais como programação linear, ponto de equilíbrio e centro de gravidade, quanto técnicas modernas que envolvem big data e inteligência artificial. A pesquisa destaca ainda a relevância de integrar métodos quantitativos e qualitativos, considerando as incertezas e a dinamicidade do ambiente empresarial moderno. Como contribuição à literatura, a análise dos métodos disponíveis oferece uma visão abrangente de como esses métodos podem ser aplicados para maximizar a eficiência operacional e a competitividade, ao mesmo tempo que propõe diretrizes para futuras pesquisas e aplicações em cenários dinâmicos, como nas cadeias de suprimentos globais.

Palavras-chave: Localização de instalações; cadeia de suprimentos; logística; otimização de localização; programação linear.

ABSTRACT

This paper addresses the strategic importance of facility location in the business context, especially in supply chains and logistics, as it is a crucial decision for operational efficiency, logistics costs, and competitiveness of organizations. Given the complexity of this decision, the study aims to map the models and methods of facility location present in the literature, evaluating their advantages, limitations, and applicability in different business contexts. To this end, systematic literature review guidelines were used, exploring both traditional approaches such as linear programming, breakeven point, and center of gravity, as well as modern techniques involving big data and artificial intelligence. The research also highlights the relevance of integrating quantitative and qualitative methods, considering the uncertainties and dynamism of the modern business environment. As a contribution to the literature, the analysis of available methods offers a comprehensive view of how these methods can be applied to maximize operational efficiency and competitiveness, while proposing guidelines for future research and applications in dynamic scenarios, such as global supply chains.

Keywords: Facility location, supply chain, logistics, location optimization, linear programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do trabalho.....	16
Figura 2 – Exemplo de ponto de equilíbrio.....	23
Figura 3 – Seleção de materiais.....	30
Figura 4 – Análise de ocorrência de palavras-chave.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese da revisão sistemática da literatura.....	35
Quadro 2 – Mapeamento dos objetivos por trabalho.....	37
Quadro 3 – Contribuições dos trabalhos mapeados.....	42
Quadro 4 – Lacunas da literatura.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de aplicação do método de pontuação ponderada três locais.....	22
Tabela 2 – Exemplo de aplicação do método do centro de gravidade.....	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.1	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>14</i>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	18
2.2	ALOCAÇÃO DE INSTALAÇÕES E SEU IMPACTO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	19
2.3	MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	21
2.3.1	<i>Pontuação Ponderada.....</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Ponto de Equilíbrio.....</i>	<i>22</i>
2.3.3	<i>Centro de Gravidade.....</i>	<i>23</i>
2.3.4	<i>Interação Espacial.....</i>	<i>25</i>
2.3.5	<i>Clusterização.....</i>	<i>26</i>
2.4	O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	27
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	29
4	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	32
4.1	ANÁLISE BIBLIOMETRICA.....	32
4.2	ANÁLISE PRELIMINAR DOS ESTUDOS.....	34
5	MODELOS E MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	37
6	AGENDA DE PESQUISA.....	49
6.1	MODELOS QUE SIMPLIFICAM A REALIDADE.....	49
6.2	CENÁRIOS ESTÁTICOS.....	55
6.3	APLICABILIDADE RESTRITA DOS MODELOS.....	56
6.4	MODELOS NÃO CONSIDERAM A COMPLEXIDADE GEOMÉTRICA.....	58
6.5	DEPENDÊNCIA DA PRECISÃO E CONFIABILIDADE DOS DADOS.....	60
6.6	FALTA DE CRITÉRIOS ASSOCIADOS SUSTENTABILIDADE.....	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A localização de instalações é uma decisão estratégica essencial para qualquer organização, seja ela de manufatura, serviços ou varejo. Escolher o local correto para uma fábrica, armazém, escritório ou qualquer outro tipo de instalação empresarial não é uma tarefa simples, pois envolve uma análise cuidadosa de diversos fatores econômicos, logísticos, operacionais e até sociais.

Este processo influencia diretamente a capacidade da empresa de competir no mercado, reduzir custos, melhorar a eficiência e atender às demandas de seus clientes de maneira ágil e eficaz. Slack et al. (2019) destacam que a localização de uma instalação pode ser vista como uma das decisões mais permanentes que uma empresa faz, uma vez que mudanças posteriores tendem a ser caras e complexas, o que reforça a importância de uma análise criteriosa desde o início.

A localização de instalações afeta praticamente todas as áreas de uma organização. Em termos de custos operacionais, por exemplo, a localização define as despesas com transporte de matérias-primas e produtos acabados, além dos custos com mão de obra e energia.

Em muitas indústrias, os custos de transporte representam uma parte substancial do custo total de um produto, e a escolha da localização mais eficiente pode, portanto, melhorar significativamente a margem de lucro da empresa. Além disso, uma boa localização pode aproximar a empresa de seus mercados consumidores, permitindo tempos de entrega mais curtos e um serviço ao cliente de melhor qualidade. Isso é especialmente crítico em indústrias onde a entrega rápida e confiável é um fator chave de sucesso, como o varejo de e-commerce (Ballou, 2006).

Chopra e Meindl (2020) acrescentam que além dos fatores de custo, a localização também está relacionada à disponibilidade de recursos, especialmente mão de obra. Regiões com alta concentração de mão de obra qualificada em setores específicos podem oferecer uma vantagem competitiva, enquanto áreas com baixa qualificação ou alta rotatividade de trabalhadores podem aumentar os desafios de recrutamento e retenção. Além disso, a escolha do local pode impactar diretamente na capacidade da empresa de receber incentivos fiscais ou subsídios de governos locais. Porter (1990) discute como as condições locais de produção, incluindo a disponibilidade de infraestrutura e a regulamentação governamental, podem influenciar as vantagens competitivas de uma empresa.

Chopra e Meindl (2020) sugerem que um dos métodos mais utilizados para a análise quantitativa de localização é o método do centro de gravidade. Esse método busca determinar a localização que minimiza os custos de transporte, ponderando o volume de mercadorias transportadas entre a instalação e os pontos de origem ou destino. Já o método da programação linear pode ser utilizado para otimizar a distribuição de recursos e minimizar custos em várias localidades. No entanto, uma análise qualitativa

robusta também é necessária para levar em conta fatores intangíveis, como a estabilidade política da região, o nível de desenvolvimento econômico e as políticas ambientais.

Outro método amplamente utilizado na análise de localização é a análise multicritério, que ajuda a integrar tanto os fatores quantitativos quanto os qualitativos. Neste tipo de abordagem, os tomadores de decisão atribuem pesos a diferentes fatores com base em sua importância estratégica e, em seguida, avaliam diversas alternativas de localização. Heizer e Render (2019) enfatizam que a análise multicritério é particularmente útil em situações em que os fatores subjetivos, como a cultura local ou a reputação da área, são tão importantes quanto os fatores tangíveis, como os custos operacionais.

Além dos métodos mencionados, outros métodos mais sofisticados de modelagem matemática, como a teoria dos jogos e o algoritmo de otimização heurística, podem ser utilizados para decisões de localização em cenários complexos, como redes globais de cadeias de suprimentos. Empresas multinacionais, por exemplo, frequentemente enfrentam desafios complexos ao decidir onde posicionar fábricas e centros de distribuição, devido à diversidade de mercados, regulamentações e custos em diferentes países. O uso de sistemas de apoio à decisão, como softwares de simulação e otimização, é cada vez mais comum para modelar esses cenários complexos e gerar soluções mais precisas.

Além disso, o desenvolvimento da tecnologia de big data permitiu que as empresas acessassem e analisassem uma quantidade sem precedentes de dados sobre mercados locais, infraestrutura e tendências econômicas. Ivanov et al. (2021) sugerem que a análise de big data pode ser usada para prever o comportamento do mercado e identificar tendências que ajudem a otimizar a escolha de localização, especialmente em ambientes de negócios voláteis ou mercados emergentes.

Nesse contexto, o presente estudo é importante por apresentar uma análise acerca dos métodos de localização de instalações relevantes, tanto para a academia quanto para o mercado. Considerando o dinamismo e a competitividade, no ambiente empresarial o estudo contribui para pontuar os métodos mais adequados para definir o sucesso operacional e estratégico das organizações.

Outrossim, com a evolução das tecnologias e o surgimento de novos métodos analíticos, a complexidade envolvida na tomada de decisão sobre localização de instalações aumentou significativamente. Assim, em meio acadêmico, a presente pesquisa serve como um guia para novos estudos, explorando os métodos tradicionais de otimização matemática em cenários mais complexos e dinâmicos.

Por fim, é importante destacar que o presente estudo está direcionado a fornecer uma compreensão abrangente acerca dos modelos e métodos de alocação de instalações, a fim de responder o seguinte problema pesquisa; **“Quais o modelo e método mais assertivo para definir a localização de instalações, considerando a perspectiva de cadeias de suprimentos?”**. Para tal, o método de revisão

da literatura é utilizado para expor uma visão atualizada para direcionar tanto a academia quanto o mercado, considerando o impacto de tal decisão para o contexto competitivo do mercado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Mapear os modelos e métodos de localização de instalações encontrados na literatura, avaliando suas vantagens, limitações, e aplicabilidades em diferentes contextos empresariais.

1.1.1. *Objetivos Específicos*

- Mapear a literatura acerca dos métodos de localização de instalações, considerando abordagens tradicionais (otimização matemática) e modernas (heurísticas, meta-heurísticas, técnicas baseadas em big data e inteligência artificial);
- Avaliar as vantagens e limitações de cada método de localização de instalações, considerando os critérios de: custo, complexidade computacional, flexibilidade, tempo de resposta, precisão e aplicabilidade em diferentes setores;
- Elaborar uma agenda de pesquisa, considerando as lacunas encontradas na literatura e nas práticas empresariais;
- Explorar as contribuições acadêmicas e mercadológicas dos diferentes métodos, destacando a influenciar futuras pesquisas acadêmicas e práticas empresariais no contexto da localização de instalações.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente estudo se justifica pela necessidade em compreender de maneira profunda as diferentes abordagens disponíveis, identificando suas respectivas vantagens, limitações e áreas de aplicação mais adequadas. Tal compreensão é relevante tanto para o meio empresarial quanto acadêmico, tendo em vista, os *insights* teóricos para o desenvolvimento de novos modelos e métodos. Ademais, proporciona às empresas ferramentas práticas e adaptáveis para a tomada de decisões estratégicas em um ambiente cada vez mais competitivo.

Na literatura já existem estudos que conectam os métodos, dos quais entre os principais estão os modelos de *P-median*, introduzidos por Hakimi (1964), que tinham como objetivo minimizar a soma das

distâncias entre clientes e instalações. Um seguimento do trabalho de Hakimi foi feito por Daskin (1995), que aplicou modelos de cobertura máxima e *P-median* para sistemas de saúde, considerando tempos de resposta como um fator crítico. Mais recentemente, Snyder (2006) explorou a localização de instalações sob incertezas, como demanda variável e interrupções na cadeia de suprimentos, introduzindo uma abordagem robusta para mitigar riscos.

Estudos como os de Farahani et al. (2010) também ampliaram essas análises, revisando os avanços em modelos de localização que equilibram custos e eficiência logística, com aplicação em diferentes setores industriais. Esses trabalhos continuam influenciando novas pesquisas, como as de Cui et al. (2019), que aplicaram algoritmos de otimização para a localização de centros de distribuição em ambientes urbanos.

Considerando as lacunas citadas anteriormente, o presente estudo visa contribuir para a formulação de estratégias mais robustas, alinhadas com as demandas produtivas, eficiência e responsabilidade social, que são cruciais para o sucesso a longo prazo das organizações.

Quanto ao meio empresarial, o estudo é relevante pois análises de mercado mostram que até 60% dos custos logísticos estão relacionados ao transporte, o que significa que a proximidade de centros de distribuição a fornecedores e consumidores pode gerar economias significativas. A localização estratégica também melhora a eficiência das operações, a capacidade de resposta ao cliente e a sustentabilidade ambiental, fatores que estão se tornando cada vez mais importantes para manter a competitividade em setores como varejo e manufatura.

Em resumo, o estudo dos métodos de localização de instalações é essencial para fornecer um entendimento abrangente e atualizado das práticas mais eficazes, apoiando tanto o avanço acadêmico quanto a aplicação prática no mercado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete seções, estruturadas para contextualizar de maneira lógica e progressiva para contextualizar a relevância dos modelos e métodos de localização de instalações. A primeira Seção apresenta a contextualização da pesquisa, de forma que expõe o tema, destacando a relevância estratégica da decisão sobre a localização de instalações para as empresas.

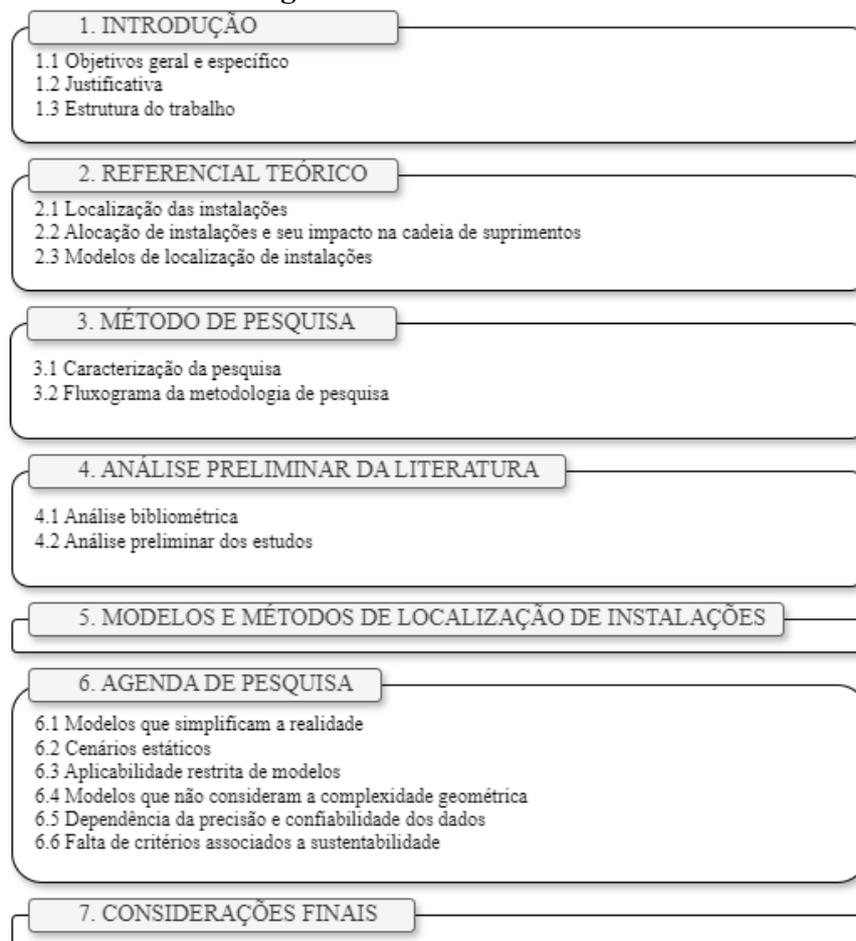
De modo que, são apresentados os tópicos referentes a introdução da temática de pesquisa, quanto a decisão de alocação de instalações afeta a competitividade, por meio da eficiência operacional. Seguido pelos objetivos geral e específicos, assim como, justificativa para sua realização e a presente

estruturação do trabalho. Tal seção é elaborada com base em uma revisão preliminar da literatura e na identificação das principais lacunas que o estudo pretende abordar.

A Seção 2 consiste em uma fundamentação teórica e conceitos direcionados acerca dos métodos de localização de instalações, com foco em suas aplicações no contexto da logística e da cadeia de suprimentos. Tal Seção apresenta os principais conceitos, teorias e abordagens desenvolvidos ao longo dos anos, incluindo métodos tradicionais e modernos de otimização. É importante destacar que o estudo considera os avanços tecnológicos e as mudanças nas práticas empresariais que têm influenciado as decisões de localização de instalações.

Em seguida, o método de pesquisa é exposto no Seção 3, explorando a revisão sistemática da literatura, ou seja, detalhando o processo de seleção das fontes, a filtragem dos artigos e a abordagem utilizada para realizar a análise dos métodos de localização de instalações. Tal metodologia é apresentada a fim de a replicabilidade do estudo e garantindo a transparência dos critérios utilizados para a escolha dos trabalhos analisados.

Figura 1 - Estrutura do trabalho



Fonte: Autoria própria (2024).

Na Seção 4 são apresentados os resultados do mapeamento da literatura, como a análise bibliométrica da base de dados e uma análise sistêmica realizada da amostra de 61 artigos selecionados. Seguindo as contribuições da literatura, a quinta seção explora de maneira detalhadas as contribuições de cada estudo quanto à sua eficácia, aplicabilidade, vantagens e limitações em diferentes contextos empresariais.

A análise é feita de forma crítica e fundamentada, com a identificação de padrões, tendências e lacunas na literatura. Tal seção também explora como os diferentes métodos se complementam e quais são as melhores práticas para sua aplicação em cenários específicos, como a localização de centros de distribuição, fábricas e pontos de venda.

Como diferencial e avanço da literatura, a Seção 6 apresenta uma proposta de estudo futuro, como a agenda pesquisa e as questões de pesquisa sugeridas tendo como base a análise realizada. Por fim, a Seção 7 apresenta as considerações finais do estudo, sintetizando os principais achados da análise. Na qual, são discutidas as implicações acadêmicas e mercadológicas das diferentes abordagens, seguida pelas propostas de diretrizes para a aplicação dos métodos de localização de instalações em contextos empresariais.

Ademais, as considerações finais exploram de maneira condensada as contribuições, limitações e aponta sugestões para futuras pesquisas, com base nas lacunas identificadas durante o estudo. De forma que, as recomendações são direcionadas tanto para gestores que enfrentam decisões de localização quanto para acadêmicos que buscam aprofundar o conhecimento na área.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como intuito expor a base teórica para o desenvolvimento deste estudo: (i) localização de instalações, (ii) impacto da localização de instalações na cadeia de suprimentos, (iii) modelos de alocação de instalações.

2.1 LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Para Slack (2019) a localização de instalações é uma decisão estratégica importante na gestão de operações e na cadeia de suprimentos, com impacto direto na eficiência operacional, nos custos logísticos e na competitividade das organizações. Slack et al. (2021) definem a localização de instalações como o processo de escolha do local mais apropriado para a instalação de fábricas, centros de distribuição ou pontos de venda, com o objetivo de otimizar os resultados da empresa.

Tradicionalmente, a localização de instalações é abordada através de métodos quantitativos e qualitativos. Dentre os métodos quantitativos, destacam-se os modelos de programação linear e inteira, amplamente utilizados para resolver problemas de localização ao minimizar custos ou maximizar a cobertura de mercado" (Sadjadian et al, 2022).

Esses modelos são particularmente eficazes na consideração de múltiplas restrições, como capacidade de produção, demanda do mercado e custos de transporte (Daskin, 2019). Outro método tradicional é a análise de ponto de equilíbrio, que se baseia na identificação do ponto em que o custo total de operar em diferentes locais se iguala, sendo útil para empresas que avaliam a abertura de novas instalações (Slack et al., 2021).

Além desses métodos, a análise multicritério tem ganhado destaque, especialmente através de ferramentas como a Análise Hierárquica de Processos (AHP) que permitem ponderar diferentes fatores, como custo, proximidade ao mercado e risco (Saaty, 2008). A análise multicritério é especialmente valiosa quando a decisão de localização envolve múltiplos critérios que precisam ser equilibrados para encontrar a melhor solução possível (Mehrez; Stulz, 2023). Rezapour et al. (2023) destacam que essas tecnologias têm o potencial de transformar a forma como as empresas escolhem suas localizações, permitindo uma maior adaptação às mudanças dinâmicas do ambiente de negócios. Além disso, a inteligência artificial e o *machine learning* têm sido cada vez mais aplicados para otimizar decisões de localização em cenários complexos, onde os modelos tradicionais podem não ser suficientes (Rabbani et al., 2022).

Outro avanço importante é a utilização de ferramentas de análise geoespacial, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que facilitam a visualização da distribuição geográfica de clientes,

fornecedores e concorrentes, ajudando na escolha de locais estratégicos (Murray; Grubestic, 2007). Heizer et al. (2022) ressaltam que essa análise é particularmente relevante em cadeias de suprimentos globais, onde a localização de instalações pode influenciar diretamente a eficiência logística e a sustentabilidade ambiental.

A decisão sobre a localização de instalações envolve diversos fatores críticos, como custos operacionais, proximidade a mercados e fornecedores, acessibilidade, infraestrutura, regulamentações governamentais e sustentabilidade (Farahani et al., 2020). A gestão eficaz desses fatores é essencial para garantir a viabilidade econômica e a competitividade da instalação (Slack et al., 2021). A relevância dessa decisão é elevada, considerando que esse processo é crucial porque uma localização inadequada pode levar a custos elevados de transporte, dificuldades na gestão de estoques e tempos de entrega prolongados, enquanto uma localização bem escolhida pode melhorar significativamente o atendimento ao cliente e reduzir custos operacionais (Melnyk et al., 2019). Custos operacionais, por exemplo, incluem desde a aquisição de terreno e construção até mão de obra e energia, sendo influenciados por variáveis locais, como incentivos fiscais e regulamentações (Simchi-Levi et al., 2020).

A proximidade aos mercados consumidores e fornecedores pode reduzir custos de transporte e melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos, enquanto a acessibilidade e a disponibilidade de infraestrutura adequada são fundamentais para a operação eficiente da instalação (Heizer et al., 2022). A pesquisa sobre a localização de instalações tem gerado contribuições significativas tanto para a academia quanto para o mercado. Na academia, os avanços têm se refletido na evolução de modelos mais sofisticados e na integração de novas tecnologias, como inteligência artificial e análise preditiva, que ampliam o conhecimento teórico e oferecem ferramentas práticas para gestores (Mehrez; Stulz, 2023).

No mercado, empresas que aplicam eficazmente essas teorias e métodos conseguem alcançar vantagens competitivas substanciais, como redução de custos e melhoria do atendimento ao cliente. Além disso, a pesquisa contínua na área é essencial para acompanhar as mudanças no ambiente de negócios e adaptar as estratégias de localização às novas realidades do mercado (Slack et al., 2021).

