

PROJETOS DE REDES LOGÍSTICAS: REVISÃO E ANÁLISE COM PROKNOW-C

**Daniel Carlos Martins Garcia, Universidade Federal do Espírito Santo,
daniel.garcia@edu.ufes.br**

**Guilherme Henrique Pereira Pires, Universidade Federal do Espírito Santo,
guilherme.pires@edu.ufes.br**

**Dayvson Santos Honorato, Universidade Federal do Espírito Santo,
dayvson.honorato@edu.ufes.br**

Noele Bissoli Perini de Souza, Universidade Federal do Espírito Santo, noele.perini@ufes.br

**Marcos Wagner Jesus Servare Junior, Universidade Federal do Espírito Santo,
marcos.servare@ufes.br**

Resumo: *O presente estudo tem como objetivo analisar modelos matemáticos aplicáveis ao projeto de redes logísticas, com ênfase em abordagens que contribuem para a sustentabilidade e a eficiência operacional. Para isso, utilizou-se a metodologia ProKnow-C, que possibilitou a construção de um portfólio bibliográfico relevante a partir de critérios rigorosos de seleção, análise bibliométrica e avaliação sistêmica. Foram identificados 12 artigos que abordam diferentes técnicas de modelagem e otimização, tais como Programação Linear Inteira Mista, algoritmos genéticos e heurísticas de otimização. Os resultados evidenciam que, embora os modelos tenham sido aplicados em contextos diversos — incluindo logística reversa, transporte de resíduos e cadeias de suprimentos sustentáveis —, suas estruturas apresentam elevado potencial de adaptação para projetos de redes logísticas em diferentes setores. A pesquisa ressalta a importância desses modelos como instrumentos de apoio à tomada de decisão estratégica, especialmente no planejamento da coleta, transporte, distribuição e processamento, fortalecendo práticas alinhadas à economia circular e à gestão eficiente de cadeias produtivas.*

Palavras-chave: *Programação linear inteira mista, Otimização de redes, Modelagem de fluxos, Sistemas logísticos eficientes.*

1. INTRODUÇÃO

O aumento da complexidade das cadeias de suprimentos globais e a crescente demanda por eficiência logística têm impulsionado o desenvolvimento de modelos voltados ao projeto de redes logísticas. Esses modelos buscam equilibrar fatores como custo, nível de serviço, sustentabilidade e resiliência, permitindo que organizações e instituições tomem decisões estratégicas mais assertivas sobre localização de instalações, rotas de transporte e dimensionamento de recursos. Nesse contexto, as discussões sobre economia circular e logística reversa também assumem papel de destaque, uma vez que ampliam a necessidade de redes capazes de integrar fluxos diretos e reversos, promovendo eficiência operacional e redução de impactos ambientais.

De acordo com Leite (2017), a logística reversa é um componente essencial para a reinserção de resíduos no ciclo produtivo, contribuindo para o aproveitamento de materiais e a diminuição da pressão sobre recursos naturais. Além disso, Gonçalves e Chaves (2014) ressaltam que a modelagem matemática é uma ferramenta fundamental nesse processo, pois permite representar sistemas complexos de forma estruturada e identificar soluções viáveis para problemas como localização de centros de coleta, distribuição e dimensionamento de capacidades. Assim, a análise de diferentes estudos voltados ao projeto de redes logísticas possibilita compreender como técnicas variadas de

otimização — tais como programação matemática, heurísticas e metaheurísticas — vêm sendo aplicadas e adaptadas a múltiplos contextos.

Nesse sentido, a realização de uma revisão de literatura que reúna e analise criticamente modelos matemáticos aplicados a projetos de redes logísticas torna-se essencial para identificar abordagens consolidadas e lacunas de pesquisa. Ao sistematizar esse conhecimento, é possível apoiar tanto o avanço científico quanto a prática gerencial, sobretudo em áreas que buscam conciliar eficiência operacional, sustentabilidade e inovação tecnológica.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo identificar e analisar modelos matemáticos aplicáveis ao projeto de redes logísticas, com base na metodologia Knowledge Development Process – Constructivist (ProKnow-C). Essa técnica possibilitou a seleção de um portfólio bibliográfico relevante a partir de palavras-chave associadas ao tema, submetido a etapas de filtragem, checagem de similaridade e análises quantitativas e qualitativas.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, apresenta-se a metodologia ProKnow-C utilizada na construção do portfólio bibliográfico; em seguida, são discutidos os resultados da análise bibliométrica e da avaliação sistêmica dos artigos selecionados; por fim, apresentam-se as considerações finais, que destacam as principais contribuições do estudo e indicam oportunidades para pesquisas futuras.