2.2 ALOCAÇÃO DE INSTALAÇÕES E SEU IMPACTO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A cadeia de suprimentos pode ser descrita como um sistema interconectado de organizações, pessoas, atividades, informações e recursos envolvidos na movimentação de produtos ou serviços desde o fornecedor até o cliente (Simchi-levi et al., 2020). Este sistema é essencial para a criação de valor, pois permite que as empresas alcancem seus objetivos estratégicos, como redução de custos, melhoria do atendimento ao cliente e inovação de produtos (Heizer et al., 2022).

Uma cadeia de suprimentos eficiente é aquela que é capaz de responder rapidamente às mudanças na demanda do mercado, garantindo ao mesmo tempo que os custos operacionais sejam mantidos sob controle (Chopra; Meindl, 2022). Isso exige uma coordenação cuidadosa de todas as atividades e recursos envolvidos, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega final do produto ao consumidor.

A localização de instalações desempenha um papel crítico na eficiência e eficácia da cadeia de suprimentos. A decisão sobre onde localizar fábricas, centros de distribuição e outros pontos de operação pode afetar diretamente a capacidade da empresa de responder às necessidades dos clientes, reduzir custos e manter a competitividade (Slack et al., 2021).

A proximidade de uma instalação aos fornecedores e mercados pode reduzir significativamente os custos de transporte, que são uma das maiores despesas na gestão da cadeia de suprimentos (Melnik et al., 2019). Além disso, uma localização estratégica pode melhorar a velocidade de entrega e a qualidade do serviço, permitindo que a empresa responda mais rapidamente às flutuações da demanda.

Em centros de distribuição localizados perto de grandes centros de consumo podem reduzir o tempo de entrega e melhorar a satisfação do cliente, enquanto fábricas localizadas próximas a fornecedores-chave podem minimizar os riscos associados a interrupções no fornecimento (Chopra; Meindl, 2022).

A localização também pode impactar a flexibilidade da cadeia de suprimentos. Empresas que optam por localizar suas instalações em regiões estratégicas, onde há fácil acesso a diferentes mercados e modos de transporte, conseguem adaptar-se melhor às mudanças nas condições do mercado. Essa flexibilidade é particularmente importante em ambientes altamente dinâmicos, onde a demanda e as condições de fornecimento podem mudar rapidamente (Simchi-levi et al., 2020).

A decisão sobre a localização de instalações tem vários impactos significativos na cadeia de suprimentos, incluindo aspectos financeiros, operacionais e estratégicos. Um dos impactos mais evidentes é no custo total da cadeia de suprimentos. Localizações inadequadas podem aumentar os custos de transporte, armazenamento e inventário, além de potencialmente causar atrasos e ineficiências operacionais (Chopra; Meindl, 2022).

Além dos custos, a decisão de localização influencia a capacidade da empresa de atender aos requisitos dos clientes. Instalações mal localizadas podem resultar em longos tempos de resposta, o que pode prejudicar a satisfação do cliente e a reputação da empresa (Heizer et al., 2022). Por outro lado, uma localização otimizada pode melhorar significativamente o nível de serviço, garantindo que os produtos estejam disponíveis quando e onde os clientes precisam.

A localização também afeta a sustentabilidade da cadeia de suprimentos. Decisões estratégicas sobre onde localizar instalações podem reduzir a pegada de carbono da empresa, por exemplo, ao minimizar as distâncias de transporte ou ao localizar-se em regiões com acesso a fontes de energia renovável (Chopra; Meindl, 2022). Por fim, a localização de instalações pode influenciar a resiliência da cadeia de suprimentos. Empresas que operam em ambientes geograficamente diversificados têm maior capacidade de mitigar riscos, como desastres naturais, conflitos políticos ou interrupções no fornecimento (Simchi-levi et al., 2020). A resiliência é um aspecto cada vez mais valorizado, especialmente em um mundo globalizado onde as cadeias de suprimentos estão expostas a uma ampla gama de riscos.

2.3 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Este tópico abordará os principais métodos de localização de instalações amplamente discutidos na literatura, destacando suas características, aplicações e relevância para o planejamento estratégico e otimização de operações logísticas.

2.3.1 Pontuação Ponderada

De acordo com Slack (2019) o método de pontuação ponderada é uma técnica amplamente utilizada na análise de localização de instalações, especialmente em situações em que múltiplos critérios precisam ser considerados para a tomada de decisão. Esse método é valorizado por sua capacidade de integrar fatores qualitativos e quantitativos, permitindo uma avaliação equilibrada das alternativas disponíveis.

Segundo Slack (2019), o processo inicia-se com a identificação dos critérios relevantes para a escolha da localização, como custo de terreno, proximidade de fornecedores, acessibilidade ao transporte, e disponibilidade de mão de obra qualificada. Cada critério é ponderado de acordo com sua importância relativa, atribuindo-se um peso específico que reflete essa importância no contexto da decisão estratégica.

Após a atribuição dos pesos, as alternativas de localização são avaliadas em relação a cada critério, sendo atribuídas pontuações que representam o desempenho de cada local em cada aspecto avaliado. Como descrito por Krajewski et al (2022), a pontuação total de cada alternativa é calculada multiplicando-se as pontuações individuais pelos pesos correspondentes e, em seguida, somando-se os resultados. A alternativa que obtiver a maior pontuação total é geralmente selecionada como a melhor opção para a localização da instalação.

Além disso, o método de pontuação ponderada também permite uma análise de sensibilidade, que é crucial para verificar como mudanças nos pesos ou nas pontuações podem impactar a decisão final. Esse aspecto, destacado por Heizer et al (2020), garante que a decisão seja robusta e adaptável a diferentes cenários, oferecendo uma abordagem estruturada e transparente que facilita a comunicação entre os membros da equipe de decisão, integrando diferentes perspectivas de maneira coerente e justificável.

Para a execução do método, é sugerido que se construa uma tabela contendo:

- os critérios de comparação entre os locais;
- a ponderação da importância de cada critério (peso);
- a pontuação de cada local de acordo com cada critério;
- a nota total de cada localização.

Tabela 1 – Exemplo de aplicação do método de pontuação ponderada três locais

CRITÉRIOS	PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA	PONTUAÇÃO/LOCAIS		
		A	B	C
Custo do local	4	80	65	60
Impostos locais	2	20	50	80
Disponibilidade de mão de obra capacitada	1	80	60	40
Acesso a autoestradas	1	50	60	40
Acesso a aeroporto	1	20	60	70
Potencial para expansão	1	75	40	55
Pontuação Ponderada Total		585	580	605

Fonte: Slack et al. (2009)

No exemplo demonstrado acima, o local C conseguiu obter a melhor pontuação por obter a melhor pontuação ponderada total, sendo assim a melhor escolha para a organização se instalar.

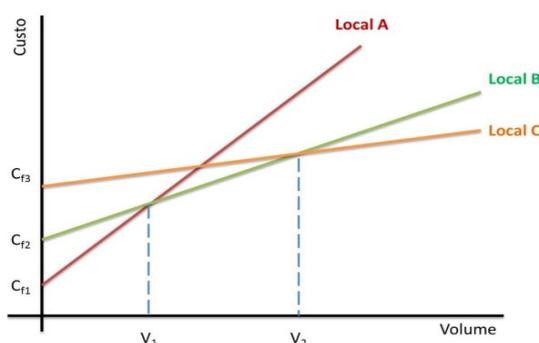
2.3.2 Ponto de Equilíbrio

Heizer (2001) define o método do ponto de equilíbrio como sendo a utilização da análise de volume-custo para se fazer a comparação econômica das alternativas de localização. Identificando-se os custos fixos e variáveis e elaborando-se o gráfico deles para cada localização, pode-se determinar o local que proporciona o custo mais baixo para cada intervalo de volume produzido.

Em paralelo à definição de Heizer, Rocha (2008) defende que o método procura identificar a melhor localização a partir do conhecimento dos custos fixos e variáveis de cada local. Uma vez identificado o nível de atividade da empresa, o custo total (fixo + variável) é calculado para cada local.

Na Figura 2 está exemplificada a situação na qual a decisão de escolha de localização varia de acordo com o volume de vendas.

Figura 2 - Exemplo de ponto de equilíbrio



Fonte: Pinto (2015)

Nota-se que o encontro de cada curva com o eixo de custo (Y) corresponde ao custo fixo de operação de cada um dos locais, e a inclinação da reta é dada em função do custo variável por unidade de cada local. Para volumes até V_1 , o Local A se mostra como a opção mais barata, enquanto, para volume entre V_1 e V_2 , o Local B é o mais barato e, por fim, para volumes maiores que V_2 , o Local C se mostra como sendo a melhor opção.

2.3.3 Centro de Gravidade

O método do centro de gravidade é usado para encontrar uma localização que minimize os custos de transporte (Slack et al., 2009). Ele baseia-se na ideia de que todas as localizações têm um custo de transporte diretamente proporcional às distâncias percorridas para recebimento de insumos (matérias-primas) e saídas (produtos). É importante ressaltar que este método considera também que o custo de transporte é proporcional à quantidade de bens movimentada nas viagens. Fazendo uma analogia física, esse método considera que a localização ótima seria o centro de gravidade de todos os pontos de origem e para o destino dos bens transportados (Slack et al., 2009).

Para a aplicação do método, deve-se criar um plano cartesiano imaginário, chamado de grade de referência, e plotar cada ponto de demanda (destino) / suprimento (fonte). Uma vez que se tem informação

das coordenadas desses pontos, a localização ótima será dada pelo centro de gravidade da soma desses pontos, conforme mostram as Equações 1 e 2 abaixo:

$$X_g = \frac{\sum X_i V_i}{\sum V_i} \quad (1)$$

$$Y_g = \frac{\sum Y_i V_i}{\sum V_i} \quad (2)$$

Onde:

- X_i corresponde à coordenada x da fonte ou destino i;
- Y_i corresponde à coordenada y da fonte ou destino i;
- V_i corresponde ao volume transportado a ser enviado para a fonte ou destino i.

Em outras palavras, este método defende que a localização ótima é dada pela média ponderada dos locais de consumo/suprimento de bens a serem transportados. O exemplo a seguir ilustra a aplicação do método de centro de gravidade. As informações de demanda e localização das fontes e destinos encontram-se na Tabela 2:

Tabela 2 - Exemplo de aplicação do método do centro de gravidade

	Quantidade de/até (V_i)	Coordenada geográfica (X_i, Y_i)
Fornecedor A	18	(5,12)
Fornecedor B	23	(9,7)
Cliente C	10	(14,2)
Cliente D	17	(7,4)
Cliente E	6	(4,12)
Total	74	

Fonte: Pinto (2015)

Através da equação 1 tem-se:

$$X_g = \frac{\sum X_i V_i}{\sum V_i} = \frac{(18 * 5) + (23 * 9) + (10 * 14) + (17 * 7) + (6 * 4)}{74} = 7,83$$

E através da equação 2 obtém-se:

$$Y_g = \frac{\sum Y_i V_i}{\sum V_i} = \frac{(18 * 12) + (23 * 7) + (10 * 2) + (17 * 4) + (6 * 12)}{74} = 7,25$$

O ponto ótimo encontrado no exemplo seria a coordenada (7,83; 7,25).

2.3.4 Interação Espacial

A interação espacial é um conceito central na geografia e logística, descrevendo como as atividades em diferentes localidades influenciam umas às outras, principalmente em termos de fluxos de pessoas, mercadorias e informações (Miller, 2004). Na localização de instalações, a análise da interação espacial é vital para otimizar operações, reduzir custos de transporte e aumentar a acessibilidade dos clientes.

Na gestão de cadeias de suprimentos, a localização de instalações envolve a escolha de pontos estratégicos com base na proximidade de mercados consumidores, fornecedores e infraestrutura de transporte. Segundo Ballou (2006), a localização de instalações logísticas deve considerar fatores como distância, custos de transporte e acessibilidade, com o objetivo de minimizar os custos operacionais e maximizar a eficiência. Estudos como os de Daskin (2013) reforçam que a modelagem matemática é frequentemente usada para resolver problemas de localização, incluindo o problema de localização-alocação, que define o posicionamento ideal de instalações para atender a demanda de forma eficiente.

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado uma ferramenta essencial para otimizar a análise da interação espacial. O SIG facilita a visualização, modelagem e simulação de padrões de fluxo, permitindo uma análise mais detalhada sobre o impacto da localização de instalações (Esri, 2019). Estudos como o de Chhetri, Butcher e Corbitt (2014) mostram como o uso de SIG pode melhorar o processo de tomada de decisão em redes logísticas, integrando fatores ambientais e geográficos no planejamento de localização de centros de distribuição.

Um aspecto central da interação espacial é o conceito de gravidade, um modelo emprestado da física que descreve como a interação entre dois locais diminui à medida que a distância entre eles aumenta. De acordo com os trabalhos de Reilly (1931) e Huff (1963), este conceito tem sido amplamente aplicado em estudos de localização, auxiliando na previsão de padrões de fluxo de consumidores entre diferentes locais. Beesley e Alonso (1966) também contribuíram significativamente com sua teoria sobre a localização e o uso do solo, propondo modelos que consideram os custos de transporte e a acessibilidade na escolha de localizações ótimas para instalações.

Outro fator importante na análise da interação espacial é a conectividade do transporte. A acessibilidade e a qualidade das rotas de transporte têm um impacto direto nos custos de distribuição e na

eficiência logística (Limão; Venables, 2001). Áreas com melhor conectividade tendem a reduzir os custos logísticos, melhorando o atendimento ao cliente. Assim, a infraestrutura de transporte deve ser cuidadosamente considerada ao selecionar locais para instalações, especialmente em cadeias de suprimentos globais.

2.3.5 Clusterização

A clusterização, ou análise de agrupamentos, é uma técnica da ciência de dados que visa agrupar objetos de maneira que os itens em um mesmo grupo sejam mais semelhantes entre si do que com os de outros grupos (Kaufman; Rousseeuw, 2009). Na localização de instalações, a clusterização pode ser utilizada para identificar regiões de maior concentração de demanda ou proximidade de recursos, tornando mais fácil a escolha de locais estratégicos que minimizem custos de transporte, tempo de deslocamento ou ainda maximizem a eficiência de atendimento (Jain; Dubes, 1988).

Um dos algoritmos mais comumente utilizados na clusterização é o K-means, que divide um conjunto de dados em k grupos distintos com base na proximidade espacial entre os pontos de dados (Lloyd, 1982). Ao aplicar o K-means na localização de instalações, é possível identificar polos de demanda ou de fornecimento, permitindo uma distribuição mais eficiente das unidades de produção ou centros de distribuição. Estudos recentes evidenciam que esse método pode ser vantajoso para empresas que buscam otimizar redes de distribuição e minimizar custos de transporte, como ilustrado por Kim et al. (2021), que aplicaram a técnica para melhorar a rede de distribuição de uma empresa de comércio eletrônico.

Métodos de clusterização hierárquica também podem ser aplicados, especialmente quando é necessária uma análise mais detalhada das relações entre pontos geográficos (Jain; Dubes, 1988). Nesse caso, os dados são organizados em uma estrutura de árvore, onde cada nível representa um agrupamento de diferentes escalas, proporcionando uma visão multiescalar dos dados. Essa abordagem é útil para empresas que operam em diferentes níveis, sejam eles regionais ou globais, permitindo uma adaptação mais precisa das operações conforme a escala de análise (Kaufman; Rousseeuw, 2009).

A utilização de técnicas de clusterização na localização de instalações também tem sido potencializada pelo uso de sistemas de informação geográfica (SIG), os quais fornecem uma base visual e georreferenciada para a análise dos dados (Church; Murray, 2009). O SIG facilita a visualização dos clusters formados e permite a integração de vários fatores, como distâncias, tráfego e acessibilidade, ao processo de tomada de decisão.

Sendo assim, o método de clusterização tem se mostrado uma ferramenta útil no processo de localização de instalações, oferecendo soluções que atendem tanto a aspectos de eficiência operacional

quanto às necessidades específicas de cada setor ou empresa. Sua aplicação integrada a outras tecnologias, como os SIG, tem ampliado as possibilidades de otimização logística e aprimorado a qualidade das decisões relacionadas à localização (Church; Murray, 2009; Kaufman; Rousseeuw, 2009).

2.4 O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

Problemas relacionados à localização de instalações têm sido amplamente explorados sob diversas perspectivas na literatura científica e continuam a ser relevantes. Vários pesquisadores analisam esses desafios utilizando diferentes abordagens de design. Khosravi e Jokar (2017) seguem a regra da gravidade para propor um modelo de avaliação da localização de instalações domésticas em uma rede de transporte, com o intuito de reduzir os custos de transporte, as penalidades por perda de demanda e os custos de implantação das instalações. Um critério importante a ser considerado é que, a quantidade de instalações não é definida previamente.

Utilizando a otimização robusta (RO), Jakubovskis (2017) propõe uma modelagem para suporte no planejamento estratégico de capacidade e decisões de aquisição de recursos, incluindo a questão da localização de instalações. Outros estudos, se baseiam no problema de localização de instalações de Weber, como Drezner et al. (2018) que propõem uma versão com o intuito de minimizar a soma ponderada das distâncias entre a instalação e os pontos de demanda. No entanto, diferente do clássico, os autores consideram a instalação deve ser localizada a uma certa distância mínima dos pontos de demanda, pois sua proximidade é considerada "indesejável" para eles.

Já Du et al. (2020) propõem um modelo robusto de dois estágios baseado no modelo de localização p-centro para garantir a confiabilidade das instalações, mesmo quando algumas delas podem sofrer interrupções. Dessa forma, uma rede confiável é criada durante uma fase de planejamento "proativa", e, caso uma instalação seja interrompida, seus clientes podem ser realocados para outra instalação disponível durante uma fase "reativa".

Nesse cenário, a programação linear passou a ser amplamente empregada na criação desse tipo de modelo. De maneira semelhante, Boujelben et al. (2016) investigam um problema de localização de instalações em múltiplos períodos, incorporando restrições realistas para a roteirização de veículos, mantendo o problema de otimização em um tamanho administrável, formulado como um programa misto-inteiro linear é resolvido com o uso de um solucionador comercial.

Correia e Melo (2016) exploram uma extensão do problema clássico de localização de instalações em múltiplos períodos, onde os clientes têm sensibilidade aos prazos de entrega, tais autores

sugerem duas formulações de programação linear misto-inteira para redesenhar a rede de forma a minimizar os custos.

Orjuela-Castro et al. (2017) também apresentam um modelo de programação linear mista para determinar a localização de centros de coleta e empresas que processam alimentos perecíveis em áreas montanhosas, utilizando um sistema de transporte multiproduto e multi escalão como base.

Teye et al. (2017) examinam um problema que integra a escolha do modo de transporte com a localização de instalações. Eles utilizam o método de maximização da entropia para combinar um modelo *logit* de escolha de modo com um modelo de localização de instalações, resultando em um modelo de programação inteira mista não linear.

Ademais, Emirhüseyinoğlu e Ekici (2019) desenvolveram um modelo matemático inteiro misto para abordar o problema de decisões de localização de instalações em múltiplos períodos, no contexto de um varejista que deseja adquirir produtos de diversos fornecedores sob um esquema de desconto por quantidade incremental, atendendo, assim, a uma demanda exógena.

Golpîra (2020), por sua vez, propõe uma abordagem original de Programação Linear Inteira Mista para integrar a estratégia de Inventário Gerenciado por Fornecedores ao projeto de rede de Cadeia de Suprimentos de Construção (CSC) que abrange múltiplos projetos, recursos e fornecedores, além de problemas de localização de instalações, visando a minimização dos custos.

Na mesma linha, também há contribuições da programação não linear. No trabalho de Hajipour et al. (2016), um modelo multiobjetivo de alocação de instalações multicamadas (MLFLA) com instalações congestionadas usando sistemas de filas clássicos é proposto para determinar o número ideal de instalações e a alocação de serviços em cada camada.

Já Qi et al. (2017) apresentam um modelo de programação inteira, não linear e de dois níveis para o problema de localização de instalações competitivas com previsão. A fim de maximizar a participação de mercado do líder, ao mesmo tempo em que leva em consideração a resposta do seguidor.

Coniglio et al. (2017) consideram um problema de localização de instalações para determinar o número e a localização ideais de depósitos e quais itens devem ser armazenados em cada um deles. Eles propõem uma formulação de programação inteira mista não linear para o problema.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesse estudo, os procedimentos metodológicos estão estruturados em três etapas: revisão bibliográfica, seleção de artigos relevantes e análise dos métodos de localização de instalações. A pesquisa bibliográfica foi conduzida tendo como base os estudos de Tranfield et al. (2003) na qual a amostra foi coletada por duas bases de dados (Google Acadêmico e Scopus) utilizando palavras-chave específicas e estratégias de filtragem para garantir a confiabilidade dos estudos selecionados.

A primeira etapa do estudo consistiu na realização de uma revisão em identificar e reunir trabalhos acadêmicos que tratam dos métodos de localização de instalações no contexto da logística e da cadeia de suprimentos. As palavras-chave utilizadas para a busca foram: "*Facility location model*", "*Facility location*", "*Logistics*" e "*Supply chain*". Estas palavras foram selecionadas por sua relevância direta com os temas centrais da pesquisa, permitindo a identificação de estudos que abordassem tanto as abordagens teóricas quanto as aplicações práticas desses métodos, abaixo pode ser visualizado o fluxograma do processo na Figura 3.