2. PROKNOW-C

Para a seleção e posterior análise do portfólio de artigos, foi utilizada a metodologia proposta por Ensslin et al. (2010), conhecida como ProKnow-C, que serviu como base para a revisão da literatura. A metodologia foi realizada em três etapas, que são:

- I. Escolha do portfólio bibliográfico;
- II. Bibliometria;
- III. Análise sistêmica.

A execução dessas etapas garantiu a seleção de um portfólio alinhado ao objetivo estabelecido. Em seguida, foi detalhado, em ordem sequencial, o processo realizado para a obtenção do portfólio de artigos voltados a modelos matemáticos aplicáveis ao contexto dos projetos de redes logísticas. Nesta etapa da pesquisa, implementou-se uma busca coordenada de artigos científicos, assegurando a representatividade e a relevância do material analisado.

2.1. Seleção do Portfólio Bibliográfico

Para a formação do banco de artigos brutos foram adotadas duas bases de dados: Periódicos CAPES e os anais Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep), evidenciado na Fig. (1).

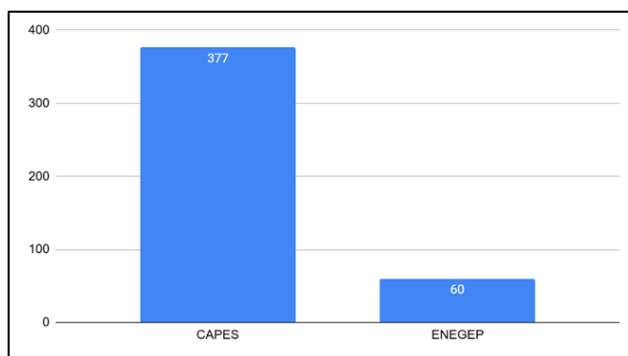


Figura 1: Artigo por base de dados (Fonte: Dados da pesquisa)

Após a obtenção do portfólio bruto, os artigos foram submetidos a um processo de filtragem, no qual o pacote de softwares Office foi utilizado como ferramenta auxiliar. O banco inicial foi formado a partir do lançamento das palavras-chave nas bases de dados e resultou em 437 artigos, ainda sem qualquer tipo de refinamento.

A primeira etapa de filtragem consistiu na exclusão de artigos repetidos, situação comum devido à ocorrência de um mesmo trabalho associado a diferentes palavras-chave ou publicado em mais de uma base de dados, como nos casos de artigos presentes tanto nos anais do ENEGEP quanto na base da CAPES. Após essa exclusão, o número de artigos foi reduzido para 428.

Na etapa seguinte, realizou-se a leitura dos títulos e a eliminação daqueles que não apresentavam relação direta com o tema da pesquisa. Esse filtro representou um refinamento significativo, reduzindo o número de artigos de 428 para 43, resultado que se deveu principalmente à amplitude das palavras-chave utilizadas. Posteriormente, foi aplicado o critério de reconhecimento científico, selecionando-se os artigos que representavam 80% das citações totais.

Além desses, também foram incluídos trabalhos recentes, publicados nos dois anos anteriores, que embora ainda não possuíssem elevado reconhecimento científico, apresentavam potencial de contribuição para o tema. Assim, o portfólio provisório passou a ser composto por 21 artigos. Na sequência, procedeu-se à leitura dos resumos, etapa que permitiu eliminar cinco artigos que não se mostraram adequados ao escopo da pesquisa, resultando em um conjunto de 16.

Por fim, a leitura integral desses trabalhos possibilitou a exclusão de outros quatro, consolidando o Portfólio Bibliográfico final em 12 artigos. A Figura (2) ilustra a evolução dessas etapas de filtragem e evidencia o processo de formação do Portfólio Bibliográfico a partir da aplicação dos filtros sistematizados pelo ProKnow-C.