A busca teve início em julho de 2024, na qual resultou em 218 trabalhos acadêmicos. Para garantir que os estudos selecionados fossem diretamente relevantes para os objetivos da pesquisa, foi realizado um processo de filtragem em quatro etapas:

Filtro por título: A primeira filtragem foi realizada com base na análise dos títulos dos trabalhos, com o objetivo de eliminar aqueles que, à primeira vista, não estavam alinhados com o foco da pesquisa, etapa essa em que era feita a seguinte pergunta: o título deste trabalho está coerente com o que essa pesquisa busca avaliar? Após essa etapa, restaram 98 trabalhos;

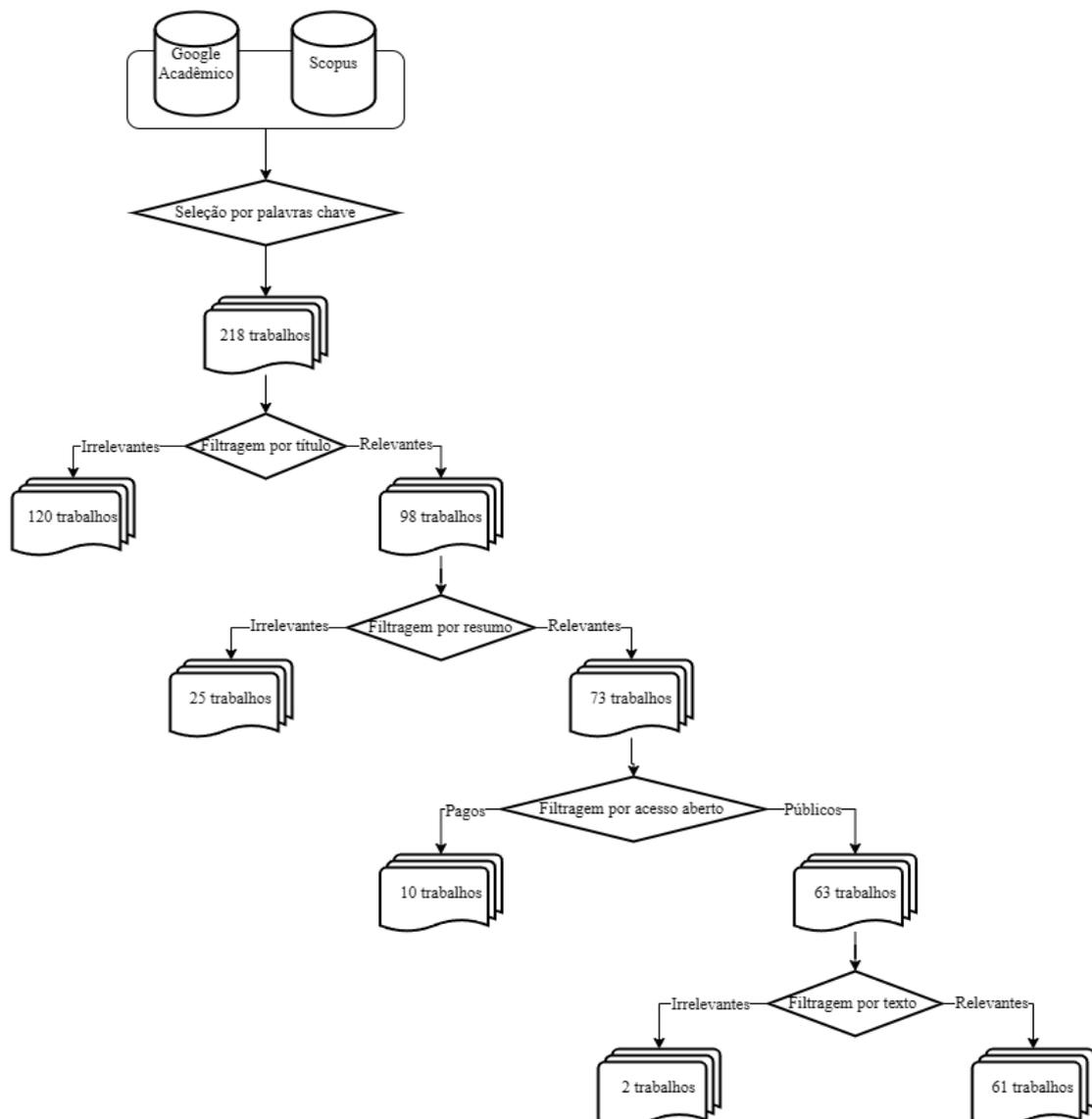
Filtro por resumo: Os 98 trabalhos selecionados foram então submetidos a uma análise de seus resumos, na qual os resumos foram lidos, sempre levando em consideração a seguinte questão: o resumo deste trabalho está de acordo com o que essa pesquisa está buscando? Essa etapa foi crucial para refinar ainda mais a seleção, excluindo artigos que não abordassem diretamente a localização de instalações ou que ficassem em contextos muito distantes da logística e da cadeia de suprimentos. Após a análise dos resumos, 73 trabalhos foram mantidos;

Filtro por acesso aberto (*Open Access*): Finalmente, foi realizada uma última filtragem considerando apenas os trabalhos disponíveis em acesso aberto, que consistia tão somente em avaliar os trabalhos que podiam ser lidos sem a necessidade de pagar por eles. Isso garantiu que todos os estudos utilizados na análise fossem acessíveis para uma revisão detalhada e para futuras consultas. Ao final deste processo, 63 trabalhos foram selecionados para a análise de conteúdo aprofundada.

Análise de conteúdo: Esta etapa teve como base as diretrizes de Elo e Kyngäs (2008), seguindo o processo de análise de conteúdo qualitativa dividido em três fases principais: preparação, organização e relato. Na abordagem indutiva, a qual se enquadra o presente trabalho, as categorias são derivadas diretamente dos dados, sendo ideal quando não existem estudos prévios sobre o fenômeno.

Ainda segundo Elo e Kyngäs (2008), na fase de preparação o pesquisador deve escolher a unidade de análise e estudar os dados, o que vai lhe fornecer um entendimento geral do conteúdo, diferente da fase de organização, na qual ocorre a codificação aberta, onde são atribuídas categorias aos dados, agrupando informações semelhantes. No relato dos resultados, o pesquisador deve descrever detalhadamente o processo de análise para garantir a confiabilidade dos achados.

Figura 3 - Seleção de materiais



Fonte: Autoria própria (2024)

Com os 61 artigos selecionados, a análise foi realizada com o intuito de avaliar os diferentes métodos de localização de instalações, considerando aspectos como a eficácia, aplicabilidade, vantagens e limitações de cada abordagem. Os métodos foram comparados em termos de sua relevância acadêmica e aplicação prática, com base nas informações extraídas dos estudos analisados.

Essa análise foi essencial para a formulação de conclusões sobre as melhores práticas e para a proposição de diretrizes que possam orientar tanto a academia quanto o mercado na tomada de decisões estratégicas de localização de instalações.

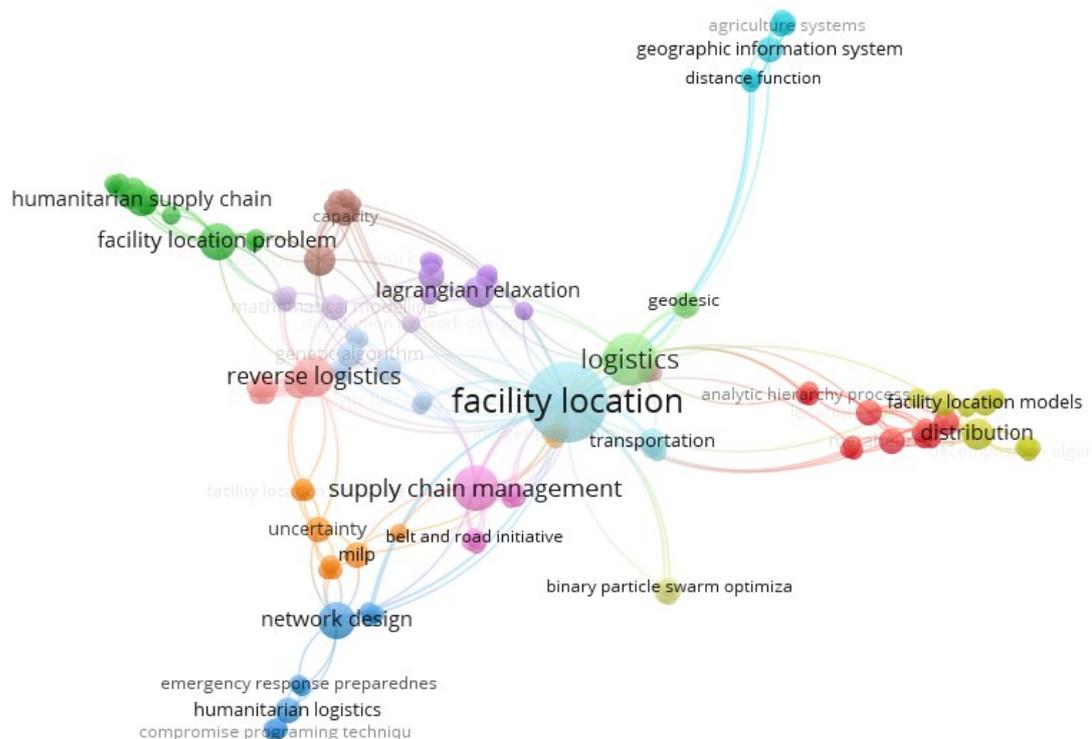
4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A presente seção tem como intuito apresentar os resultados obtidos por meio do mapeamento da literatura, detalhando nos tópicos 4.1 e 4.2 uma avaliação global dos estudos, seguindo pela delimitação da amostra selecionada.

4.1 ANÁLISE BIBLIOMETRICA

Para construção e análise da bibliometria, foram realizadas redes de interrelações, com o auxílio do *software VOSviewer*, de modo que foi possível mapear as palavras-chave (Figura 4) presentes na literatura e a sua frequência, destacando a interferências entre temáticas de estudos. Ademais, as análises bibliométricas possibilitam entender as relações e a co-ocorrência de termos em publicações científicas.

Figura 4 - Análise de ocorrência de palavras-chave



Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto aos clusters ilustrados nas redes através das cores, é possível destacar cinco principais: (i) cluster ciano (*Facility Location & Geospatial Analysis*), (ii) clusters vermelho-amarelo (*Distribution & Vehicle Routing*), (iii) clusters rosa-azul (*Supply Chain Management & Network Design*), (iv) clusters verde-salmão (*Humanitarian Logistics & Reverse Logistics*), e por fim o (v) cluster roxo (*Optimization & Mathematical Models*). Com isso em mente, é possível descrever os clusters da seguinte forma:

- i. **Cluster Ciano** (*facility location, facility location problem, geographic information system, distance function, geodesic*): Este cluster se concentra na problemática da localização de instalações, um dos temas centrais na gestão da cadeia de suprimentos e logística. Ferramentas como *geographic information systems* (GIS) são cruciais para analisar dados geoespaciais, ajudando na determinação de locais ótimos para instalações com base em funções de distância e métodos geométricos como a *geodesic*. Este tema é fundamental para otimizar o posicionamento de fábricas, armazéns, e centros de distribuição, considerando fatores como proximidade dos mercados, custos de transporte, e acessibilidade;
- ii. **Clusters Vermelho-Amarelo** (*distribution, vehicle routing, facility location models, goal programming*): Este cluster foca na distribuição de produtos e no roteamento de veículos, tópicos fundamentais para a eficiência das operações logísticas. Modelos de localização de instalações e programação por objetivos (*goal programming*) são métodos matemáticos aplicados para resolver problemas complexos de otimização na distribuição e roteamento, visando reduzir custos e melhorar o serviço ao cliente. Na literatura, esses temas são críticos para empresas que buscam maximizar a eficiência em redes de distribuição;
- iii. **Clusters Rosa-Azul** (*supply chain management, network design, Mixed-Integer Linear Programming, belt and road initiative*): Este cluster abrange a gestão da cadeia de suprimentos e o desenho de redes logísticas. *Supply Chain Management* (SCM) é um tema abrangente que inclui a coordenação de todas as atividades relacionadas ao fluxo de bens, informações e finanças, desde a origem dos materiais até o consumidor final. *Network design* e *MILP* são métodos usados para projetar redes eficientes de suprimento e distribuição. A inclusão da *Belt and Road Initiative* reflete o impacto de grandes projetos de infraestrutura global na literatura de SCM, destacando a importância estratégica de redes logísticas bem projetadas;
- iv. **Clusters Verde-Salmão** (*reverse logistics, humanitarian logistics, humanitarian supply chain*): Este cluster explora a logística reversa e a logística humanitária. *Reverse logistics* se refere ao processo de retorno de produtos do consumidor para o fabricante, um tema importante na economia circular e na gestão de resíduos. *Humanitarian logistics* aborda a gestão da cadeia de suprimentos em contextos de ajuda humanitária, onde a eficiência e rapidez são essenciais para

- salvar vidas em situações de desastre. A importância desses temas na literatura reflete o crescimento das preocupações com sustentabilidade e a eficiência na entrega de ajuda em crises;
- v. **Cluster Roxo** (*lagrangian relaxation, inventory policy, distribution network design*): Este cluster é voltado para técnicas de otimização matemática aplicadas à logística e à gestão de cadeias de suprimentos. *Lagrangian relaxation* é uma técnica usada para resolver problemas complexos de otimização, muitas vezes aplicados ao desenho de redes de distribuição e políticas de estoque. A importância desses métodos na literatura é evidente na busca por soluções ótimas para problemas logísticos complexos, que são fundamentais para melhorar a eficiência operacional e a gestão de recursos.

É importante destacar que, cada cluster representa um subcampo importante, interconectado com os demais. A centralidade de termos como "*facility location*" indica sua importância como um ponto de convergência para várias outras áreas de pesquisa, refletindo a complexidade e a interdependência das disciplinas envolvidas. Esses clusters são essenciais na literatura porque abordam problemas práticos e teóricos que têm impacto direto na eficiência e na sustentabilidade das operações logísticas globais.

4.2 ANÁLISE PRELIMINAR DOS ESTUDOS

Essa seção tem como intuito identificar e sintetizar as principais contribuições, objetivos e lacunas presentes nas pesquisas abordadas, oferecendo uma base sólida para novas investigações. Na literatura revisada, há uma ampla discussão sobre modelos e métodos aplicados à otimização da localização de instalações, especialmente dentro do contexto de cadeias de suprimentos.

As contribuições destacam avanços significativos no desenvolvimento de modelos matemáticos para resolver problemas de localização de instalações. Esses modelos, como o de Programação Linear Inteira Mista e Algoritmos Genéticos, buscam otimizar a eficiência logística ao minimizar custos e maximizar a cobertura de demanda.

Estudos recentes também exploram o uso de meta-heurísticas, como a técnica *relax-and-restrict*, para lidar com instâncias complexas desses problemas, o que pode aumentar a flexibilidade e melhorar a eficiência das redes de suprimento. Outro ponto importante é a aplicação de métodos quantitativos inovadores que permitem a integração de múltiplos critérios, como sustentabilidade, transporte multimodal e incertezas relacionadas à demanda e à oferta, o que amplia as possibilidades de aplicação desses modelos no planejamento logístico.

Os objetivos das pesquisas refletem a necessidade de aprimorar os modelos de localização competitiva e redes de cadeia de suprimentos, considerando aspectos como a maximização dos lucros, a

minimização dos custos e a sustentabilidade. Vários estudos focam no desenvolvimento de modelos matemáticos robustos que integram decisões estratégicas e operacionais, como produção, inventário, localização e distribuição, o Quadro 1 abaixo serve como uma síntese da revisão detalhada mais à frente.

Ademais, observa-se um esforço para criar soluções que considerem as demandas dinâmicas e incertezas, especialmente em contextos como logística humanitária e redes de suprimentos sustentáveis. A pesquisa sobre otimização colaborativa em redes de emergência também se destaca, propondo soluções que minimizam o tempo de resposta e maximizam a satisfação da demanda em cenários de desastre.

Quanto as oportunidades de pesquisa, muitos dos estudos revisados desenvolvem modelos que simplificam demais a realidade, dificultando sua aplicação em cenários mais complexos, com variáveis mais próximas da realidade. Ademais, existem diversos estudos que consideram somente cenários estáticos, onde flutuações monetárias não ocorrem, variações de demanda e mudanças na disponibilidade de recursos são tratadas como não existentes.

A aplicabilidade restrita dos modelos também é um ponto importante de discussão, pois muitos trabalhos desenvolvem modelos que são aplicados em cenários muito específicos, o que dificulta sua adaptação a outros cenários, indústrias, regiões ou condições. A complexidade geométrica também é um ponto deixado de lado nos modelos para localização de instalações, sendo que na prática muitos locais têm terrenos irregulares, montanhosos ou com elevações. Por fim, a sustentabilidade é um fator pouco encontrado na literatura como algo importante para a decisão de um local de instalação, pois maioria dos estudos considera apenas fatores monetários como custos de transporte, construção e operação.

Embora essas contribuições demonstrem o progresso na área, elas tendem a ser altamente específicas e voltadas para problemas matemáticos, o que pode limitar a aplicabilidade em cenários práticos mais amplos. Além disso, há pouca menção a soluções sustentáveis ou centradas no cliente, o que reflete uma possível desconsideração de aspectos que vão além da eficiência operacional.

Quadro 1 - Síntese da revisão sistemática da literatura

TEMA/ASPECTO	TRABALHOS	DETALHAMENTO E OBSERVAÇÕES
Contribuições em Modelos Logísticos e Cadeia de Suprimentos	Drezner e Eiselt (2024), Kidd et al., (2024), Redmer (2022), Palomino et al., (2021), Mankour e Yachba (2022)	As contribuições incluem a introdução de um modelo de matheurística <i>relax-and-restrict</i> para resolver problemas logísticos complexos (Drezner; Eiselt, 2024), além de propostas de novos modelos matemáticos aplicados à cadeia de suprimentos, como a Programação Linear Inteira Mista para otimizar a localização de instalações (Palomino et al., 2024). Também são abordados modelos para otimização de redes de armazéns com foco em custos e distâncias (Mankour; Yachba, 2022).
Lacunas na Literatura sobre Modelos Logísticos	Ren e Tan (2022), Brahami et al., (2020),	As principais lacunas incluem a falta de consideração por aspectos dinâmicos e flutuações na demanda (Ren; Tan, 2022), além da ausência de um

	Mogale et al., (2019), Zhen et al. (2019)	olhar mais detalhado para o impacto ambiental e o uso de modais de transporte alternativos (Brahami et al., 2020). Os modelos também não incorporam adequadamente incertezas no longo prazo (Mogale et al., 2019) e os métodos atualmente são limitados a horizontes de planejamento de curto prazo (Zhen et al., 2019).
Objetivos de Pesquisas em Logística e Cadeia de Suprimentos	Drezner e Eiselt (2024), Kidd et al., (2024), Mankour e Yachba (2022), Unnu e Pazour (2022), Brahami et al., (2020), Ren e Tan (2022)	Os objetivos principais incluem revisar modelos de localização competitiva para maximizar lucros e minimizar custos (Drezner; Eiselt, 2024), formular redes logísticas que integrem todas as decisões de produção, inventário, localização e distribuição (Kidd et al., 2024), e propor otimizações colaborativas para localização de centros de emergência temporários, com foco em minimizar o tempo de resposta e maximizar a satisfação da demanda (Ren; Tan, 2022). Brahami et al. (2020) focam em redes sustentáveis, integrando decisões estratégicas sobre localização e transporte, enquanto Mankour e Yachba (2022) utilizam metaheurísticas para otimizar localizações.

Fonte: Autoria própria (2024)

O Quadro 1 destaca que, apesar dos avanços em otimização e eficiência, a pesquisa em logística e cadeia de suprimentos ainda tem lacunas significativas, principalmente no que diz respeito à flexibilidade, sustentabilidade e dinâmicas de demanda. Modelos mais completos devem emergir, contemplando variáveis ambientais, incertezas de longo prazo e inovações tecnológicas, além de um foco maior na experiência do cliente e nas tendências de mercado.

Ademais, tais observações indicam que, embora a literatura tenha avançado, o campo ainda carece de soluções adaptadas às realidades contemporâneas. Há, portanto, uma oportunidade significativa para pesquisas que tragam uma visão mais holística e integrada para enfrentar os desafios futuros.

Essas lacunas são preocupantes, especialmente em um cenário global em que a demanda por soluções mais sustentáveis e flexíveis tem aumentado. A não inclusão de variáveis ambientais e a falta de planejamento para horizontes mais longos sugerem que muitos modelos logísticos estão desatualizados em relação às demandas modernas. Isso reforça a urgência de criar soluções que integrem sustentabilidade e resiliência em seus conceitos centrais.

5 MODELOS E MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

A presente seção está direcionada a organizar os artigos de acordo com aplicabilidade prática ou teórica, setor, modelos de otimização, uso de softwares de simulação, sistema de informação geográfica e modelos matemáticos.

Quanto a amostra de selecionadas dos 61 estudos, o Quadro 2 revela uma diversidade significativa de abordagens no campo da logística, localização de instalações e gestão da cadeia de suprimentos. Essa análise permite agrupar os objetivos em oito categorias, que variam desde a criação de modelos matemáticos até a utilização de tecnologias avançadas, como sistemas de informação geográfica (GIS).