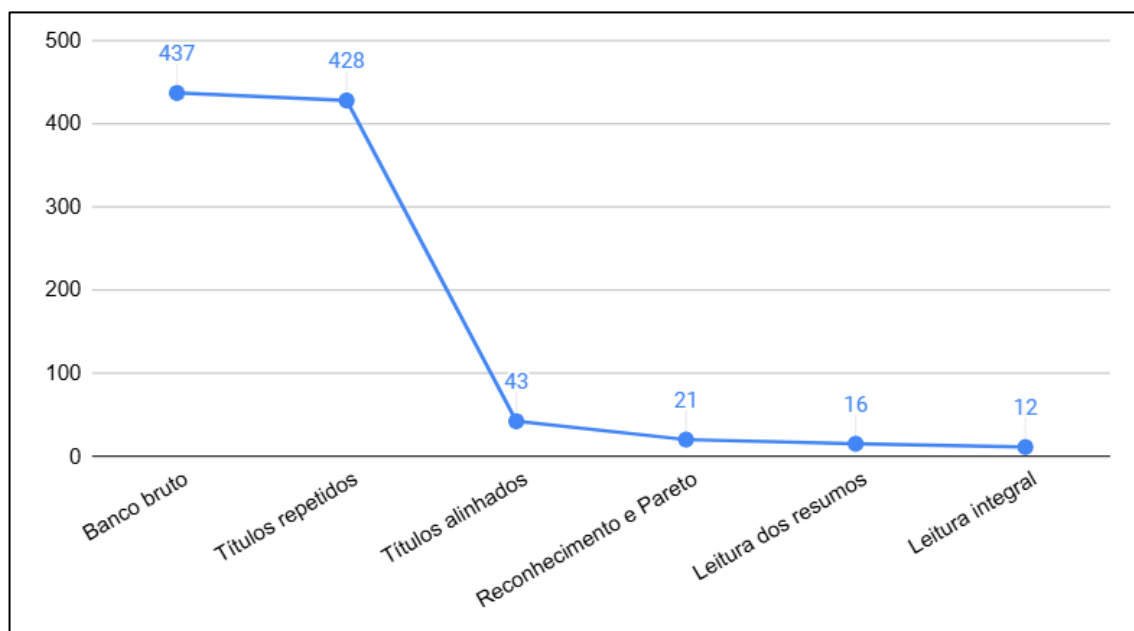


Figura 2: Evolução das etapas do ProKnow-C (Fonte: Dados da pesquisa)

Ao final do processo de filtragem, 12 artigos foram julgados como relevantes para compor o portfólio bibliográfico sobre o tema proposto. Neste sentido, a Tabela (1) apresenta os artigos selecionados e que compõe o Portifólio Bibliográfico, bem como o número de citações, ano de publicação, autores e a base de dados a qual pertencem.

Tabela 1: Portifólio bibliográfico (Fonte: Dados da pesquisa)

Artigo	Título	Citações	Origem
Mapa e Lima (2012)	Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações	33	Gestão e Produção
Lemos e Moraes (2012)	Planejamento agregado da produção em nutrição de bovinos de corte: uma abordagem através de programação linear inteira mista	1	Unoeste
Barboza <i>et al.</i> (2015)	Programação Linear Inteira Mista e Algoritmo Genético aplicados ao Problema de Transferência e Estocagem de Produtos em uma Indústria Petrolífera	8	Sistemas & Gestão
Oliveira, Roboredo e Pessoa (2015)	Aplicação de um modelo de otimização para a distribuição de estudantes em escolas públicas: Um estudo de caso em um distrito no município de São Gonçalo – RJ.	1	Engevista
Braido, Borenstein e Casalinho (2016)	Otimização da rede de uma cadeia de suprimentos com a utilização de uma heurística baseada em Busca Tabu	5	Gestão & Produção
Silva e Maestria (2019)	Algoritmos para o problema de localização de estações de carregamento de veículos elétricos	0	Revista Produção Online
Rodrigues <i>et al.</i> (2020)	Otimização do traçado de redes coletoras de esgoto sanitário via algoritmo genético	1	Revista DAE
Breda e Mestria (2020)	Métodos heurísticos para otimização de redes de distribuição de energia elétrica	0	Produção Online
Servare Junior e Cardoso (2020)	Modelo matemático para postergação de tempo no projeto de rede logística reversa com níveis de capacidade.	3	BJPE
Franco e Steiner (2022)	Otimização do transporte de resíduos sólidos urbanos no Estado do Paraná: repensando a localização de aterros sanitários com base em modelagem matemática	3	Engenharia Sanitária e Ambiental
Saltarin <i>et al.</i> (2023)	A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão.	8	Enegep
Adams, Vianna e Vianna (2023)	Um modelo de programação linear inteira mista para a alocação de funcionários de uma empresa de software	1	Revista de Gestão e Secretariado

2.2. Análise Bibliométrica do Portifólio Bibliográfico.

Algumas análises foram feitas a partir do portfólio de 12 artigos selecionados, os resultados são apresentados a seguir. Primeiramente, a relevância dos artigos selecionados com base na quantidade de citações no *google scholar*, apresentado na Fig. (3). É possível observar que o artigo mais citado é “Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear

inteira mista em problemas de localização de instalações” desenvolvido em Mapa e Lima(2012), publicado na revista Gestão e Produção, no ano de 2012.