Quadro 2 - Mapeamento dos objetivos por trabalho

TRABALHO	OBJETIVOS
Drezner e Eiselt (2024)	Revisar os modelos de localizações competitivas, que maximizam lucros e minimizam custos.
Kidd et al. (2024)	Formular um problema de design de rede de cadeia de suprimentos, incluindo as decisões de produção, inventário, localização e distribuição.
Redmer (2022)	Propor um novo modelo matemático, considerando as lacunas encontradas na literatura quanto aos problemas de localização das instalações da perspectiva da cadeia de suprimentos.
Palomino; Garcia e Berdugo (2021)	Projetar um modelo de localização de instalações com limitações de distância para redes de suprimentos.
Mankour e Yachba (2022)	Selecionar uma localização ótima para um armazém através de um método meta-heurístico criado.
Ren e Tan (2022)	Proporcionar uma otimização colaborativa para a alocação de localização de centros de distribuição de emergência temporários, com objetivos de minimizar o tempo de resgate e maximizar a taxa de satisfação da demanda
Atthirawong e Luangpaiboon (2022)	Desenvolver um modelo de decisão baseado em um sistema de Programação Zero Um em Duas Etapas (<i>Two stage – zero one programming system - 2S-ZOPS</i>), combinando o Algoritmo de Otimização por Vírus (<i>Virus Optimization Algorithm - VOA</i>) com uma Busca em Grande Vizinhaça (<i>Large Neighborhood Search - LNS</i>).
Brahmi et al. (2020)	Abordar o problema de design de redes de cadeia de suprimentos sustentáveis, integrando decisões estratégicas relacionadas à localização de instalações com capacidade limitada e à construção de redes de transporte com restrições de capacidade.
Unnu e Pazour (2022)	Analisar as estratégias de redes de distribuição, levando em conta o surgimento de plataformas de armazenamento sob demanda, por meio de um modelo multi-período de localização de instalações desenvolvido para esse fim.
Saldanha-da-Gama (2022)	Desenvolver uma visão geral sobre a localização de instalações, tendo como foco nos setores de logística e transporte, abordando também questões mais complexas, como os modelos matemáticos que contribuíram para avanços em áreas como logística reversa e sustentável.
Lee et al. (2022)	Sugerir localizações estratégicas para centros de distribuição logística global ao longo da iniciativa Cinturão e Rota (<i>Belt and Road – B&R</i>).
Yousefi-Babadi, Bozorgi-Amiri e Tavakkoli-Moghaddam (2021)	Sugerir um método integrado que utilize sistemas de informação geográfica (<i>Geographic Information Systems - GIS</i>) juntamente com um algoritmo de ponderação adequado para a realocação de instalações de armazenamento de trigo.
Çakmak et al. (2021)	Apresentar uma metodologia integrada que combine GIS com uma abordagem meta-heurística (<i>Binary Particle Swarm Optimization - BPSO</i>) para selecionar

	os locais para centros logísticos em áreas metropolitanas, superando as limitações dos modelos matemáticos tradicionais.
Caballero-Morales (2021)	Propor uma nova abordagem para solucionar o problema de localização de instalações utilizando modelos de mistura Gaussianos (<i>Gaussian Mixture Models - GMMs</i>).
Boostani, Jolai e Bozorgi-Amiri (2020)	Elaborar uma rede logística de suporte completa, levando em conta aspectos de planejamento estratégico e tático relacionados à localização de instalações, aquisição e distribuição de recursos.
Merkisz-Guranowska (2020)	Mapear a literatura quanto ao projeto de redes de reciclagem de veículos fora de uso (<i>End Life Vehicles - ELV</i>) e classificar estudos publicados entre 2000 e 2019.
Fu et al. (2020)	Criar e validar uma abordagem de otimização com base em simulação para abordar o problema de localização de instalações e planejamento de capacidade no contexto da iniciativa B&R, levando em conta as incertezas relacionadas às políticas governamentais e à demanda dos clientes.
Maharjan e Hanaoka (2020)	Elaborar um modelo multiobjetivo baseado em credibilidade para a alocação de localizações de socorro diante de incertezas em cenários de desastre, com ênfase em centros logísticos temporários (<i>Temporary Location Hubs - TLHs</i>).
Mogale, Cheikhrouhou e Tiwari (2019)	Elaborar um modelo para o planejamento de uma cadeia de suprimentos de grãos alimentícios, com o objetivo de reduzir os custos totais e as emissões de dióxido de carbono.
Holsbeeck et al. (2020)	Criar um sistema de apoio à decisão em duas etapas para determinar os locais ideais para a conversão de biomassa florestal, levando em consideração a disponibilidade de biomassa, a distância de transporte e os custos envolvidos.
Caballero-Morales (2020)	Criar um conjunto de ferramentas para resolver problemas importantes na logística, como a escolha de localização de instalações, roteirização de veículos e gestão de estoques, permitindo também a exportação dos códigos para visualização e processamento em outras plataformas.
Kwag e Ko (2019)	Sugerir um design otimizado que reduza ao máximo os custos totais da rede logística, considerando a localização e distribuição de fazendas, abatedouros e plantas alimentícias, além de avaliar o impacto em cadeia das instalações Haram na rede Halal.
Zhen et al. (2019)	Abordar um problema de decisão estratégica para definir a localização ideal de (re)fabricantes e centros logísticos, considerando as diferentes escalas das instalações em uma rede integrada de cadeia de suprimentos de circuito fechado.
Szczepański et al. (2019)	Estudar a sensibilidade do problema de localização de armazéns na cadeia de suprimentos, utilizando um modelo de simulação para avaliar o impacto de diferentes parâmetros e distribuições de dados sobre o desempenho da rede logística.
Le et al. (2019)	Identificar a localização ideal para um novo armazém externo, definir sua capacidade e organizar a alocação de produtos entre instalações e mercados, com o objetivo de reduzir o custo logístico total, englobando despesas com transporte e armazenagem.
Rueda-Velasco et al. (2020)	Analisar a configuração atual da cadeia de suprimentos da Bienestarina (um tipo de farinha usada na culinária boliviana) e sugerir melhorias na localização das instalações.
Anand e Pandian (2019)	Desenvolver um modelo de rede de cadeia de suprimentos orientado ao cliente que minimize os custos totais, incluindo transporte, armazenamento e pedidos, ao otimizar a localização de centros de distribuição regionais, a alocação de varejistas a esses centros.
Guo et al. (2018a)	Desenvolver um modelo de programação não linear inteira mista para otimizar a escolha das localizações das instalações e a gestão de estoques.
Guo et al. (2018b)	Analisar um problema de localização, estoque e roteamento visando minimizar o custo total em uma cadeia de suprimentos de circuito fechado, que envolve fluxos de logística tanto direta quanto reversa.
Maharjan e Hanaoka (2018)	Criar um modelo matemático que define a localização de centros logísticos temporários (<i>Temporary Location Hubs - TLHs</i>) para resposta a desastres e apresentar um novo método para determinar os pesos dos objetivos em um problema de otimização multiobjetivo.
Guimarães, Ribeiro e Azevedo-Ferreira (2018)	Realizar uma análise cienciométrica sobre localização de instalações a fim de identificar o perfil da produção científica brasileira.

Eskandarpour, Dejax e Péton (2017)	Sugerir e testar uma nova abordagem para solucionar um problema de projeto de rede de cadeia de suprimentos, utilizando a estrutura de LNS.
Cilacı Tombuş, Aras e Verter (2017)	Examinar as propriedades estruturais da rede, incluindo a localização de centros de retorno com instalações de remanufatura, e avaliar os benefícios de modelar os fluxos diretos e reversos de forma simultânea, em vez de sequencial.
Timperio et al. (2017)	Desenvolver um <i>framework</i> que apoie a tomada de decisão nos aspectos relacionados à localização de instalações.
Afshari et al. (2016)	Tratar e amenizar certas restrições que dificultam a implementação de práticas ecológicas em uma rede de distribuição.
Chaiwuttisak et al. (2016)	Encontrar locais ideais para centros de coleta e distribuição de sangue na Tailândia, com o objetivo de reduzir custos, aumentar a eficiência e garantir a disponibilidade adequada para atender às necessidades da população.
Ghadge et al. (2016)	Desenvolver uma solução para a localização de instalações sustentáveis em uma rede de distribuição de circuito fechado, considerando o ambiente incerto causado por altas taxas de devolução de produtos do varejo online e a necessidade de reduzir as emissões de carbono.
Tian (2016)	Aumentar o lucro líquido propondo um modelo de programação inteira não linear mista.
Hlyal et al. (2015)	Determinar a localização dos armazéns e sua alocação aos portos marítimos e lojas, visando minimizar o custo total e atender à demanda das lojas, respeitando as restrições de capacidade dos armazéns.
Schätter, Wiens e Schultmann, (2015)	Determinar, utilizando métodos locais robustos de decisão multi-atributo, os melhores locais para hospitais de campanha que possam atender rapidamente às vítimas do terremoto no Haiti em 2010.
Baskar A. (2015)	Desenvolver uma solução analítica para problemas de localização de facilidades do tipo Fermat-Weber, buscando minimizar a soma ponderada das distâncias a vários pontos de demanda, com foco em simplificar o problema em configurações simétricas.
Chang e Lin (2015)	Utilizar dados reais de uma empresa de eletrônicos para criar uma estrutura que combine fatores quantitativos e qualitativos na escolha de novos locais para fábricas.
Tokgöz, Alwazzi e Trafalis, (2014)	Criar um algoritmo heurístico eficaz para abordar o problema de localização de uma única instalação integrado com questões de roteamento de veículos em superfícies de Riemann.
Durmuş e Turk (2012)	Analisar os fatores que influenciam a escolha da localização dos armazéns em Istambul e a importância relativa desses fatores, utilizando um modelo de regressão logística.
Mohammadi, Davoudpour e Motamedi (2014)	Desenvolver um modelo matemático para identificar o local ideal para uma nova instalação, como um armazém ou fábrica, em uma cadeia de suprimentos fechada, considerando fatores competitivos.
Rosa et al. (2014)	Apresentar formulação de modelo para o problema de localização de instalações robustas e capacitadas, com o objetivo de enfrentar a incerteza no planejamento. A meta é minimizar a expectativa de arrependimentos relativos em cenários que se estendem por vários períodos.
Brahimi e Khan (2013)	Desenvolver um modelo com demandas variáveis para definir os níveis de estoque dos armazéns no final de cada semana, visando minimizar o custo total, que inclui custos fixos de localização e custos variáveis de produção, estoque, distribuição e manuseio de materiais.
Javadi e Shahrabi (2014)	Desenvolver modelos baseados em <i>clustering</i> espacial que abordem desafios de planejamento urbano, como rios, montanhas e outras barreiras naturais ou artificiais, que costumam complicar a seleção dos melhores locais para novas instalações.
Ivanov, Dimitrova e Dobrudzhaliev (2013)	Determinar os melhores locais para instalar refinarias de biodiesel na Bulgária através de um modelo que leve em conta diversos fatores econômicos, ambientais e sociais para otimizar a localização dessas refinarias, assegurando eficiência e minimizar impactos ambientais.
Lim et al. (2013)	Analisar o impacto da incerteza na estimativa de interrupções aleatórias nas decisões de localização de instalações, além de avaliar o custo total esperado em diferentes cenários de interrupção e propor um modelo para otimizar redes de distribuição e reduzir custos adicionais.

Lee et al. (2013)	Criar um modelo de rede logística integrada que melhore a eficiência e reduza custos e tempo de envio, considerando tanto fluxos diretos quanto reversos em sistemas de logística terceirizada (<i>Third-party logistics</i> - 3PLs).
Huang, Zhang e Liu (2013)	Criar um modelo para otimizar a configuração da cadeia de suprimentos na China, considerando mudanças econômicas recentes e ajudando fabricantes a maximizar lucros e gerenciar riscos associados.
Roh, Jang e Han (2013)	Analisar os fatores que influenciam a escolha de locais para armazéns em logística humanitária, como estabilidade política, custos e cooperação local, para otimizar a resposta a emergências.
Dubke e Pizzolato (2011)	Desenvolver um modelo de localização para terminais especializados na cadeia de suprimentos de soja, combinando transbordo e modelos de localização capacitada, e considerando as atividades de serviço e a capacidade dos portos marítimos.
Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009)	Revisar a literatura sobre problemas de localização de instalações no gerenciamento da cadeia de suprimentos, explorando como esses modelos são integrados nas decisões estratégicas, considerando aspectos como incerteza, múltiplos produtos e períodos de planejamento.
Ho, Lee e Ho (2008)	Criar uma abordagem integrada de decisão multicritério usando AHP e programação por metas para otimizar a localização e alocação de instalações em uma cadeia de suprimentos, maximizando benefícios para fornecedores e competitividade.
Ukkusuri e Yushimito (2008)	Desenvolver um modelo matemático para otimizar o pré-posicionamento de suprimentos em locais estratégicos, melhorando a confiabilidade e a eficiência na entrega de suprimentos críticos em situações de desastre.
Manzini e Gebennini (2008)	Desenvolver modelos de otimização para localização e alocação dinâmica de instalações, ajudando na gestão de redes logísticas complexas e alocando a demanda de clientes de forma eficiente ao longo do tempo.
Sahyouni, Savaskan e Daskin (2007)	Desenvolver modelos de localização de instalações que otimizem a distribuição e coleta de produtos em redes logísticas bidirecionais. A pesquisa compara os custos totais entre soluções que integram decisões de logística direta e reversa e aquelas que as tratam separadamente.
Manzini, Gamberi e Regattieri (2006)	Desenvolver modelos de programação linear inteira mista para otimizar a localização de instalações e alocação de demanda em uma rede logística, visando reduzir custos e melhorar o atendimento ao cliente.
Syam (2002)	Desenvolver um modelo integrado para otimizar a localização de plantas e armazéns, os fluxos de distribuição e as frequências de remessas, considerando custos logísticos como transporte e armazenamento.

Fonte: Autoria própria (2024)

(i) Modelagem Matemática e Algoritmos, composta por 14 estudos, cerca de 23% da amostra, envolvendo as temáticas de desenvolvimento de modelos matemáticos e algoritmos para resolver problemas complexos de localização e logística. Por exemplo, Guo et al. (2018a) propõem um modelo de programação não linear inteira mista para otimizar a escolha de locais de instalação, enquanto Maharjan e Hanaoka (2018) propuseram um modelo para a localização de centros logísticos temporários em cenários de desastres. Essas abordagens matemáticas são essenciais para otimizar decisões e minimizar custos em redes de suprimentos.

(ii) Metaheurísticas e Otimização Avançada somam 16% da amostra, refletindo a crescente importância de algoritmos complexos na solução de problemas de localização e roteirização. Atthirawong e Luangpaiboon (2022) desenvolveram um sistema de Programação Zero Um em Duas Etapas, combinando o Algoritmo de Otimização por Vírus (VOA) com uma Busca em Grande Vizinhança para

otimizar decisões logísticas. Esses métodos são amplamente utilizados devido à sua eficiência na resolução de problemas que envolvem grandes quantidades de variáveis e restrições.

(iii) Redes de Transporte e Distribuição inclui 13% dos estudos que analisam a localização de armazéns e centros logísticos em redes de transporte. Le et al. (2019) se propõem a identificar a localização ideal de um novo armazém externo e otimizar a alocação de produtos para reduzir o custo total logístico. Tais pesquisas são fundamentais para a criação de redes de distribuição eficientes, que maximizam a utilização de recursos e minimizam custos operacionais.

(iv) Logística de Emergência e Resposta a Desastres é outra área significativa, responsável por 11% da amostra com estudos voltados para otimizar a alocação de recursos em situações emergenciais. Modelos como esse são essenciais para melhorar a resposta logística em crises, garantindo que recursos críticos cheguem rapidamente aos locais afetados. Ren e Tan (2022) desenvolvem uma abordagem colaborativa para a alocação de centros de distribuição de emergência, visando minimizar o tempo de resgate e maximizar a satisfação da demanda em cenários de catástrofe.

(v) Revisões de Literatura e Análises Quantitativas, que reúne 11% dos estudos que fornecem uma visão abrangente da evolução acadêmica e prática na área de localização e logística. Tais estudos tem uma contribuição semelhante a esse estudo, como Merkisz-Guranowska (2020) que explora estudos relacionado a redes de reciclagem de veículos fora de uso, avaliando publicações ao longo de quase duas décadas e classifica as abordagens utilizadas.

(vi) Sustentabilidade e Logística Verde, abrange 10% da amostra com focado na integração de práticas sustentáveis às cadeias de suprimentos. A crescente necessidade de práticas ecologicamente corretas em logística é um tema central nessa categoria, com abordagens que buscam reduzir emissões de carbono e implementar soluções verdes em redes de distribuição. Brahami et al. (2020) enfrenta o desafio de projetar redes de suprimentos sustentáveis, abordando questões como a limitação de capacidade das instalações e as exigências ambientais.

(vii) Logística Reversa e Cadeia de Suprimento de ciclo fechado, corresponde a 10% das explorações dos estudos, tendo como foco as soluções para cadeias de suprimento que envolvem tanto fluxos diretos quanto reversos. Zhen et al. (2019) exemplificam esse grupo com seu trabalho sobre a localização ideal de centros de remanufatura em uma rede integrada de cadeia de suprimentos de circuito fechado, abordando tanto logística direta quanto reversa para reduzir custos e melhorar a eficiência.

(viii) Tecnologia e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) 6% exploram a utilização de tecnologias como o GIS para melhorar a eficiência logística. Yousefi-Babadi, Bozorgi-Amiri e Tavakkoli-Moghaddam (2021) se propõem a integrar o GIS com um algoritmo de ponderação para realocação de

instalações de armazenamento. Essas inovações tecnológicas permitem uma análise geoespacial mais precisa e auxiliam na tomada de decisões de localização.

Por fim, é possível afirmar que a amostra selecionada aborda em amplitude os tópicos no campo da logística e gestão da cadeia de suprimentos, refletindo avanços em modelagem matemática, sustentabilidade, otimização avançada, tecnologias emergentes e logística de emergência.

Quadro 3 - Contribuições dos trabalhos mapeados

TRABALHO	CONTRIBUIÇÕES
Drezner e Eiselt (2024)	Mapeia a literatura, classificando os materiais encontrados conforme os métodos utilizados e suas respectivas vantagens / desvantagens de aplicação no ambiente organizacional.
Kidd et al. (2024)	Desenvolve-se de uma heurística eficiente chamada <i>relax-and-restrict</i> , capaz de resolver grandes instâncias do problema, com resultados que mostram como a flexibilidade pode melhorar o desempenho logístico e reduzir custos. O estudo também oferece insights gerenciais valiosos sobre o impacto da flexibilidade no design de redes de suprimentos
Redmer (2022)	Apresenta modelos matemáticos do Problema de Localização de Instalações (<i>Facility Location Problem - FLP</i>) aplicados a cadeias de suprimentos, permitindo otimização de redes logísticas ao minimizar custos e maximizar a cobertura de pontos de demanda. Novos modelos são propostos, aumentando as opções para o planejamento logístico.
Palomino; Garcia e Berdugo (2021)	Desenvolve um modelo de localização de instalações baseado em Programação Linear Inteira Mista. A principal contribuição está no ajuste de valor de distância para atender à demanda, utilizando o serviço de mapeamento da Google Maps.
Mankour e Yachba (2022)	Aborda o FLP no contexto de cadeias de suprimentos, propondo o uso de um Algoritmo Genético (GA) para otimizar a localização de armazéns. A abordagem FLP-GA, desenvolvida pelos autores, busca minimizar custos e distâncias, oferecendo uma solução eficiente para a seleção de locais de armazéns.
Ren e Tan (2022)	Propõe um modelo de otimização colaborativa para a alocação de centros temporários de distribuição de emergência, considerando incertezas tanto na demanda quanto no fornecimento. Também aborda a necessidade de minimizar o tempo de resposta em situações de desastre e maximizar a taxa de satisfação da demanda por recursos de emergência.
Atthirawong e Luangpaiboon (2022)	Desenvolve um sistema de otimização para melhorar a distribuição de fluidos de diálise peritoneal na Tailândia, combinando o algoritmo de otimização por vírus com uma busca em grande vizinhança.
Brahmi et al. (2020)	É proposto um modelo que combina simultaneamente decisões ambientais, localização de instalações e construção de redes de transporte, levando em conta as capacidades limitadas de instalações e ligações, além de minimizar as emissões de carbono.
Unnu e Pazour (2022)	Formulação de um modelo que considera diferentes tipos de instalações de distribuição (auto-distribuição, terceirizadas e sob demanda) em diferentes períodos, fornecendo uma análise quantitativa de como essas alternativas podem ser usadas para melhorar a eficiência das redes de distribuição. O estudo também oferece uma análise detalhada sobre quando o armazenamento sob demanda é mais eficaz, considerando fatores como a disponibilidade de capacidade, os padrões de demanda e as exigências de resposta.
Saldanha-da-Gama (2022)	Explora diversas aplicações da localização de instalações, com foco em modelos matemáticos, e oferece insights sobre as mudanças esperadas com a transição da Indústria 4.0 para 5.0, além de abordar desafios para organizações orientadas por dados.