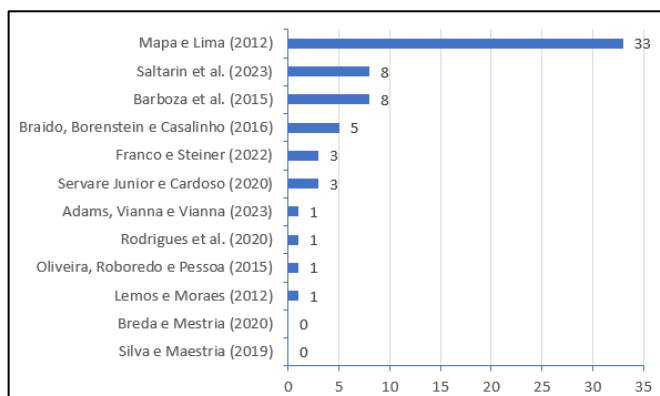


Figura 3: Quantidade de citação por artigo (Fonte: Dados da pesquisa)

Por sua vez, a quantidade de artigos por base de dados, apresentado na Fig. (4). indica que após as etapas de filtragem, o portfólio bibliográfico é formado majoritariamente por artigos da base de dados CAPES, contendo 11 dos 12 artigos, ou seja, apenas 1 artigo dos anais ENEGEP foi considerado relevante para a pesquisa.

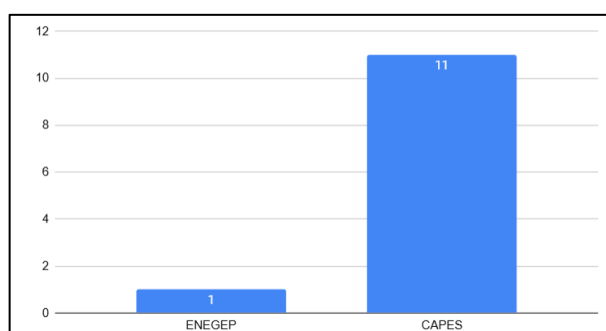


Figura 4: Quantidade de artigo por base de dados (Fonte: Dados da pesquisa)

Quantidade de artigos por periódicos, apresentado na Fig. (5). A partir da ilustração é possível observar a relevância dos periódicos onde os artigos do portfólio foram publicados. A revistas de Gestão e secretariado, Revista Produção Online e a Revista de Gestão e Produção foram as mais relevantes tendo dois artigos cada no portfólio, as demais revistas têm apenas um artigo cada;



Figura 5: Quantidade de artigo por periódicos (Fonte: Dados da pesquisa)

Por sua vez, a quantidade de artigos por ano de publicação é apresentada na Fig. (6). Nota-se que o ano com o maior número de artigos publicados sobre o tema é 2023, com três artigos do portfólio publicados nesse ano. Essa análise mostra a importância da utilização do Pareto a fim de resgatar os artigos que ainda não tem reconhecimento científico por terem sido publicados recentemente. Em sequência, nota-se dois artigos dos anos de 2012, 2015 e 2016 e por fim 1 artigo nos anos de 2020 e 2022.

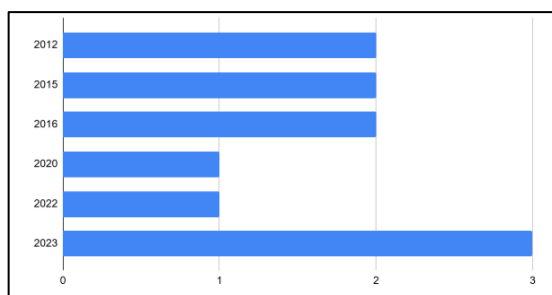


Figura 6: Quantidade de artigo por ano de publicação (Fonte: Dados da pesquisa)

Relevância das palavras-chaves, apresentado na Fig. (7), aponta as palavras mais relevantes do portfólio bibliográfico com base na aparição delas nos artigos. Neste trabalho foram identificadas que “otimização” e “programação linear inteira mista” foram usadas em três dos doze artigos, seguidas por “pesquisa operacional” e “logística reversa” que aparecerem duas vezes cada, as demais palavras se repetem apenas uma vez ao longo dos doze artigos.