Lee et al. (2022)	Propôs uma agenda de pesquisa e um conjunto de métodos para quantificar e validar o valor estratégico das localizações dos países menos desenvolvidos no contexto da B&R.
Yousefi-Babadi, Bozorgi-Amiri e Tavakkoli-Moghaddam (2021)	A metodologia proposta pode ser aplicada por tomadores de decisão para encontrar os melhores locais de realocação para instalações de armazenamento de trigo como a parte principal da cadeia de suprimentos de pão de trigo, a fim de evitar a subotimização e melhorar a eficiência de sua cadeia de suprimentos.
Çakmak et al. (2021)	As principais contribuições deste estudo incluem o desenvolvimento de uma abordagem inovadora que combina GIS e BPSO, oferecendo uma solução eficiente para o problema de seleção de locais para centros logísticos, que pode ser aplicada por planejadores urbanos e gestores de cadeia de suprimentos. O modelo proposto foi aplicado a Istambul, uma das maiores cidades do mundo, demonstrando sua utilidade em ambientes urbanos complexos.
Caballero-Morales (2021)	Esse foi o primeiro modelo baseado em mistura gaussiana com o algoritmo de maximização da expectativa, utilizando a metaheurística de redução da dispersão gaussiana (DRG).
Boostani, Jolai e Bozorgi-Amiri (2020)	Estabelece de forma quantitativa rotas e localizações de instalações para aliviar uma cadeia de suprimento sobrecarregada por um possível desastre, seja ele natural ou causado pelo homem.
Merkisz-Guranowska (2020)	Foi feita uma análise detalhada de 41 artigos revisados por pares, abordando questões como o tipo de cadeia de suprimentos, problema de otimização e técnicas de modelagem aplicadas, além de discutir a metodologia dos estudos e propor recomendações para pesquisas futuras, especialmente no contexto da sustentabilidade.
Fu et al. (2020)	Propõe uma nova abordagem de otimização baseada em simulação que considera as incertezas nas políticas governamentais e na demanda dos clientes dentro da iniciativa B&R. Ele oferece insights gerenciais e sugestões de políticas úteis.
Maharjan e Hanaoka (2020)	O trabalho oferece uma base para modelos de localização variável no tempo e sugere que futuras pesquisas se concentrem em simplificar a solução para centros logísticos temporários. Também recomenda a incorporação do período de resposta como incerteza em modelos matemáticos para obter respostas mais precisas.
Mogale, Cheikhrouhou e Tiwari (2019)	Investigar a sustentabilidade na cadeia de suprimentos de grãos alimentícios por meio de um modelo matemático biobjetivo. Esse modelo foi desenvolvido para apoiar o processo decisório estratégico e tático da Corporação de Alimentos da Índia (FCI), levando em consideração critérios econômicos e ambientais.
Holsbeeck et al. (2020)	É proposto um modelo que leva em conta a incerteza na demanda e no retorno dos clientes em uma rede de cadeia de suprimentos de circuito fechado. Apresenta uma abordagem de solução que, embora consuma tempo, melhora a precisão em relação às soluções anteriores, além de integrar elementos práticos do mundo real, como a capacidade dos veículos e a disposição de produtos retornados.
Caballero-Morales (2020)	O trabalho fornece um almanaque da logística com códigos úteis para resolver diversos problemas na área e apresenta limitações e possíveis melhorias para futuros pesquisadores.
Kwag e Ko (2019)	O estudo contribui transformando regras Halal em elementos quantitativos para otimizar redes logísticas de alimentos Halal e introduz um novo modelo matemático que considera o "efeito em cadeia" das instalações Haram, garantindo a integridade Halal em toda a rede.
Zhen et al. (2019)	Formulou um modelo de programação não linear inteira mista estocástico, além de um algoritmo heurístico de Busca Tabu Aprimorada (<i>Improved Tabu Search</i> - ITS).
Szczepański et al. (2019)	Desenvolve um modelo de simulação no FLEXSIM para testar cenários e avaliar a resistência do sistema a perturbações. Também apresenta um método

	heurístico baseado no algoritmo Busacker-Gowen para otimizar a localização dos armazéns, ilustrando a aplicação prática de modelos matemáticos e simulações na tomada de decisões estratégicas de logística.
Le et al. (2019)	Um problema real de larga escala da indústria foi resolvido de forma otimizada usando um modelo de programação linear inteira mista. Uma análise de sensibilidade também foi aplicada em três parâmetros principais, demanda do produto, custo unitário de transporte e custo unitário de armazenagem.
Rueda-Velasco et al. (2020)	O trabalho apresenta resultados importantes para a cadeia de suprimentos da farinha mágica boliviana, que é usada para matar a fome de muitas pessoas como base da alimentação. Ajudando o governo boliviano a projetar políticas de produção.
Anand e Pandian (2019)	Introduz um método de aproximação contínua para resolver problemas de localização e alocação de instalações, oferecendo uma ferramenta de análise robusta para decisões de gestão, e a incorporação de diferentes tipos de custos de transporte em um modelo integrado
Guo et al. (2018a)	Preenche uma lacuna na literatura sobre Cadeias de Suprimentos de Ciclo Fechado ao considerar tanto mercados primário quanto secundário. Cria um modelo de programação não linear inteira mista para otimizar a localização das instalações e o gerenciamento de inventário, modelando com precisão os fluxos logísticos entre os mercados.
Guo et al. (2018b)	O estudo aborda um problema complexo de localização-estoque-roteamento em uma cadeia de suprimentos e propõe um algoritmo genético adaptativo com reconhecimento simulado para resolvê-lo eficientemente, utilizando casos práticos como a capacidade dos veículos.
Maharjan e Hanaoka (2018)	Cria um modelo matemático para TLHs e propõe um novo método para determinar pesos dos objetivos, abordando a falta de consideração simultânea de múltiplos atores e objetivos na logística humanitária.
Guimarães, Ribeiro e Azevedo-Ferreira (2018)	É realizada a identificação de um crescente interesse acadêmico e governamental pelo tema no Brasil, a análise das redes de colaboração internacionais e a sugestão de novas áreas de pesquisa, como a incorporação de questões ambientais nos modelos matemáticos.
Eskandarpour, Dejax e Péton (2017)	Introdução de um modelo que integra decisões estratégicas de localização e seleção de modos de transporte em um cenário multimodal, destacando a flexibilidade e eficiência da heurística LNS para problemas de design de redes complexos, especialmente em comparação com métodos tradicionais. Além disso, o trabalho realiza uma extensa avaliação experimental com cenários realistas para validar a eficácia do método.
Cilacı Tombuş, Aras e Verter (2017)	É introduzido um método analítico para tomar decisões estruturais simultâneas, como a localização de centros de distribuição e retorno, bem como a comparação entre um design integrado e uma abordagem sequencial, revelando que o design integrado pode gerar economias significativas.
Timperio et al. (2017)	Oferece uma estrutura de suporte à decisão para a localização de instalações para funcionários do governo, ONGs e agências da ONU, ajudando na gestão de problemas semelhantes.
Afshari et al. (2016)	Apresenta uma abordagem para o problema de localização de instalações em Cadeias de Suprimentos de Ciclo Fechado sob incerteza, integrando fluxos diretos e reversos.
Chaiwuttisak et al. (2016)	Aplica pesquisa operacional para melhorar a eficiência dos serviços de saúde pública na Tailândia, analisando como diferentes configurações de centros de coleta e distribuição afetam custos e eficácia. A metodologia desenvolvida pode ser adaptada para otimizar redes de distribuição em saúde em outros países e contextos semelhantes.
Ghadge et al. (2016)	O artigo cria um modelo contemporâneo que pode levar em conta múltiplos fatores (por exemplo, custos operacionais e de transporte e riscos da cadeia de suprimentos) ao mesmo tempo em que melhora o desempenho em sustentabilidade ambiental.

Tian (2016)	Desenvolve heurísticas para resolver o problema e métodos para avaliar sua qualidade, testados com dados reais de uma empresa multinacional
Hlyal et al. (2015)	Por meio da aplicação da abordagem apresentada neste artigo para um caso real de uma empresa de distribuição marroquina, também se verifica que ela é uma ferramenta eficaz para análise, projeto e projeção de redes de distribuição quanto à sua robustez e estabilidade.
Schätter, Wiens e Schultmann, (2015)	O artigo utiliza um sistema de apoio a decisão inovador para reduzir riscos em operações de logística humanitária, adaptável a diferentes desastres, utilizando uma abordagem multicritério para considerar fatores como gravidade, logística e recursos, permitindo decisões informadas. O sistema integra dados em tempo real para uma resposta rápida e ajustada às mudanças no terreno e nas necessidades das populações afetadas.
Baskar A. (2015)	Propõe um método inovador para simplificar a análise de localização de facilidades e problemas de alta dimensionalidade, com aplicações em logística, planejamento urbano e otimização de recursos empresariais.
Chang e Lin (2015)	Este artigo adapta o <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) para incorporar fatores quantitativos e qualitativos obtidos por meio de entrevistas em profundidade com gerentes de alto escalão de uma empresa na decisão de localização.
Tokgöz, Alwazzi e Trafalis, (2014)	O estudo introduz um novo algoritmo heurístico para resolver problemas de localização e roteamento em superfícies de Riemann, representando uma contribuição relevante para pesquisa em otimização e logística, o que o diferencia da maioria dos estudos, que se concentram em ambientes euclidianos.
Durmuş e Turk (2012)	Identifica os fatores chave para selecionar locais de armazéns intraurbanos em Istambul, oferecendo informações práticas para planejadores urbanos e gestores de logística. O estudo de caso real fornece insights valiosos para decisões sobre infraestrutura urbana e políticas de planejamento.
Mohammadi, Davoudpour e Motamedi (2014)	Desenvolveu-se um modelo analítico inovador para a localização de instalações, que considera explicitamente a competição e outros fatores da cadeia de suprimentos. Ao incorporar a competição direta entre instalações, o modelo oferece uma abordagem diferenciada em relação aos modelos tradicionais de localização.
Rosa et al. (2014)	O trabalho desenvolve um modelo que integra localização, inventário e roteamento em uma cadeia logística de circuito fechado com veículos de capacidade limitada e produtos retornados. Utiliza um algoritmo híbrido de recozimento simulado e genético, sendo mais eficiente e preciso que métodos anteriores, com potencial para auxiliar no planejamento logístico de cadeias reversas.
Brahimi e Khan (2013)	O trabalho combina decisões de localização de armazéns com produção, inventário e distribuição, otimizando a cadeia de suprimentos. Propõe um modelo de programação inteira mista que considera custos e demanda, auxiliando decisões mais eficazes. Também inclui uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto de variações nos parâmetros.
Javadi e Shahrabi (2014)	Apresenta modelos de <i>clustering</i> espacial que incorporam obstáculos geográficos para melhorar o planejamento urbano, oferecendo uma abordagem mais realista para a localização de instalações e ajudando gestores a otimizar a distribuição de forma mais eficiente.
Ivanov, Dimitrova e Dobrudzhaliyev (2013)	Cria um modelo de otimização geoespacial que considera proximidade de matérias-primas, acessibilidade a mercados, infraestrutura de transporte e impacto ambiental. O mesmo ajuda planejadores e investidores no setor de biocombustíveis a tomar decisões estratégicas sobre a localização de refinarias.
Lim et al. (2013)	Introduz um modelo que lida com a incerteza na estimativa de interrupções e desenvolve estratégias para mitigar seus impactos. Destaca que subestimar a probabilidade de interrupção pode levar a custos mais altos do que superestimá-la. Oferece insights para planejamento de capacidade e alocação de recursos para tornar redes de distribuição mais resilientes.

Lee et al. (2013)	Desenvolve um modelo integrado de logística direta e reversa com instalações híbridas, oferecendo uma solução mais econômica e flexível. Realiza análises de sensibilidade para avaliar o impacto das taxas de retorno e reparo nos custos totais.
Huang, Zhang e Liu (2013)	O estudo analisa como mudanças no ambiente de negócios afetam a competitividade de custos na China e apresenta um modelo para cadeias de suprimentos no modelo " <i>front-shop-back-factory</i> ". Destaca a importância dos clusters industriais e fornece insights sobre realocação de produção e operações comerciais em Hong Kong.
Roh, Jang e Han (2013)	O estudo identifica e prioriza fatores críticos para a localização de armazéns em contextos humanitários, oferecendo um modelo para melhorar a eficiência logística e proporcionar respostas mais rápidas e eficazes em desastres e crises.
Dubke e Pizzolato (2011)	É aplicado um modelo de localização que combina transbordo e localização capacitada para otimizar terminais logísticos na cadeia de suprimentos de soja, maximizando a rentabilidade dos exportadores e analisando a sensibilidade a custos e preços internacionais.
Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009)	Mapeia a literatura sobre localização de instalações em SCM, categorizando modelos e identificando lacunas na pesquisa, como a integração de incertezas e a consideração de logística reversa. O estudo sugere direções para futuras pesquisas, promovendo o desenvolvimento de modelos mais realistas e integrados.
Ho, Lee e Ho (2008)	O estudo propõe uma abordagem que integra critérios quantitativos e qualitativos na decisão de localização de instalações e distribuição de produtos na cadeia de suprimentos. O modelo é mais prático e aplicável do que técnicas tradicionais, equilibrando os interesses de fornecedores e clientes, ao contrário de métodos que focam apenas em fatores quantitativos.
Ukkusuri e Yushimito (2008)	Introduz uma nova abordagem que combina o problema de localização de instalações com o problema de roteamento, levando em consideração a confiabilidade da rede de transporte. Isso oferece uma solução mais robusta e eficiente para o pré-posicionamento de estoques em cadeias de suprimentos humanitárias, permitindo uma melhor preparação e resposta a desastres.
Manzini e Gebennini (2008)	Os modelos otimizam a localização e alocação de instalações em redes logísticas, considerando custos e prazos. Usam programação linear inteira mista para lidar com múltiplas commodities e períodos, melhorando a eficiência das operações logísticas.
Sahyouni, Savaskan e Daskin (2007)	O estudo introduz modelos e um algoritmo para otimizar a localização de centros de coleta de produtos usados e a gestão de fluxos de retorno, reduzindo custos de instalação e transporte. Também propõe uma medida de similaridade de redes para analisar configurações logísticas e melhorar a compreensão da logística bidirecional.
Manzini, Gamberi e Regattieri (2006)	O estudo apresenta modelos para otimizar o tempo de atraso na entrega de produtos, reduzindo custos e dimensões das plantas em redes logísticas complexas. Sugere futuras pesquisas em modelos multi-período e restrições adicionais para melhorar o serviço ao cliente e considerar capacidades finitas.
Syam (2002)	O estudo compara duas metodologias heurísticas para localização e consolidação de remessas: recozimento simulado e relaxação lagrangeana. A relaxação lagrangeana é mais eficiente para problemas maiores, enquanto o recozimento simulado pode ser melhor para problemas menores com mais tempo de execução.

Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto as contribuições do estudo, o Quadro 3 revelou uma distribuição variada das contribuições no campo da logística e gestão de cadeias de suprimentos. 23% dos estudos estão focados no desenvolvimento de modelos matemáticos e algoritmos, evidenciando a importância de soluções matemáticas para resolver problemas de localização de instalações e otimização logística.

Redmer (2022) apresenta modelos matemáticos aplicados ao Problema de Localização de Instalações (FLP), permitindo a otimização de redes logísticas ao minimizar custos e maximizar a cobertura de demanda. Esses modelos são essenciais para melhorar a eficiência e reduzir os custos nas cadeias de suprimentos.

Logo em seguida, o uso de meta-heurísticas e técnicas avançadas de otimização é responsável por 18% dos estudos, tais métodos são amplamente aplicados para resolver problemas complexos de grande escala. Kidd et al. (2024) desenvolveu a meta-heurística *relax-and-restrict*, capaz de otimizar redes logísticas em grandes instâncias, demonstrando como a flexibilidade no design pode melhorar o desempenho e reduzir custos. A aplicação de algoritmos avançados permite que as empresas lidem com a complexidade crescente das operações logísticas e obtenham soluções mais eficientes.

A logística reversa e cadeias de suprimentos fechadas também têm destaque, com 12% dos estudos, como Holsbeeck et al. (2020) que propõem modelos que integram a incerteza na demanda e no retorno de produtos em redes logísticas de circuito fechado, trazendo soluções práticas para melhorar a precisão e eficiência dos processos de devolução e reciclagem. Esse foco é particularmente relevante no contexto de sustentabilidade e economia circular, onde a logística reversa desempenha um papel vital.

Outro campo relevante é a logística de emergência e resposta a desastres, com 10% da amostra, Ren e Tan (2022) avançam na literatura propondo um modelo colaborativo para a alocação de centros temporários de distribuição de emergência, que visa minimizar o tempo de resposta e maximizar a satisfação da demanda em situações de crise. Essas soluções são cruciais para melhorar a agilidade e eficiência das redes logísticas em cenários de emergência, assegurando uma resposta rápida e eficaz.

O uso de tecnologias e ferramentas avançadas é responsável por 10%, como sistemas de informação geográfica (GIS), Palomino, Garcia e Bergudo (2021) desenvolvem um modelo de localização utilizando o serviço de mapeamento do *Google Maps*, otimizando a alocação de instalações logísticas com base em dados geográficos em tempo real. Esse tipo de tecnologia traz novos níveis de precisão e flexibilidade para a tomada de decisões logísticas, integrando dados de várias fontes em tempo real.

As contribuições focadas em redes de transporte e distribuição somam 12% dos estudos, evidenciando a importância do design eficiente de redes para a otimização de custos e tempos de entrega. Li et al. (2019) aplica programação linear inteira mista para resolver um problema de larga escala envolvendo a localização de armazéns e sua alocação a portos marítimos, minimizando custos totais de transporte e armazenagem. A otimização dessas redes é essencial para garantir a competitividade e a eficiência das operações logísticas.

Contribuições relacionadas à sustentabilidade e logística verde estão presentes em 7% dos estudos, Brahami et al. (2020) mostra como a capacidade das plantas produtivas pode contribuir para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos mais sustentáveis, com impactos positivos na redução de emissões e no uso eficiente de recursos. Essas contribuições refletem a crescente preocupação com o impacto ambiental das operações logísticas e a necessidade de integrar práticas sustentáveis no design de redes.

Finalmente, 8% dos trabalhos são dedicados a análises quantitativas e revisões de literatura, que fornecem uma visão abrangente do estado atual da pesquisa e propõem direções futuras. Merkisz-Guranowska (2020) realiza uma análise detalhada de 41 artigos sobre redes de cadeias de suprimentos, discutindo metodologias aplicadas e propondo recomendações para o desenvolvimento de modelos mais sustentáveis.

Essa análise quantitativa destaca as áreas de maior foco nas contribuições, com a predominância de modelos matemáticos e algoritmos, além da crescente aplicação de heurísticas e meta-heurísticas para a resolução de problemas logísticos complexos. Ao mesmo tempo, o interesse por soluções sustentáveis e logística de emergência reflete as demandas atuais do mercado por redes mais resilientes, eficientes e ambientalmente responsáveis.

6 AGENDA DE PESQUISA

Este trabalho propõe uma agenda de pesquisa baseada em lacunas identificadas na literatura, e descritas no Quadro 3. Essa agenda de pesquisa busca direcionar os esforços futuros, tais avanços têm o potencial de transformar a forma como as organizações e governos tomam decisões sobre localização de instalações e gestão de cadeias de suprimentos, tornando esses processos mais eficientes e sustentáveis no longo prazo.

6.1 MODELOS QUE SIMPLIFICAM A REALIDADE

Os modelos de otimização apresentados no Quadro 4 abaixo frequentemente apresentam uma simplificação excessiva da realidade, como no caso de Fu et al. (2020), o que compromete sua aplicação em cenários mais complexos, além de que muitas abordagens assumem que as variáveis envolvidas, como demanda, custos e capacidades, são estáticas ou facilmente medidas, é o que acontece no trabalho de Manzini e Gebennini (2008) quando na verdade esses fatores podem ser dinâmicos, conectados e influenciados por muitas variáveis externas, como regulamentações regionais, condições econômicas e ambientais. A questão de pesquisa fundamental que surge nesse contexto é: **“como esses modelos podem ser aprimorados para refletir a complexidade do mundo real, incluindo múltiplos fatores interdependentes que variam ao longo do tempo e espaço?”**.

Um avanço significativo na literatura seria o desenvolvimento de modelos que capturem a dinâmica e a interconectividade entre diversos fatores. Em vez de tratar variáveis como independentes ou de influência limitada, esses novos modelos poderiam integrar uma análise mais holística, considerando interações entre demanda, custos logísticos, restrições geográficas, infraestrutura disponível, e políticas governamentais. A aplicação de simulação baseada em agentes, por exemplo, poderia modelar o comportamento de diferentes atores no sistema, como fornecedores, transportadoras e consumidores, em tempo real. Esses agentes, com suas próprias metas e restrições, poderiam interagir de maneira complexa, gerando cenários mais realistas para a localização de instalações.

Outro caminho promissor seria o uso de modelos híbridos, que combinem diferentes abordagens de otimização, como a programação linear com heurísticas adaptativas ou meta-heurísticas. Isso permitiria ao modelo lidar com problemas de escala e complexidade maiores, acomodando múltiplos objetivos e restrições.

Quadro 4 - Lacunas da literatura

TRABALHO	LACUNAS PRESENTES NA LITERATURA
Drezner e Eiselt (2024)	Não consideram métodos intuitivos, como lista ponderada, ponto de equilíbrio.
Kidd et al. (2024)	Aplicação restrita a contextos em que a terceirização de armazéns e a flexibilidade nas datas de entrega são práticas comuns. Incluindo estudos que analisem os desafios para resolver grandes instâncias do problema devido à sua complexidade.
Redmer (2022)	Abordagem teórica e genérica dos modelos, o que pode restringir sua aplicação em cenários práticos específicos e industriais
Palomino; Garcia e Berdugo (2021)	O modelo proposto pode ser melhorado, incluindo características decisórias relevantes como a produção de vários produtos, taxas de câmbio, variações de preços, impostos etc.
Mankour e Yachba (2022)	Os critérios usados para determinação da localização foram apenas custo e distância entre clientes, tornando o método limitado
Ren e Tan (2022)	Considera apenas a demanda estática de suprimentos de emergência, enquanto a demanda em resposta a emergências é alterada periodicamente, o que exige uma pesquisa dinâmica de logística de emergência no futuro.
Atthirawong e Luangpaiboon (2022)	Os parâmetros iniciais usados no modelo decisório não foram ideais, o que teve um impacto grande nos resultados, gerando soluções sub ótimas.
Brahmi et al. (2020)	Investir na análise e estudos de casos associados as emissões de CO2 como único indicador ambiental. Ademais, o modelo poderia ter considerado mais critérios como diferentes modos de transporte, cada um com seu respectivo custo, além de qualidade ambiental, abrangendo assim áreas que possuam mais de um modal de transporte para distribuição
Unnu e Pazour (2022)	O modelo criado apenas avaliar as entregas de caminhão, podendo inserir diferentes modo de transporte, tornado o modelo mais robusto.
Saldanha-da-Gama (2022)	Não apresenta métodos de simulação ou métodos mais qualitativos que seriam mais intuitivos.
Lee et al. (2022)	As localizações estratégicas foram propostas sem o uso de qualquer método ou modelo quantitativo, ou seja, muito mais seguindo uma intuição e levando em consideração a posição estratégica da china, a análise dos centros de distribuição foi explorativa
Yousefi-Babadi, Bozorgi-Amiri e Tavakkoli-Moghaddam (2021)	Não há uma análise mais adequada das instalações de armazenamento de trigo, bem como de sua posição estratégica na cadeia de suprimentos, e há uma falta de consideração pela sustentabilidade na localização das instalações de armazenamento de trigo, apesar de sua importância particular para a cadeia de suprimentos.
Çakmak et al. (2021)	Dependência da precisão dos dados GIS, que pode influenciar os resultados, e a dificuldade de aplicar a metodologia diretamente em outras cidades sem ajustes. Além disso, a abordagem requer recursos computacionais elevados para problemas de maior escala, o que pode limitar sua aplicação.
Caballero-Morales (2021)	Apesar dos resultados obtidos terem sido bons, os melhores métodos para serem utilizados junto com o CCCP ainda são a Busca-Tabu e a Busca por agrupamento (CS).
Boostani, Jolai e Bozorgi-Amiri (2020)	No modelo aplicado, não foi considerado que em um cenário de desastre algum centro de distribuição ou algum fornecedor seriam incapacitados ou destruídos, assim como não foi utilizado como critério mais de um modo de transporte.
Merkisz-Guranowska (2020)	Os modelos revisados carecem de atenção aos aspectos ambientais e sociais, concentrando-se em otimizações econômicas. Muitos adotam um contexto estático, desconsiderando incertezas e mudanças ao

	longo do tempo, o que limita sua aplicação em problemas de larga escala e em cenários reais.
Fu et al. (2020)	Dependência de modelos de simulação que podem simplificar demais a complexidade real e a necessidade de ajustes para aplicação em outros contextos além do B&R.
Maharjan e Hanaoka (2020)	O trabalho apresenta um modelo baseado em localização variável no tempo torna a solução complexa que pode levar muito tempo para ser conseguida, ao passo que em cenários de desastre, onde cada segundo conta, é necessária uma resposta rápida com alto nível de confiança.
Mogale, Cheikhrouhou e Tiwari (2019)	Foco exclusivo em critérios econômicos e ambientais, deixando de lado o aspecto social da sustentabilidade. Além disso, o modelo não considera incertezas na demanda e no abastecimento. Outra limitação é a não inclusão do tempo de trânsito como uma variável de otimização.
Holsbeeck et al. (2020)	Considera apenas um horizonte de planejamento de curto prazo, sem abranger totalmente as variáveis relacionadas ao armazenamento de longo prazo. Também é feita uma simplificação no tratamento da demanda, que é descrita por distribuições estatísticas que podem não refletir completamente as dinâmicas reais dos fluxos logísticos.
Caballero-Morales (2020)	Não foi feito do sistema de informações geográficas, nem de nenhuma meta-heurística, como busca tabu ou busca por agrupamento. Também não foi utilizada nenhuma função objetivo para maximizar ou minimizar.
Kwag e Ko (2019)	Por tratar de desenvolver um design ótimo para uma rede de distribuição de alimentos Halal, o modelo desenvolvido torna-se muito específico, o que o impede de ser aplicado em muitas outras áreas ou situações.
Zhen et al. (2019)	O modelo considera a incerteza na demanda e no retorno dos clientes na CLSC, mas ignora a natureza dinâmica dessas flutuações, o que complicaria o modelo. Além disso, a abordagem de solução é relativamente demorada.
Szczeptański et al. (2019)	O modelo é simplificado, focando em um horizonte de curto prazo e desconsiderando custos variáveis, como armazenamento a longo prazo. A análise é limitada pela precisão das distribuições estatísticas da demanda, que podem não refletir totalmente a dinâmica real dos fluxos logísticos.
Le et al. (2019)	Como o problema foi abordado por meio de programação linear inteira mista, o esforço computacional para alcançar uma solução ótima é significativo. Uma alternativa seria resolver o problema utilizando uma abordagem estocástica ou meta-heurística.
Rueda-Velasco et al. (2020)	Não foram levados em conta o roteamento, os custos de privatização ou os problemas táticos e operacionais associados à escolha da localização das instalações.
Anand e Pandian (2019)	Simplifica a complexidade real do sistema de cadeia de suprimentos para viabilizar o modelo proposto, assumindo algumas condições que podem não refletir completamente a realidade, como limites de capacidade e produtos múltiplos.
Guo et al. (2018a)	Presume-se que a distribuição entre centros de distribuição e coleta híbridos e zonas de clientes é idêntica nos mercados primário e secundário. No entanto, seria mais flexível relaxar essa suposição e considerar diferentes distribuições para cada mercado.
Guo et al. (2018b)	Permitir que haja uma relação muitos-para-muitos entre veículos e varejistas, além de modificar a premissa de que um varejista seja visitado por um veículo em todos os dias úteis.
Maharjan e Hanaoka (2018)	Os tomadores de decisão são considerados homogêneos (que todos irão tomar as mesmas decisões), o que dificilmente será o caso na realidade, de modo que deve ser considerado a natureza estocástica da demanda por alívio.