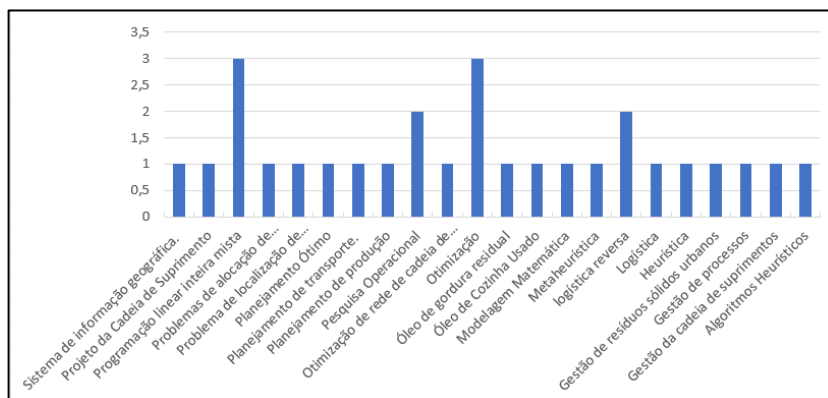


Figura 7: Quantidade de cada palavra-chave (Fonte: Dados da pesquisa)

2.3. Análise Sistêmica do Portfólio Bibliográfico

Com o portfólio bibliográfico definido e a análise bibliométrica concluída, esta etapa do estudo realiza uma análise sistêmica para avaliar a contribuição de cada artigo ao tema proposto. O objetivo é comparar as metodologias aplicadas pelos autores e os resultados alcançados, evidenciando a relevância de cada estudo dentro do contexto abordado. Para isso, foram estabelecidos quatro pontos de análise:

- I. Contribuição do artigo para o tema abordado;
- II. Ferramentas aplicadas na pesquisa;

III. Convergência dos objetivos com a proposta do estudo;

IV. Análise dos resultados obtidos.

Cada artigo do portfólio foi examinado com base nesses critérios, e os achados dessa avaliação são apresentados a seguir.

Mapa e Lima (2012) analisam a qualidade das soluções para problemas de localização-alocação de instalações, comparando os resultados gerados por um Sistema de Informação Geográfica para Transportes (SIG-T) com aqueles obtidos por um modelo baseado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM). A comparação entre os dois modelos demonstrou que, quando não há restrições de capacidade das instalações, o SIG-T apresenta soluções similares às do modelo exato. No entanto, ao incluir essa restrição, o PLIM se mostra mais eficiente, reduzindo os custos de transporte em até 37%. Dessa forma, a aplicação da modelagem matemática em redes logísticas reversas segue uma tendência consolidada na literatura, garantindo que a estrutura projetada seja eficiente, economicamente viável e ambientalmente responsável.

Lemos e Moraes (2012) apresentam um modelo de Programação Linear Inteira Mista aplicado ao planejamento agregado da produção na bovinocultura de corte, abordando a sazonalidade da capacidade produtiva e a necessidade de otimização dos recursos disponíveis. Esse estudo se relaciona diretamente com desafios logísticos que exigem planejamento detalhado da distribuição e alocação de recursos em cadeias de suprimentos, especialmente em contextos onde a demanda e a capacidade variam ao longo do tempo. Dessa forma, a abordagem proposta pelos autores contribui significativamente para o aprimoramento de sistemas de planejamento que envolvem múltiplas variáveis e restrições, demonstrando a relevância da otimização matemática em contextos produtivos sustentáveis.

Barboza et al. (2015) abordam a aplicação de técnicas de otimização, como Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e Algoritmo Genético (AG), para resolver problemas de transferência e estocagem de diesel em uma refinaria de petróleo. A metodologia proposta busca minimizar custos operacionais, considerando restrições como vazões mínimas e máximas, volumes de tanques e demandas dos clientes.

Por sua vez, Oliveira, Roboredo e Pessoa (2015), demonstram como modelos matemáticos podem otimizar a distribuição de recursos em sistemas logísticos, utilizando Programação Linear para alocar estudantes em escolas de forma eficiente. A pesquisa destaca a importância da otimização de fluxos para minimizar custos e impactos ambientais, um conceito que pode ser aplicado a diferentes redes logísticas que exigem localização estratégica de infraestruturas. As ferramentas empregadas incluem Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e algoritmos de otimização, possibilitando a modelagem de cenários e a definição de pontos estratégicos para recepção e redistribuição de recursos.