Guimarães, Ribeiro e Azevedo-Ferreira (2018)	Dependência de uma única base de dados, o que pode excluir publicações relevantes em outras plataformas, e o uso de palavras-chave específicas que podem restringir o alcance dos resultados.
Eskandarpour, Dejax e Péton (2017)	Dependência de operadores de remoção e reparo que podem ser sensíveis à estrutura do problema, o que pode afetar o desempenho em certos cenários. Também há restrições relacionadas ao fato de que o modelo é resolvido para um período único, o que limita sua aplicabilidade em contextos de planejamento de longo prazo com múltiplos períodos e demandas variáveis.
Cilacı Tombuş, Aras e Verter (2017)	Dependência de parâmetros de entrada específicos, como a taxa de retorno e a capacidade de remanufatura, que podem não ser totalmente precisos ou estáveis em aplicações reais. A modelagem se baseia em um conjunto de premissas, como a homogeneidade dos custos de transporte e processamento entre diferentes instalações, o que pode limitar sua aplicabilidade em cenários mais complexos
Timperio et al. (2017)	A precisão dos resultados depende da qualidade dos dados sobre demanda de sangue, custos de transporte e localização geográfica. A implementação prática pode ser limitada por restrições geográficas, infraestrutura deficiente e outros fatores logísticos não considerados pelo modelo.
Afshari et al. (2016)	O modelo apesar de bem robusto não considera as operações de produção e nem as decisões de design das plantas. Também não foi considerada a configuração da cadeia de suprimentos na fase inicial de design de produto/modular, seleção de material e processo de fabricação.
Chaiwuttisak et al. (2016)	A precisão dos resultados depende da qualidade / disponibilidade dos dados sobre demanda de sangue, custos de transporte e localização geográfica. A implementação prática dos resultados pode ser limitada por restrições geográficas, infraestrutura deficiente, e outros fatores logísticos não contemplados pelo modelo
Ghadge et al. (2016)	O modelo proposto não leva em conta fatores externos como limites de velocidade e congestionamento, nem a demanda regional do cliente. Além disso, a robustez do modelo híbrido não foi testada em comparação com outras abordagens convencionais.
Tian (2016)	A abordagem estática não considera as variações nas taxas de câmbio e nos custos ao longo do tempo, indicando a necessidade de formulações multiperíodo para refletir melhor a realidade.
Hlyal et al. (2015)	Possibilidade limitada da aplicabilidade do modelo a outros contextos com características diferentes. O uso de algoritmos genéticos, embora eficiente para o problema apresentado, pode não garantir a solução ótima em todos os casos, devido à natureza heurística da abordagem.
Schätter, Wiens e Schultmann, (2015)	Criar e implementar um sistema de apoio a decisão <i>ad hoc</i> pode ser complexo e exigir muitos recursos, especialmente em regiões com infraestrutura limitada. O desempenho do sistema depende de dados precisos e atualizados, que podem ser difíceis de obter em situações de desastre. O uso eficaz do sistema pode precisar de treinamento especializado, o que pode não ser viável em crises em que o tempo é crítico.
Baskar A. (2015)	Foca em problemas de localização com configurações simétricas de pontos de demanda e reduz o número de pontos de demanda, o que pode não ser aplicável a todos os casos. Embora soluções analíticas sejam vantajosas, a abordagem pode não ser viável para problemas com geometria complexa ou distribuições assimétricas de demanda, limitando sua utilidade.
Chang e Lin (2015)	O AHP depende de julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão para atribuir pesos aos critérios e subcritérios. Isso pode introduzir vieses pessoais que afetam os resultados. À medida que o número de critérios e subcritérios aumenta, o modelo AHP pode se tornar muito

	complexo, tornando mais difícil para os tomadores de decisão processarem todas as informações de maneira eficaz.
Tokgöz, Alwazzi e Trafalis, (2014)	Em casos mais complexos ou de grande escala, o algoritmo pode ter limitações em termos de tempo de execução e recursos computacionais necessários. O modelo depende de suposições simplificadoras sobre a natureza da superfície de Riemann e os parâmetros do problema podem não se aplicar a todos os cenários do mundo real.
Durmuş e Turk (2012)	O estudo de caso limita a generalização para outras cidades com diferentes características. Ademais, os números de fatores considerados e pela qualidade dos dados também são limitantes, considerando que a metodologia impede uma avaliação completa da abrangência das conclusões.
Mohammadi, Davoudpour e Motamedi (2014)	O modelo matemático usa simplificações que podem não refletir mudanças reais em demanda, flutuações de mercado ou políticas. Sua eficácia depende de dados precisos e atualizados; dados imprecisos podem resultar em soluções subótimas.
Rosa et al. (2014)	Considera incertezas relacionadas à demanda e ao retorno de clientes, mas não aborda completamente a natureza dinâmica dessas variáveis, que podem flutuar de forma significativa ao longo do tempo. Esse aspecto dinâmico não é integrado ao modelo, o que pode dificultar a sua aplicação em situações mais complexas e reais.
Brahimi e Khan (2013)	O modelo faz suposições simplificadoras, como demanda constante e custos fixos de transporte, que podem não refletir a realidade das operações. Embora aplicável à indústria de óleo lubrificante, a generalização para outros setores pode exigir ajustes significativos devido às diferenças nas cadeias de suprimentos.
Javadi e Shahrabi (2014)	Os modelos desenvolvidos simplificam aspectos complexos do ambiente urbano, como a diversidade e irregularidade dos obstáculos, limitando sua aplicabilidade em situações reais complexas e podem se tornar computacionalmente intensivos, exigindo grande poder de processamento para problemas de larga escala.
Ivanov, Dimitrova e Dobrudzhaliiev (2013)	É baseado em dados específicos limitando sua aplicabilidade a outras regiões com características diferentes. Assume que parâmetros como custos de transporte e disponibilidade de matérias-primas são constantes, o que não reflete a dinâmica dos mercados de biocombustíveis.
Lim et al. (2013)	Considera que todas as instalações têm características e custos uniformes, o que não reflete a realidade das redes de distribuição. Também considera uma capacidade fixa e protegida das instalações, sem levar em conta a variabilidade da demanda ou flexibilidade na capacidade.
Lee et al. (2013)	Supõe que os locais das instalações são conhecidos e ignora o roteamento de veículos. Considera que apenas fábricas podem reparar produtos e que nenhuma instalação está aberta no início do planejamento. Além disso, usa parâmetros fixos para custos e capacidades, o que limita sua aplicabilidade em cenários com variabilidades dinâmicas.
Huang, Zhang e Liu (2013)	Simplifica o problema ao assumir custos de transporte lineares em relação aos preços do petróleo e ao não considerar mudanças de capacidade, focando apenas nas operações existentes. Além disso, concentra-se em produtos intensivos em mão de obra na região do Delta do Rio das Pérolas, o que pode não refletir a diversidade global de produtos e estratégias de fabricação.
Roh, Jang e Han (2013)	Abordagem que não considerar todas as variáveis relevantes em situações de crise, já que o modelo utilizado se baseia em dados históricos e suposições que podem não refletir plenamente a complexidade e a imprevisibilidade das operações de ajuda humanitária.

Dubke e Pizzolato (2011)	Usa dados de 2004, que podem não refletir o mercado atual. Assume capacidade média anual das instalações, ignorando a sazonalidade da produção e dos custos de transporte. Também não considera impactos ambientais e sociais de novas infraestruturas portuárias.
Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009)	Os modelos revisados assumem dados determinísticos, ignorando a incerteza real das cadeias de suprimentos. Eles também falham em integrar decisões estratégicas e operacionais, e simplificam excessivamente a estrutura das redes, limitando a aplicabilidade em cenários complexos.
Ho, Lee e Ho (2008)	A consideração de recursos limitados e a aplicação do modelo em um estudo de caso específico, o que pode restringir a generalização dos resultados para outros contextos ou tipos de cadeia de suprimentos. A abordagem também requer a coleta de dados realistas sobre coeficientes e valores de limite superior, o que pode ser desafiador em situações práticas.
Ukkusuri e Yushimito (2008)	O modelo assume a independência das falhas entre os diferentes links da rede, o que pode não refletir completamente as condições reais em que múltiplas falhas correlacionadas podem ocorrer. Além disso, o estudo utiliza um conjunto específico de redes de transporte para teste, o que pode limitar a generalização dos resultados para outras configurações ou contextos logísticos.
Manzini e Gebennini (2008)	São utilizadas demandas conhecidas e determinísticas, ignorando incertezas e variações estocásticas na demanda e nos tempos de entrega. Também simplifica a realidade ao considerar custos constantes de armazenamento e produção.
Sahyouni, Savaskan e Daskin (2007)	Assume valores fixos de retorno e custos de transporte lineares, ignorando as complexidades reais. Também presume que as instalações são facilmente adaptáveis e não considera variações estocásticas na demanda ou nos retornos de produtos, o que pode impactar decisões operacionais.
Manzini, Gamberi e Regattieri (2006)	Simplifica a rede logística real ao reduzir o número de clientes a pontos de demanda virtual e ao tratar todos os produtos como homogêneos, o que pode não refletir com precisão as condições operacionais.
Syam (2002)	A complexidade inerente do problema, que é de natureza combinatória (NP-completo) e extremamente difícil de resolver, especialmente em casos de médio e grande porte. Além disso, as metodologias propostas podem ser sensíveis aos parâmetros escolhidos, e o método de recozimento simulado pode exigir tempo computacional significativo para alcançar soluções de alta qualidade

Fonte: Autoria própria (2024)

Além disso, a inclusão de cenários dinâmicos nos modelos ajudaria a antecipar como fatores como o crescimento populacional, mudanças climáticas ou crises econômicas podem impactar a viabilidade das localizações selecionadas ao longo do tempo. Dessa forma, os modelos não apenas dariam uma resposta ótima para um único ponto no tempo, mas forneceriam soluções robustas e adaptativas que pudessem evoluir conforme as condições mudam.

A interconectividade entre variáveis também exige a consideração de aspectos mais específicos, como a regulamentação regional e as mudanças na infraestrutura. Por exemplo, uma instalação pode ser economicamente viável em um determinado momento, mas alterações em subsídios fiscais ou na legislação ambiental podem tornar essa localização inadequada a longo prazo. Os novos modelos devem

ser capazes de incorporar previsões sobre essas mudanças regulatórias, permitindo uma análise mais precisa de riscos e benefícios.

Em síntese, o avanço nesse campo exige que os modelos de otimização para localização de instalações capturem a complexidade do mundo real, integrando fatores dinâmicos e interconectados. Modelos baseados em simulação e abordagens híbridas podem fornecer soluções mais robustas e adaptáveis, ajudando a garantir que as decisões tomadas sejam sustentáveis e eficientes, mesmo em cenários incertos e em constante mudança.

6.2 CENÁRIOS ESTÁTICOS

Uma das principais limitações identificadas nos trabalhos revisados no Quadro 3 é a dependência de cenários estáticos, onde fatores como flutuações monetárias, variações de demanda e mudanças na disponibilidade de recursos ao longo do tempo não são considerados, o que ocorre por exemplo no trabalho de Mohammadi, Davoudpour e Motamedi (2014). Ao ignorarem a dinâmica temporal, estes trabalhos podem fornecer soluções ótimas apenas para um momento fixo no tempo, falhando em transmitir a realidade de um ambiente em constante mudança. A questão de pesquisa que emerge é: **“como incorporar flutuações e variações temporais em modelos de otimização”, “como ter resultados mais precisos e realistas dos desafios enfrentados pelas empresas e cadeias de suprimento?”**.

Para avançar nessa questão, uma solução promissora é a exploração de modelos estocásticos e de programação dinâmica, visto que eles permitem a inclusão de incertezas e probabilidades associadas a variáveis como preços de insumos, custos de transporte, demanda e até mesmo mudanças regulatórias. Esses modelos criam cenários que capturam as flutuações e variabilidades inerentes ao ambiente econômico e industrial.

A programação dinâmica, por sua vez, pode ser utilizada para desdobrar decisões ao longo do tempo, permitindo que os modelos ajustem a localização de instalações ou a alocação de recursos à medida que novas informações se tornam disponíveis ou que as condições econômicas mudem. Outrossim, as variações de preços e inflação ao longo do tempo também podem ser incorporadas de forma mais precisa em modelos que simulam diferentes cenários econômicos.

Um modelo que integra essas variações seria capaz de prever o impacto de flutuações no custo dos materiais ou no valor da mão-de-obra, fornecendo uma solução mais robusta para a tomada de decisão. Esse tipo de modelo não apenas responde às condições atuais, mas também permite que as organizações planejem suas estratégias com base em previsões de cenários futuros. Por exemplo, um modelo estocástico

poderia gerar cenários econômicos em que a inflação aumenta drasticamente, permitindo que a localização escolhida para uma instalação seja viável tanto no curto quanto no longo prazo, mesmo em ambientes voláteis.

Outro avanço importante seria a inclusão de variações na demanda e disponibilidade de recursos ao longo do tempo, pois a demanda por produtos ou serviços não é estática; ela muda com base em fatores como ciclos econômicos, sazonalidade e preferências dos consumidores. Incluindo essas variáveis nos modelos de otimização, seria possível ajustar a localização de instalações para maximizar a eficiência e reduzir custos em diferentes estágios de crescimento ou retração da demanda.

Por exemplo: uma fábrica localizada estrategicamente para atender uma demanda crescente poderia se tornar inviável em uma recessão econômica. Um modelo que considerasse esses fatores poderia sugerir localizações mais assertivas e adaptáveis às variações do mercado.

Além disso, a disponibilidade de recursos, como matéria-prima e mão-de-obra, também varia ao longo do tempo e entre diferentes regiões. Considerar essas flutuações pode melhorar a resiliência das cadeias de suprimento, escolhendo localizações que não apenas sejam eficientes em termos de custo, mas que também garantam uma disponibilidade confiável de recursos, mesmo em períodos de escassez.

Em resumo, para superar a limitação dos cenários estáticos, é necessário desenvolver modelos de otimização que incorporem a variabilidade temporal e o dinamismo inerente à economia e à demanda de mercado. A integração de programação dinâmica e modelos estocásticos oferece um caminho promissor para refletir a realidade mais complexa, permitindo que empresas e governos tomem decisões mais eficazes e adaptáveis no longo prazo.

6.3 APLICABILIDADE RESTRITA DOS MODELOS

Uma limitação recorrente na literatura observada no Quadro 3 é a aplicação restrita desses modelos a cenários muito específicos, visto que muitos estudos como o de Kwag e Ko (2019) desenvolvem modelos que funcionam bem em um determinado contexto, mas que exigem adaptações significativas para serem aplicados em outras indústrias, regiões ou condições. A questão central é: “**como criar modelos de otimização flexíveis que possam ser aplicados a diferentes cenários sem grandes modificações estruturais?**”. Para enfrentar essa lacuna, é necessário avançar na criação de *frameworks* mais adaptáveis e modulares, capazes de lidar com diferentes requisitos e variáveis específicas de cada situação. Uma direção promissora para resolver essa limitação é o desenvolvimento de modelos parametrizados e modulares, entendendo que esses modelos seriam construídos de forma que as variáveis

principais, como custos de transporte, demanda, e disponibilidade de recursos, pudessem ser ajustadas por meio de parâmetros configuráveis.

Um *framework* modular permitiria que diferentes componentes do modelo fossem ajustados conforme necessário, sem alterar a estrutura fundamental. Por exemplo, em vez de reestruturar completamente um modelo para adaptá-lo a uma nova indústria, bastaria ajustar os módulos de custos ou demanda para refletir as condições específicas daquele setor.

A criação de *frameworks* baseados em aprendizado de máquina também poderia contribuir significativamente para a flexibilidade dos modelos de otimização, aplicando técnicas de aprendizado supervisionado ou não supervisionado que podem ser utilizadas para treinar os modelos com dados históricos de diferentes cenários, permitindo que o sistema "aprenda" as melhores estratégias de localização com base em vários contextos.

Esse tipo de abordagem reduziria a necessidade de reconfigurações manuais, já que o modelo seria capaz de adaptar suas previsões e otimizações com base nos dados específicos de cada novo cenário. Por exemplo, um modelo treinado com dados de diferentes indústrias poderia prever automaticamente a melhor localização de uma instalação em uma nova indústria com base em padrões detectados em contextos similares.

Outra abordagem potencialmente eficaz seria o uso de métodos de otimização adaptativa. Em vez de utilizar um modelo fixo que fornece uma única solução, métodos adaptativos ajustam continuamente a solução com base em novos dados ou mudanças nas condições de mercado. Esses métodos são particularmente úteis em contextos em que as variáveis-chave, como custos de operação, variam ao longo do tempo ou entre diferentes regiões. Ao incorporar técnicas adaptativas, os modelos de localização de instalações se tornariam mais versáteis e resilientes a mudanças, tornando-se aplicáveis a uma variedade maior de cenários.

Um exemplo claro de como os modelos modulares e adaptativos podem ser úteis é no contexto de cadeias de suprimento globais. As condições econômicas, regulatórias e geográficas variam amplamente entre diferentes regiões, e um modelo de localização de instalações que funcione bem na América do Norte pode ser ineficaz na Ásia, devido a diferenças nas infraestruturas de transporte, políticas fiscais, ou até questões culturais e sociais.

Um modelo parametrizado, que permitisse ajustar facilmente essas variáveis, seria aplicável em ambos os contextos com muito menos esforço de adaptação. Adicionalmente, se o modelo fosse adaptativo, ele poderia ajustar as localizações sugeridas à medida que as condições locais mudassem, como variações em tarifas comerciais ou alterações nos custos de mão-de-obra.

Outro aspecto crucial é o desenvolvimento de modelos flexíveis capazes de lidar com diferentes escalas de aplicação. Por exemplo, um modelo que funcione bem para a otimização de pequenas redes de distribuição local pode não ser eficaz para cadeias de suprimento globais, onde as variáveis são mais complexas e interconectadas. Ademais, outro avanço na literatura é o desenvolvimento de *frameworks* escaláveis, que possam ser ajustados para funcionar tanto em pequenas quanto em grandes cadeias de suprimento, permitindo que o mesmo modelo seja utilizado em diferentes níveis de operação, de forma eficiente.

Em resumo, o caminho para superar a aplicabilidade restrita dos modelos de otimização para localização de instalações envolve a criação de frameworks modulares, parametrizados e baseados em aprendizado de máquina, que permitam ajustes fáceis e rápidos a diferentes cenários e condições. A inclusão de métodos adaptativos e a consideração da escalabilidade dos modelos também são estratégias fundamentais para garantir que as soluções propostas sejam aplicáveis em uma ampla gama de indústrias e regiões, oferecendo maior flexibilidade e eficiência no longo prazo.

6.4 MODELOS NÃO CONSIDERAM A COMPLEXIDADE GEOMÉTRICA

A maioria dos modelos tratados na literatura, assim como o de Anand e Pandian (2019) assumem que o terreno sobre o qual as instalações serão colocadas é uma superfície plana, ou seja, euclidiana como pode ser visto no Quadro 3. No entanto, na prática, muitos locais têm terrenos irregulares, montanhosos, ou com elevações e declives que afetam significativamente tanto a construção quanto a logística.

O aprofundamento nessa temática ainda é incipiente, de forma que é crucial que os estudos considerem a geometria mais complexa, como superfícies de Riemann, como o estudo de Tokgöz, Alwazzi e Trafalis (2014) pode servir como ponto de partida, pois estes estudos representam melhor essas variações do terreno. Isso abre uma questão de pesquisa fundamental: **“como a incorporação de terrenos não-euclidianos, com suas características mais realistas, pode melhorar a precisão dos modelos de otimização para localização de instalações?”**.

A primeira necessidade é entender os impactos das variações geográficas na escolha da localização. A suposição de que o terreno é plano simplifica o cálculo das distâncias e dos custos de transporte, mas, no mundo real, terrenos irregulares podem aumentar consideravelmente esses custos. Por exemplo, a construção em áreas montanhosas pode exigir investimentos substanciais em infraestrutura, como nivelamento de solo, pontes e túneis, além de afetar o tempo e o custo de transporte de mercadorias.

Ignorar esses fatores pode levar à escolha de localizações que, embora pareçam ótimas em um modelo euclidiano, não são viáveis financeiramente no mundo real, e incorporar superfícies não-euclidianas nos modelos permitiria uma estimativa mais precisa dos custos logísticos e das dificuldades de construção.

A geometria diferencial, especificamente a teoria das superfícies de Riemann, oferece uma abordagem mais sofisticada para modelar essas variações no terreno. Utilizando esse tipo de geometria, seria possível representar de forma precisa a curvatura do terreno e suas elevações, ajustando os cálculos de distâncias e custos logísticos para refletir essas realidades. Um modelo que leva em consideração superfícies de Riemann poderia, por exemplo, calcular rotas de transporte otimizadas, considerando não apenas a distância horizontal entre dois pontos, mas também o esforço adicional necessário para atravessar colinas, vales ou desníveis. Isso resultaria em uma alocação mais precisa das instalações e em soluções que consideram tanto o custo quanto o impacto ambiental da construção e operação em terrenos complexos.

O uso de modelagem geoespacial avançada e algoritmos de otimização não-euclidiana também pode ser uma solução inovadora para integrar o relevo e outras variáveis geográficas no processo de decisão. Modelos baseados em sistemas de informações geográficas (GIS) já são amplamente utilizados para mapear terrenos e calcular rotas de transporte, mas muitas vezes são tratados como uma etapa separada do processo de otimização.

Integrar diretamente esses dados no modelo de otimização para localização de instalações criaria uma abordagem mais holística e precisa, pois, ao combinar dados topográficos detalhados com algoritmos de otimização, seria possível gerar localizações que otimizem tanto os custos de transporte quanto a viabilidade de construção, reduzindo riscos e custos inesperados durante a execução do projeto.

Outro aspecto importante é a modelagem de impactos ambientais em terrenos não-euclidianos. Construções em áreas montanhosas ou com relevo irregular muitas vezes resultam em maiores impactos ambientais, como desmatamento, erosão e alteração de cursos d'água. Modelos que considerem superfícies de Riemann também podem incluir esses fatores ambientais como parte do processo de otimização, permitindo uma escolha mais sustentável e menos impactante.

Por exemplo, um modelo que leve em conta tanto o custo financeiro quanto o impacto ambiental da construção em terrenos irregulares podem fornecer soluções mais equilibradas, priorizando localizações que minimizem a destruição do habitat natural, ao mesmo tempo que reduzem custos operacionais.

Além da consideração de terrenos não-euclidianos para otimizar o transporte e a construção, a infraestrutura e a acessibilidade também são afetadas pelo relevo. Modelos que desconsideram elevações

podem subestimar as dificuldades logísticas relacionadas à distribuição de energia, água ou redes de comunicação em regiões montanhosas ou acidentadas, e incluindo essas variáveis, é possível prever de maneira mais realista as necessidades de infraestrutura e os custos associados, evitando subdimensionamentos ou surpresas durante a implementação do projeto.

Por exemplo, áreas de difícil acesso podem exigir redes de transporte mais sofisticadas, como teleféricos, ou soluções alternativas de energia, como a solar em áreas elevadas. Por fim, é importante ressaltar que a integração de dados geoespaciais e a modelagem de superfícies não-euclidianas exigem um nível de sofisticação computacional elevado. Entretanto, com os avanços em capacidade de processamento e algoritmos de otimização, é possível gerar soluções em tempo hábil, mesmo para terrenos complexos e grandes áreas.

A implementação de técnicas como a otimização combinatória em superfícies de Riemann e a simulação de cenários geoespaciais dinâmicos pode representar um avanço significativo na acurácia e utilidade prática dos modelos de localização de instalações. Em resumo, a desconsideração de terrenos não-euclidianos nos modelos de otimização representa uma limitação significativa, que pode ser superada por meio do uso de técnicas de geometria avançada, modelagem geoespacial e algoritmos de otimização adaptados para superfícies complexas.

Isso resultará em soluções mais precisas e realistas, considerando não apenas os custos financeiros, mas também os impactos ambientais e logísticos associados à construção e operação em terrenos irregulares. Esses avanços proporcionarão uma abordagem mais integrada e sustentável para a localização de instalações em diferentes regiões e condições geográficas.

6.5 DEPENDÊNCIA DA PRECISÃO E CONFIABILIDADE DOS DADOS

A dependência de dados de alta precisão, como no trabalho de Çakmak et al. (2021), também foi uma lacuna bem frequente nos trabalhos revisados na literatura Quadro 3. Muitos modelos assumem que os dados utilizados para alimentar as variáveis de entrada, como demanda, custos de transporte, disponibilidade de recursos e infraestruturas, são perfeitamente precisos e atualizados, mas na realidade, esses dados muitas vezes apresentam incertezas, imprecisões ou até lacunas, especialmente em cenários onde as informações são escassas ou obtidas de fontes de qualidade questionável.

Esta dependência pode comprometer significativamente a eficácia dos modelos, levando a decisões subótimas ou até erradas. A questão de pesquisa que surge a partir dessa lacuna é: “**como lidar com a incerteza e a baixa confiabilidade dos dados na otimização da localização de instalações?**”.

Uma primeira abordagem para resolver essa questão seria o desenvolvimento de modelos robustos que possam acomodar variações e imprecisões nos dados sem comprometer a qualidade das

soluções. A otimização robusta é uma técnica que visa criar soluções que sejam "insensíveis" a pequenas variações nos dados de entrada pois ao invés de gerar uma solução ótima para um conjunto específico de dados, a otimização robusta busca soluções que permaneçam eficazes mesmo diante de cenários adversos ou de dados incertos.

Isso é particularmente útil em situações em que os dados são voláteis ou sujeitos a mudanças frequentes, como em mercados emergentes ou em regiões com infraestrutura de dados limitada. Assim, em vez de depender de um único conjunto de dados fixo, os modelos robustos consideram um intervalo de valores possíveis para cada variável, garantindo que a solução seja adequada mesmo nos piores cenários.

Técnicas de otimização estocástica também podem ser exploradas para lidar com a incerteza dos dados, uma vez que este modelo introduz elementos probabilísticos nos modelos, permitindo que as variações nos dados sejam tratadas como variáveis aleatórias, pois assim, ao invés de utilizar dados estáticos, o modelo considera distribuições probabilísticas para variáveis-chave, como demanda ou custos, gerando soluções que maximizam o desempenho esperado em uma variedade de cenários possíveis.

Essa abordagem é particularmente útil em contextos em que os dados são incertos, mas existem informações sobre a distribuição das possíveis variações, como flutuações sazonais na demanda ou volatilidade nos preços dos combustíveis. Ao integrar essas incertezas diretamente no modelo, a otimização estocástica proporciona soluções mais realistas e resilientes.

Outro avanço promissor é a utilização de modelos *deep learning* e algoritmos de aprendizado de máquina, que podem ajudar a identificar padrões ocultos em conjuntos de dados ruidosos ou incompletos. Ao treinar os modelos com grandes volumes de dados, é possível que eles aprendam a "preencher" lacunas ou a inferir a confiabilidade dos dados com base em contextos históricos semelhantes.

Por exemplo, se um modelo de localização de instalações recebe dados de demanda incompletos de uma determinada região, ele pode usar dados de regiões ou períodos similares para estimar valores ausentes ou ajustar os valores existentes. Isso permite que o modelo opere mesmo em situações em que os dados disponíveis são limitados ou de baixa qualidade, ao mesmo tempo em que melhora a precisão das previsões e a robustez das soluções.

Além disso, é importante destacar o uso de sensores internet das coisas (IoT) e *big data* como fontes de dados complementares para melhorar a precisão dos modelos, esses sensores conectados podem fornecer dados em tempo real sobre variáveis críticas, como condições de tráfego, níveis de estoque, ou até mesmo consumo energético, permitindo uma atualização contínua dos modelos de otimização.

Ao integrar essas fontes de dados dinâmicas, os modelos podem ajustar suas soluções conforme as condições mudam, garantindo decisões mais precisas e ágeis. Por exemplo, um modelo que monitora

os níveis de estoque em tempo real em diferentes centros de distribuição pode ajustar automaticamente a localização de novas instalações ou a rota de transporte para minimizar custos e tempos de entrega.

Outro aspecto a ser considerado é o tratamento da qualidade e confiabilidade dos dados na fase de coleta e preparação desenvolvendo metodologias que avaliem a confiabilidade dos dados antes de utilizá-los no modelo de otimização, isso pode prevenir a entrada de dados problemáticos. Métodos como análise de consistência de dados, verificação cruzada com fontes alternativas e técnicas estatísticas para identificar outliers e erros podem ser aplicados para garantir que os dados de entrada tenham um nível mínimo de precisão. Isso inclui a criação de sistemas que sejam capazes de identificar automaticamente quando os dados são inconsistentes ou incompletos e notificar os tomadores de decisão antes de continuar com o processo de otimização.

Enfim os modelos híbridos combinam diferentes abordagens de otimização (robusta, estocástica, baseada em aprendizado de máquina), podem ser a chave para superar os desafios relacionados à incerteza nos dados, pois ao integrar diferentes métodos que lidam com a variabilidade e imprecisão dos dados, esses modelos oferecem soluções mais abrangentes e adaptáveis.

Por exemplo, um modelo híbrido pode utilizar técnicas de aprendizado profundo para identificar padrões em dados ruidosos e, ao mesmo tempo, aplicar otimização robusta para garantir que as soluções sejam eficazes diante de incertezas residuais. Isso não só melhora a resiliência das soluções de localização, como também aumenta a flexibilidade dos modelos para operar em cenários onde os dados são escassos ou de baixa qualidade.

Em resumo, a dependência de dados de alta precisão pode ser superada com o desenvolvimento de modelos mais resilientes, que utilizem técnicas como otimização robusta, estocástica, aprendizado profundo e integração de *big data* em tempo real. Essas abordagens permitirão que os modelos de localização de instalações funcionem de maneira eficaz mesmo diante de incertezas e imprecisões nos dados de entrada, fornecendo soluções mais realistas e confiáveis para uma ampla gama de cenários e contextos operacionais. Isso resultará em uma otimização mais eficiente e robusta, capaz de enfrentar os desafios da variabilidade dos dados no mundo real.

6.6 FALTA DE CRITÉRIOS ASSOCIADOS SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade tem se tomado um fator cada vez mais crucial no planejamento de localização de instalações, mas ainda é pouco considerada nos modelos tradicionais de otimização, como foi percebido no Quadro 3. A maioria desses modelos, a exemplo de Mogale, Cheikhrouhou e Tiwari (2020), prioriza variáveis econômicas, como custos de transporte, construção e operação, sem levar em conta de maneira adequada os impactos ambientais e sociais das decisões de localização.

Tal temática cria uma lacuna significativa, já que empresas e governos enfrentam pressões crescentes para reduzir emissões de carbono, minimizar o uso de recursos naturais e gerar benefícios socioeconômicos para as comunidades locais. A questão central de pesquisa que emerge desta lacuna é: **“Como incorporar critérios de sustentabilidade na otimização da localização de instalações e nas cadeias de suprimentos?”**.

Um dos caminhos mais promissores para enfrentar esse desafio é o desenvolvimento de modelos de otimização multicritério, que considerem tanto variáveis econômicas quanto ambientais e sociais. Esses modelos podem incorporar métricas de sustentabilidade, como a pegada de carbono, consumo de água, uso de energia renovável, geração de resíduos, e impactos no uso do solo.

Por exemplo, ao otimizar a localização de uma instalação, o modelo poderia ponderar a distância aos mercados consumidores (reduzindo as emissões de transporte), a proximidade de fontes de energia limpa (minimizando o uso de combustíveis fósseis), e o impacto na biodiversidade local (evitando áreas ambientalmente sensíveis). A otimização multicritério permite que as organizações tomem decisões que equilibrem a eficiência econômica com a responsabilidade ambiental, gerando soluções que maximizem a sustentabilidade sem comprometer a viabilidade financeira.

Além disso, a adoção de práticas de otimização *green / circular / sustainability supply chain* pode ser uma abordagem inovadora para integrar a sustentabilidade em todos os níveis da cadeia de suprimentos. Em vez de focar apenas na localização ideal de instalações, a otimização dessas cadeias de suprimentos busca minimizar os impactos ambientais ao longo de toda a cadeia, desde a extração de matéria-prima até a entrega ao consumidor final.

Isso inclui a seleção de fornecedores comprometidos com práticas sustentáveis, a minimização de resíduos e o uso de embalagens recicláveis, além de rotas de transporte eficientes que reduzam a emissão de poluentes. Ao otimizar a cadeia de suprimentos com uma abordagem verde, empresas podem não apenas atender às demandas regulatórias e sociais, mas também melhorar sua reputação e atratividade no mercado.

A inclusão de indicadores de sustentabilidade mensuráveis também é fundamental para a construção de modelos mais robustos, levando em conta que para a sustentabilidade ser efetivamente considerada na otimização, é necessário desenvolver métricas precisas que possam ser incorporadas nos cálculos. Um exemplo de indicador é a pegada de carbono, que mede as emissões de gases de efeito estufa associadas à construção e operação de uma instalação, e outros indicadores importantes podem incluir o uso eficiente de recursos naturais, como o consumo de água ou a utilização de materiais recicláveis e os impactos sociais, como a criação de empregos locais ou a melhoria da infraestrutura para as comunidades.

Ao incorporar esses indicadores nos modelos de otimização, é possível identificar soluções que maximizem os benefícios socioambientais, ao mesmo tempo que atendem às metas econômicas. Um desafio relacionado é o impacto do transporte nas emissões e nos custos ambientais, pois muitos modelos de otimização de localização focam em minimizar a distância ou o tempo de transporte para reduzir os custos logísticos, mas sem considerar adequadamente as emissões de carbono e outros impactos ambientais do transporte de mercadorias.

Modelos de transporte sustentável podem incluir variáveis que considerem o uso de veículos elétricos, rotas otimizadas para reduzir o consumo de combustível, e a integração de modais de transporte menos poluentes, como o transporte ferroviário ou marítimo.

Ao desenvolver um modelo que leve em conta não apenas o custo financeiro do transporte, mas também o impacto ambiental, seria possível criar soluções mais equilibradas entre eficiência logística e sustentabilidade. Por exemplo, ao otimizar a localização de uma instalação, um modelo poderia preferir locais que permitam o uso de modais de transporte mais limpos ou que reduzam significativamente as emissões, mesmo que os custos operacionais iniciais sejam um pouco maiores.

Além disso, outra abordagem promissora é a integração de análises do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment* - LCA) nos modelos de otimização. A análise do ciclo de vida avalia os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de toda a sua existência, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Integrar LCA em modelos de otimização de localização de instalações permitiria considerar os impactos ambientais cumulativos associados a cada decisão, como a escolha de materiais de construção sustentáveis, a eficiência energética da operação e o tratamento de resíduos. Dessa forma, a localização de instalações não seria decidida apenas com base em custos e eficiência imediata, mas com uma visão de longo prazo sobre a sustentabilidade ambiental.

Outro ponto importante é a consideração das externalidades positivas e negativas das decisões de localização no desenvolvimento regional. A instalação de uma planta industrial, por exemplo, pode gerar benefícios sociais, como a criação de empregos e o desenvolvimento da infraestrutura local, mas também pode gerar impactos negativos, como a poluição ou a sobrecarga de serviços públicos.

Incorporar essas externalidades nos modelos de otimização permitiria que os tomadores de decisão escolhessem locais que maximizem os impactos positivos para as comunidades, ao mesmo tempo em que minimizam os danos ambientais. Isso pode ser alcançado, por exemplo, priorizando áreas degradadas ou subutilizadas para novos desenvolvimentos, incentivando a regeneração urbana e reduzindo a pressão sobre áreas naturais.

A adoção de ferramentas de simulação avançada, como a simulação baseada em agentes (SBA), também pode enriquecer os modelos de otimização com considerações de sustentabilidade. Na SBA, cada

entidade (seja um indivíduo, uma organização ou um recurso natural) é modelada como um agente com comportamentos autônomos, o que permite simular interações complexas em diferentes cenários de sustentabilidade.

Por exemplo, a SBA pode simular como diferentes localizações de instalações impactariam o uso de recursos naturais, o comportamento dos consumidores ou a mobilidade urbana, fornecendo insights valiosos sobre as implicações socioambientais de cada opção de localização. Isso permite uma abordagem mais holística e sistêmica na tomada de decisão, considerando as interações entre os fatores econômicos, ambientais e sociais de maneira dinâmica.

Por fim, incentivos regulatórios e financeiros também podem ser incorporados aos modelos de otimização. Muitos governos oferecem incentivos fiscais ou subsídios para empresas que adotam práticas sustentáveis, como o uso de energia renovável ou a redução de emissões de carbono. Ao incluir esses incentivos nos modelos de otimização, as empresas podem tomar decisões que não apenas otimizem custos e localização, mas que também aproveitem essas oportunidades financeiras para tornar seus negócios mais sustentáveis.

Além disso, a conformidade com regulamentações ambientais mais rígidas, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, pode ser modelada como uma restrição adicional, incentivando as empresas a priorizarem localizações e práticas que ajudem a cumprir essas metas.

O desafio de incorporar a sustentabilidade na otimização da localização de instalações pode ser superado com o desenvolvimento de modelos que integrem múltiplos critérios, considerando não apenas o custo econômico, mas também os impactos ambientais e sociais. A utilização de ferramentas como a otimização multicritério, análise do ciclo de vida, simulações avançadas e indicadores de sustentabilidade permitirá que as organizações tomem decisões mais equilibradas, garantindo que a eficiência econômica seja alcançada sem comprometer a sustentabilidade ambiental e social a longo prazo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma revisão abrangente da literatura sobre os principais métodos e modelos de localização de instalações utilizados no contexto empresarial, com foco em cadeias de suprimentos e logística. Tendo alcançado o objetivo de mapear e avaliar tanto abordagens tradicionais, como programação linear, ponto de equilíbrio e método do centro de gravidade, quanto métodos modernos que envolvem o uso de big data e inteligência artificial.

A análise revelou as vantagens e limitações de cada abordagem, destacando sua aplicabilidade em diferentes cenários empresariais. Além disso, foi proposta uma agenda de pesquisa para futuras investigações acadêmicas, baseando-se nas lacunas identificadas ao longo da revisão. Com isso, o objetivo do trabalho foi alcançado, fornecendo um mapeamento claro e detalhado dos métodos de localização de instalações, suas aplicabilidades e limitações.

As contribuições para o meio acadêmico foram significativas, oferecendo um guia abrangente para pesquisadores interessados em explorar os modelos de localização, desde abordagens clássicas até modernas. O estudo também integrou métodos quantitativos e qualitativos, ressaltando a importância de considerar variáveis dinâmicas, como incertezas de mercado, ao aplicar tais métodos. Em seguida, foram propostas novas linhas de pesquisa, como o desenvolvimento de métodos mais robustos que combinem precisão matemática com flexibilidade para diferentes cenários.

Para o meio empresarial, o estudo fornece uma visão detalhada dos métodos de localização que podem ser aplicados diretamente em cadeias de suprimentos e processos logísticos, ajudando empresas a tomarem decisões mais informadas e estratégicas. Avaliando os métodos de acordo com critérios como custo, complexidade computacional e precisão, o estudo oferece uma ferramenta prática para gestores que buscam otimizar suas operações e reduzir custos logísticos.

A discussão sobre métodos avançados como big data e inteligência artificial também serve como um guia para empresas que desejam adotar tecnologias modernas para melhorar sua competitividade. No entanto, o estudo apresentou algumas limitações. O foco predominante foi em modelos teóricos, que, apesar de amplamente discutidos, nem sempre possuem aplicabilidade prática imediata em todos os contextos empresariais.

Muitos dos modelos revisados são testados em setores específicos ou ambientes controlados, o que pode limitar sua aplicação em cenários mais complexos ou em diferentes indústrias. Além disso, grande parte das técnicas tradicionais revisadas possuem uma abordagem estática, sem considerar as flutuações dinâmicas do mercado, como variações de demanda ou custos.

Diante dessas limitações, pesquisas futuras podem se concentrar no desenvolvimento de modelos híbridos, que combinem técnicas tradicionais com métodos modernos, como inteligência artificial, para oferecer soluções mais adaptáveis e eficientes em cenários dinâmicos. Também é necessário criar modelos que integrem a sustentabilidade, considerando fatores ambientais, como emissões de carbono e uso de recursos, nas decisões de localização de instalações, especialmente em cadeias de suprimentos globais.

Outro caminho promissor seria o estudo de cenários mais complexos, como redes logísticas globais ou ambientes de negócios voláteis, onde decisões de localização precisam ser ajustadas constantemente para responder a mudanças rápidas no mercado.

REFERÊNCIAS

- AFSHARI, Hamid et al. Multi-objective optimisation of facility location decisions within integrated forward/reverse logistics under uncertainty. **International Journal Of Business Performance And Supply Chain Modelling**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 250, 2016. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijbpscm.2016.078565>.
- ANAND, T.; PANDIAN, R. Sudhakara. A customer-based supply chain network design. **International Journal Of Enterprise Network Management**, [S.L.], v. 10, n. 3/4, p. 224, 2019. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijenm.2019.103153>.
- ATTHIRAWONG, Walailak; LUANGPAIBOON, Pongchanun. Location management for the supply of PD fluid via large neighborhood search based virus optimization algorithm. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-17, 16 dez. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-26385-7>.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial. 5. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2006.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: **Bookman**, 2006.
- BARKI, E. E. R. Estratégias de empresas varejistas direcionadas para a baixa renda: um estudo exploratório. 2005. Tese (Mestrado em Administração de Empresas) - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2005.
- BASKAR, A.. Analytical Solution Of Symmetrical, Multi Point Fermat-Weber Facility Location Problems By Resolving The Weights And Reducing The Number Of Demand Points. **Global Journal Of Pure And Applied Mathematics**, [S. L.], v. 11, n. 5, p. 2657-2669, jan. 2015.
- BEESELEY, M. E.; ALONSO, William. Location and Land Use: toward a general theory of land rent. **Population Studies**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 326, mar. 1966. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2172828>.
- BOUJELBEN, Mouna Kchaou; GICQUEL, Celine; MINOUX, Michel. A MILP model and heuristic approach for facility location under multiple operational constraints. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 98, p. 446-461, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.06.022>.
- BRAHAMI, Mustapha Anwar; DAHANE, Mohammed; SOUIER, Mehdi; SAHNOUN, M'hammed. Sustainable capacitated facility location/network design problem: a non-dominated sorting genetic algorithm based multiobjective approach. **Annals Of Operations Research**, [S.L.], v. 311, n. 2, p. 821-852, 28 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-020-03659-9>.
- BRAHIMI, Nadjib; KHAN, Sharfuddin A.. Warehouse location with production, inventory, and distribution decisions: a case study in the lube oil industry. **4Or**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 175-

197, 5 abr. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10288-013-0237-0>.

CABALLERO-MORALES, Santiago-Omar. Development of a coded suite of models to explore relevant problems in logistics. *Peerj Computer Science*, [S.L.], v. 6, p. 329, 30 nov. 2020. PeerJ. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj-cs.329>.

CABALLERO-MORALES, Santiago-Omar. Solution strategy based on Gaussian mixture models and dispersion reduction for the capacitated centered clustering problem. *Peerj Computer Science*, [S.L.], v. 7, p. 332, 3 fev. 2021. PeerJ. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj-cs.332>.

BOOSTANI, Abtin; JOLAI, Fariborz; BOZORGI-AMIRI, Ali. Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre- and postdisaster management. *International Journal Of Sustainable Transportation*, [S.L.], v. 15, n. 8, p. 604-620, 17 jun. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975>.

ÇAKMAK, Emre; ÖNDEN, İsmail; ACAR, A. Zafer; ELDEMİR, Fahrettin. Analyzing the location of city logistics centers in Istanbul by integrating Geographic Information Systems with Binary Particle Swarm Optimization algorithm. *Case Studies On Transport Policy*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 59-67, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.004>.

CHAIWUTTISAK, Pornpimol; SMITH, Honora; WU, Yue; POTTS, Chris; SAKULDAMRONGPANICH, Tasanee; PATHOMSIRI, Somchai. Location of low-cost blood collection and distribution centres in Thailand. *Operations Research For Health Care*, [S.L.], v. 9, p. 7-15, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orhc.2016.02.001>.

CHANG, Ping-Yu; LIN, Hsin-Yi. Manufacturing plant location selection in logistics network using Analytic Hierarchy Process. *Journal Of Industrial Engineering And Management*, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 1547-1575, 9 dez. 2015. Omnia Publisher SL. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1456>.

CHHETRI, Prem; BUTCHER, Tim; CORBITT, Brian. Characterising spatial logistics employment clusters. *International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management*, [S.L.], v. 44, n. 3, p. 221-241, 1 abr. 2014. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijpdlm-03-2012-0086>.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. Supply chain management: strategy, planning, and operation. 7. ed. Harlow: **Pearson**, 2020.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. Supply Chain Management: strategy, planning, and operation. 8. ed. Harlow: Pearson, 2022.

CHURCH, R.; MURRAY, A. Business Site Selection, Location Analysis *and GIS*. Hoboken: **John Wiley & Sons**, 2009.

COBRA, M. Administração de vendas. São Paulo: Editora Atlas, 1994.

CONIGLIO, S.; FLIEGE, J.; WALTON, R. Facility Location with Item Storage and Delivery. In: SFORZA, A.; STERLE, C. (eds). Optimization and Decision Science: Methodologies and Applications. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 287-294.

CORREIA, Isabel; MELO, Teresa. Multi-period capacitated facility location under delayed demand satisfaction. *European Journal Of Operational Research*, [S.L.], v. 255, n. 3, p. 729-746, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.039>.

COSTA, D. S. Estratégias competitivas e relações entre concorrentes do mesmo ramo, localizados em shopping centers: um estudo de caso na cidade do Salvador. Salvador, 2006.

DASKIN, M. S. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. 2nd ed. Wiley, 2013.

DASKIN, M. S. *Network and discrete location: Models, algorithms, and applications*. Nova York: Wiley, 1995.

DASKIN, Mark S. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2019.

DEUTSCH, Yael; GOLANY, Boaz. A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal Of Production Research*, [S.L.], v. 56, n. 1-2, p. 251-261, 7 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1395490>.

DREZNER, Tammy; DREZNER, Zvi; SCHÖBEL, Anita. The Weber obnoxious facility location model: a big arc small arc approach. *Computers & Operations Research*, [S.L.], v. 98, p. 240-250, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2018.06.006>.

DREZNER, Zvi; EISELT, H.A.. Competitive location models: a review. *European Journal Of Operational Research*, [S.L.], v. 316, n. 1, p. 5-18, jul. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2023.10.030>.

DU, Bo; ZHOU, Hong; LEUS, Roel. A two-stage robust model for a reliable p-center facility location problem. *Applied Mathematical Modelling*, [S.L.], v. 77, p. 99-114, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2019.07.025>.

DUBKE, Alessandra Fraga; PIZZOLATO, Nélío Domingues. Location model of specialized terminals for soybean exports in Brazil. *Brazilian Operations Research Society*, [S. L.], v. 1, n. 1, p. 21-40, jan. 2011.

DURMUŞ, Ali; TURK, Sevkiye Sence. Factors Influencing Location Selection of Warehouses at the Intra-Urban Level: istanbul case. *European Planning Studies*, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 268-292, 17 out. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09654313.2012.731038>.

ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. The qualitative content analysis process. *Journal Of Advanced Nursing*, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 107-115, 18 mar. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>.

EMIRHÜSEYİNOĞLU, Görkem; EKICI, Ali. Dynamic facility location with supplier selection under quantity discount. *Computers & Industrial Engineering*, [S.L.], v. 134, p. 64-74, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.023>.

ESKANDARPOUR, Majid; DEJAX, Pierre; PÉTON, Olivier. A large neighborhood search heuristic for supply chain network design. *Computers & Operations Research*, [S.L.], v. 80, p. 23-37, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2016.11.012>.

ESRI. *Geographic Information System (GIS) for Supply Chain Management*. Redlands, CA: ESRI Press, 2019.

FARAHANI, Reza Zanjirani; REZAPOUR, Shabnam; DREZNER, Zvi; FALLAH, Somayeh. Competitive facility location problems: models, formulations, and solution approaches. *European Journal of Operational Research*, [S.L.], v. 284, n. 1, p. 1-22, 2020.

FU, Yaping; WU, Di; WANG, Yan; WANG, Hongfeng. Facility location and capacity planning considering policy preference and uncertain demand under the One Belt One Road initiative. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, [S.L.], v. 138, p. 172-186, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.012>.

GHADGE, Abhijeet; YANG, Qifan; CALDWELL, Nigel; KÖNIG, Christian; TIWARI, Manoj Kumar. Facility location for a closed-loop distribution network: a hybrid approach. *International Journal Of Retail & Distribution Management*, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 884-902, 12 set. 2016. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijrdm-07-2015-0094>.

GOLPÎRA, Hêriş. Optimal integration of the facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource construction supply chain network design under the vendor managed inventory strategy. *Expert Systems With Applications*, [S.L.], v. 139, p. 112841, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112841>.

GUIMARÃES, Vanessa de Almeida; RIBEIRO, Glaydston Mattos; AZEVEDO-FERREIRA, Maxwel de. MAPPING OF THE BRAZILIAN SCIENTIFIC PUBLICATION ON FACILITY LOCATION. *Pesquisa Operacional*, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 307-330, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.02.0307>.

GUO, Hao; LI, Congdong; ZHANG, Ying; ZHANG, Chunnan; LU, Mengmeng. A Location-Inventory Problem in a Closed-Loop Supply Chain with Secondary Market Consideration. *Sustainability*, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 1891, 5 jun. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su10061891>.

GUO, Hao; LI, Congdong; ZHANG, Ying; ZHANG, Chunnan; WANG, Yu. A Nonlinear Integer Programming Model for Integrated Location, Inventory, and Routing Decisions in a Closed- Loop Supply Chain. *Complexity*, [S.L.], v. 2018, n. 1, p. 1-17, jan. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/2726070>.

HAJIPOUR, Vahid; FATTAHI, Parviz; TAVANA, Madjid; CAPRIO, Debora di. Multi-objective multi-layer congested facility location-allocation problem optimization with Pareto-based meta-heuristics. *Applied Mathematical Modelling*, [S.L.], v. 40, n. 7-8, p. 4948-4969, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2015.12.013>.

HAKIMI, S. L.. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research*, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 450-459, jun. 1964. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.3.450>.

HEIZER, J.; RENDER, B. Administração de operações: bens e serviços. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

HEIZER, J.; RENDER, B. Operations management. 12. ed. Harlow: Pearson, 2019.

HEIZER, Jay; RENDER, Barry; MUNSON, Chuck. Operations Management: sustainability and supply chain management. 14. ed. Harlow: Pearson, 2022.

HLYAL, Mustapha et al. Designing a distribution network using a two level capacity location allocation problem: Formulation and efficient genetic algorithm resolution with an application

to a Moroccan retail company. **Journal Of Theoretical And Applied Information Technology**, [S. L.], v. 72, n. 2, p. 294-306, 20 fev. 2015.

HO, William; LEE, Carman Ka Man; HO, George To Sum. Optimization of the facility location-allocation problem in a customer-driven supply chain. **Operations Management Research**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 69-79, 31 jul. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12063-008-0007-x>.

HUANG, George Q.; ZHANG, Abraham; LIU, Xiaming. A supply chain configuration model for reassessing global manufacturing in China. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 669-687, 31 maio 2013. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/17410381311327963>.

HUFF, David L.. A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. **Land Economics**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 81, fev. 1963. University of Wisconsin Press. <http://dx.doi.org/10.2307/3144521>.

IVANOV, B.; DIMITROVA, B.; DOBRUDZHALIEV, D.. OPTIMAL LOCATION OF BIODIESEL REFINERIES: THE BULGARIAN SCALE. **Journal Of Chemical Technology And Metallurgy**, [S. L.], v. 48, n. 5, p. 513-523, jan. 2013.

IVANOV, D.; TSIPOULANIDIS, A.; SCHÖNBERGER, J. Global supply chain and operations management: a decision-oriented introduction to the creation of value. 3. ed. Cham: **Springer**, 2021.

JAIN, A. K.; DUBES, R. C. Algorithms for Clustering Data. Upper Saddle River: **Prentice-Hall**, 1988.

JAKUBOVSKIS, A. Strategic facility location, capacity acquisition, and technology choice decisions under demand uncertainty: robust vs. non-robust optimization approaches. **European Journal of Operational Research**, [S.L.], v. 260, n. 3, p. 1095–1104, 2017.

JAVADI, Maryam; SHAHRABI, Jamal. New spatial clustering-based models for optimal urban facility location considering geographical obstacles. **Journal Of Industrial Engineering International**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-12, 25 mar. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40092-014-0054-x>.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Hoboken: **John Wiley & Sons**, 2009.

KHOSRAVI, Shahrzad; JOKAR, Mohammad Reza Akbari. Facility and hub location model based on gravity rule. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 109, p. 28-38, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.005>.

KIDD, Martin P.; DARVISH, Maryam; COELHO, Leandro C.; GENDRON, Bernard. A relax-and-restrict matheuristic for supply chain network design with facility location and customer due date flexibility. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [S.L.], v. 182, p. 1-17, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2023.103370>.

KWAG, Sung Il; KO, Young Dae. Optimal design for the Halal food logistics network. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, [S.L.], v. 128, p. 212-228, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.005>.

LE, Chau Thi Diem; BUDDHAKULSOMSIRI, Jirachai; JEENANUNTA, Chawalit; DUMRONGSIRI, Aussadavut. Determining an optimal warehouse location, capacity, and

product allocation in a multi-product, multi-period distribution network: a case study. **International Journal Of Logistics Systems And Management**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 510, 2019. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijlsm.2019.103517>.

LEE, Hyangsook; ZHANG, Ti; BOILE, Maria; THEOFANIS, Sotiris; CHOO, Sangho. Designing an integrated logistics network in a supply chain system. **Ksce Journal Of Civil Engineering**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 806-814, maio 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-013-0087-5>.

LEE, Paul Tae-Woo; HU, Zhi-Hua; LEE, Sangjeong; FENG, Xuehao; NOTTEBOOM, Theo. Strategic locations for logistics distribution centers along the Belt and Road: explorative analysis and research agenda. **Transport Policy**, [S.L.], v. 116, p. 24-47, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.10.008>.

LIM, Michael K.; BASSAMBOO, Achal; CHOPRA, Sunil; DASKIN, Mark S.. Facility Location Decisions with Random Disruptions and Imperfect Estimation. **Manufacturing & Service Operations Management**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 239-249, maio 2013. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/msom.1120.0413>.

LIMAO, N.. Infrastructure, Geographical Disadvantage, Transport Costs, and Trade. **The World Bank Economic Review**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 451-479, 1 out. 2001. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/wber/15.3.451>.

LLOYD, S. P. "Least squares quantization in PCM". **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 28, n. 2, p. 129-137, 1982.

LOUREIRO, R. Problemas e métodos decisórios de localização de empresas. v. 1, n. 2, p. 02-13, 1 dez. 2002.

MAHARJAN, Rajali; HANAOKA, Shinya. A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. **Socio-Economic Planning Sciences**, [S.L.], v. 70, p. 100727, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2019.07.003>.

MAHARJAN, Rajali; HANAOKA, Shinya. A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response. **Journal Of Humanitarian Logistics And Supply Chain Management**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 2-21, 3 abr. 2018. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jhlscm-08-2017-0040>.

MANKOUR, Ikram; YACHBA, Khadidja. Comparative Study for Facilities Location Problem in Supply Chain Design. **International Journal Of Swarm Intelligence Research**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-16, 14 jul. 2022. IGI Global. <http://dx.doi.org/10.4018/ijrir.304718>.

MANZINI, Riccardo; GAMBERI, Mauro; REGATTIERI, Alberto. Applying mixed integer programming to the design of a distribution logistic network. **International Journal Of Industrial Engineering**, [S. L.], v. 13, n. 2, p. 207-218, jan. 2006.

MANZINI, Riccardo; GEBENNINI, Elisa. Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem. **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 46, n. 8, p. 2061-2086, 15 abr. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540600847418>.

MCKINNON, A. et al. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. **Kogan Page**, 2015.

MELNYK, Steven A.; DAVIS, Elizabeth W.; SWINK, Morgan. Operations Management: A Supply Chain Approach. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

MELO, M.T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F.. Facility location and supply chain management – A review. **European Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 196, n. 2, p. 401-412, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>.

MERKISZ-GURANOWSKA, Agnieszka. A comparative study on end-of-life vehicles network design. **Archives Of Transport**, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 107-123, 30 jun. 2020. Politechnika Warszawska - Warsaw University of Technology. <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0014.2971>.

MILLER, Harvey J.. Tobler's First Law and Spatial Analysis. **Annals Of The Association Of American Geographers**, [S.L.], v. 94, n. 2, p. 284-289, jun. 2004. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09402005.x>.

MOGALE, D. G.; CHEIKHROUHO, Naoufel; TIWARI, Manoj Kumar. Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach. **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 58, n. 18, p. 5521-5544, 26 set. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1669840>.

MOHAMMADI, Mohammad Ali; DAVOUDPOUR, Hamid; MOTAMEDI, Zahra. A competitive facility location in a closed form supply chain. **Decision Science Letters**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 335-342, 2014. Growing Science. <http://dx.doi.org/10.5267/j.dsl.2014.3.004>.

MURRAY, Alan T.; GRUBESIC, Tony H. Critical infrastructure: reliability and vulnerability. Cham: Springer, 2007.

NEVES, J. A. D.; COSTA, A. M. Fatores de localização de postos de combustíveis em Fortaleza. *Rev. Adm. Contemp.*, Curitiba, v. 12, n. spe, p. 175-192, 2008.

ORJUELA-CASTRO, Javier Arturo; SANABRIA-CORONADO, Lizeth Andrea; PERALTA-LOZANO, Andrés Mauricio. Coupling facility location models in the supply chain of perishable fruits. *Research In Transportation Business & Management*, [S.L.], v. 24, p. 73-80, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.08.002>.

PALOMINO, Kevin; GARCIA, David; BERDUGO, Carmen. A MILP facility location model with distance value adjustments for demand fulfillment using Google Maps. *Journal Of Engineering Research*, [S.L.], p. 1-23, 13 out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.36909/jer.10473>.

PINTO, Rodolfo Lisita. Estudo da localização de n instalações fabris em um sistema logístico. 2015.

Planeamento de Localização | PDF | Cadeia de Suprimentos | Economia. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/730976489/Planeamento-de-Localizacao>. Acesso em: 7 jun. 2024.

PORTER, M. E. The competitive advantage of nations. New York: **Free Press**, 1990.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, RS: ABRH, 1997. p. 43–95.

REDMER, Adam. Facility Location Problem mathematical models - supply chain perspective. **Logforum**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 379-395, 30 dez. 2022. Wyższa Szkoła Logistyki (Poznan School of Logistics). <http://dx.doi.org/10.17270/j.log.2022.792>.

REILLY, W. J. **The Law of Retail Gravitation**. Knickerbocker Press, 1931.

REN, Xiangyang; TAN, Juan. Location Allocation Collaborative Optimization of Emergency Temporary Distribution Center under Uncertainties. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2022, p. 1-9, 19 mar. 2022. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2022/6176756>.

ROH, Sae-Yeon; JANG, Hyun-Mi; HAN, Chul-Hwan. Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics. **The Asian Journal Of Shipping And Logistics**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 103-120, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajsl.2013.05.006>.

ROSA, Vincenzo de; HARTMANN, Evi; GEBHARD, Marina; WOLLENWEBER, Jens. Robust capacitated facility location model for acquisitions under uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 72, p. 206-216, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.03.009>.

RUEDA-VELASCO, Feizar Javier; ADARME-JAIMES, Wilson; GARZÓN-LUNA, Angélica; MARROQUÍN-ÁVILA, Jhonatan; PARADA-CARO, Gabriel. Evaluation of a facility location for a food assistance supply chain. The case of Bienestarina in Colombia. **Ingeniería e Investigación**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 50-61, 12 fev. 2020. Universidad Nacional de Colombia. <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v39n3.77175>.

SAHYOUNI, Kristin; SAVASKAN, R. Canan; DASKIN, Mark S.. A Facility Location Model for Bidirectional Flows. **Transportation Science**, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 484-499, nov. 2007. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.1070.0215>.

SALDANHA-DA-GAMA, Francisco. Facility Location in Logistics and Transportation: an enduring relationship. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, [S.L.], v. 166, p. 102903, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2022.102903>

SCHÄTTER, Frank; WIENS, Marcus; SCHULTMANN, Frank. A new focus on risk reduction: an ad hoc decision support system for humanitarian relief logistics. **Ecosystem Health And Sustainability**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 1-11, maio 2015. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1890/ehs14-0020.1>.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Operations management. 9. ed. Harlow: **Pearson**, 2019.

SNYDER, Lawrence V.. Facility location under uncertainty: a review. **Iie Transactions**, [S.L.], v. 38, n. 7, p. 547-564, jun. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07408170500216480>.

SYAM, Siddhartha S.. A model and methodologies for the location problem with logistical components. **Computers & Operations Research**, [S. L.], v. 29, n. 9, p. 1173-1193, ago. 2002.

SZCZEPAŃSKI, Emilian; JACHIMOWSKI, Roland; IZDEBSKI, Mariusz; JACYNA-GOŁDA, Ilona. Warehouse location problem in supply chain designing: a simulation analysis. **Archives Of Transport**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 101-110, 30 jun. 2019. Politechnika Warszawska - Warsaw University of Technology. <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0013.5752>.

TIAN, Zhili. Optimisation of logistics network of a multinational firm under uncertainty. **International Journal Of Revenue Management**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 252, 2016. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijrm.2016.079819>.

TIMPERIO, Giuseppe; PANCHAL, Gajanan Bhanudas; SAMVEDI, Avinash; GOH, Mark; SOUZA, Robert de. Decision support framework for location selection and disaster relief network design. **Journal Of Humanitarian Logistics And Supply Chain Management**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 222-245, 4 dez. 2017. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jhlscm-11-2016-0040>.

TOKGÖZ, Emre; ALWAZZI, Samir; TRAFALIS, Theodore B.. A heuristic algorithm to solve the single-facility location routing problem on Riemannian surfaces. **Computational Management Science**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 397-415, 23 dez. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10287-014-0226-6>.

TOMBUŞ, Ayşe Cilacı; ARAS, Necati; VERTER, Vedat. Designing distribution systems with reverse flows. **Journal Of Remanufacturing**, [S.L.], v. 7, n. 2-3, p. 113-137, 4 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13243-017-0036-4>.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a Methodology for Developing Evidence- Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal Of Management**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 207-222, set. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

UKKUSURI, Satish V.; YUSHIMITO, Wilfredo F.. Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [S.L.], v. 2089, n. 1, p. 18-25, jan. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.3141/2089-03>.

UNNU, Kaan; PAZOUR, Jennifer. Evaluating on-demand warehousing via dynamic facility location models. **Iise Transactions**, [S.L.], v. 54, n. 10, p. 988-1003, 13 jan. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/24725854.2021.2008066>.

VAN HOLSBECK, Sam; EZZATI, Sättar; RÖSER, Dominik; BROWN, Mark. A Two-Stage DSS to Evaluate Optimal Locations for Bioenergy Facilities. **Forests**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 968, 5 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/f11090968>.

YOUSEFI-BABADI, Abolghasem; BOZORGI-AMIRI, Ali; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. Sustainable facility relocation in agriculture systems using the GIS and best-worst method. **Kybernetes**, [S.L.], v. 51, n. 7, p. 2343-2382, 17 jun. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/k-03-2021-0189>.

ZHANG, Huizhen; ZHANG, Qinwan; MA, Liang; ZHANG, Ziyang; LIU, Yun. A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. **Information Sciences**, [S.L.], v. 490, p. 166-190, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.070>.

ZHEN, Lu; SUN, Qiuji; WANG, Kai; ZHANG, Xiaotian. Facility location and scale optimisation in closed-loop supply chain. **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 57, n. 24, p. 7567-7585, 8 mar. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1587189>.