Braido, Borenstein e Casalinho (2016) apresentam um estudo sobre a otimização de redes logísticas utilizando a heurística baseada em Busca Tabu. Neste artigo, os autores aplicam o método para minimizar custos em cadeias de suprimentos complexas, um aspecto relevante para a definição eficiente de fluxos logísticos. A metodologia empregada no estudo permite identificar locais ideais para instalação de infraestruturas de suporte, garantindo um balanceamento entre capacidade operacional e minimização de custos. Os resultados obtidos indicam que a heurística aplicada consegue reduzir significativamente o tempo computacional necessário para encontrar soluções viáveis, tornando-se uma alternativa promissora para problemas complexos de localização e transporte.

Silva e Maestria (2019), apresentam um estudo sobre algoritmos para o Problema de Localização de Estações de Carregamento de Veículos Elétricos (PLECVE), destacando a importância da otimização na determinação de uma rede eficiente de estações de carregamento que minimize custos e distâncias percorridas pelos veículos elétricos. O artigo utiliza de métodos heurísticos, como a metaheurística baseada em Otimização por Reações Químicas (CRO), para resolver o problema, que

é classificado como NP-difícil devido à sua complexidade e às diversas restrições envolvidas. O estudo fornece uma visão abrangente sobre os desafios e as soluções para a localização de estações de carregamento de veículos elétricos, fornecendo ferramentas distintas que demonstram como a otimização em modelos matemáticos pode realizar trabalhos eficientes de localização para problemas complexos.

Já Rodrigues *et al.* (2020) apresentam um estudo sobre a otimização do traçado de redes coletoras de esgoto sanitário utilizando Algoritmos Genéticos, com o objetivo de minimizar os custos de implantação das infraestruturas. O artigo apresenta aplicação de um modelo computacional para encontrar soluções eficientes na disposição dos dutos, reduzindo gastos com tubulações e escavações. O modelo matemático utilizado permite balancear variáveis como o traçado da rede e o volume de material escavado, o que pode ser correlacionado a desafios de logística reversa e distribuição de resíduos em cadeias sustentáveis.

Breda e Mestria (2020), apresentam uma proposta de otimização dos modelos de distribuição de energia elétrica, visando aprimorar o processo de localização e balanceamento de subestações na região da Grande Vitória (ES). Utilizando o modelo matemático de p-mediana aliado à implementação de métodos. Dessa forma, o artigo propõe uma abordagem eficiente para a simulação de resultados a partir de um modelo que busca minimizar a distância entre os pontos de demanda e as subestações, considerando a capacidade de cada unidade e a demanda regional.

Servare Junior e Cardoso (2020), apresentam um modelo matemático para a postergação de tempo no projeto de redes logísticas reversas, com aplicação na cadeia de suprimentos reversa do óleo de cozinha usado no município de Vitória, Espírito Santo. Com um modelo matemático baseado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e com a utilização de ferramentas como o CPLEX, o estudo busca minimizar os custos totais, incluindo custos fixos de abertura de instalações e custos variáveis de transporte.

Franco e Steiner (2022), propõem uma abordagem de otimização para o transporte e a localização de aterros sanitários no Estado do Paraná, visando melhorar a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e reduzir os custos associados ao descarte e ao transporte. O artigo realiza uma análise da configuração atual, apresentando suas deficiências, como o excesso de aterros de pequeno porte, consórcios não contíguos e o não atendimento total da demanda, resultando em custos elevados de transporte e baixa eficiência de escala.

Saltarin *et al.* (2023), apresentam uma revisão sobre a logística reversa dos óleos de gorduras residuais (OGR) na produção de biodiesel sustentável, destacando a importância da coleta e gestão eficiente desses resíduos. O artigo propõe a otimização da cadeia de suprimentos reversa do OGR, com base em modelos conceituais de coleta e processamento. A revisão fornecida pelos pesquisadores propicia uma visão de como a comunidade pode ser envolvida no processo de coleta de resíduos, além de dar um panorama sobre os desafios a serem enfrentados no desenvolvimento de uma rede de logística reversa e alternativas para sua solução.

Adams, Vianna e Vianna (2023), apresentam uma proposta de otimização para a alocação de funcionários em visitas a clientes, visando aprimorar o processo de designação de colaboradores na empresa Alterdata em Macaé (RJ). O estudo proposto mostrou-se uma alternativa relevante em cenários onde a complexidade do problema manualmente se torna inviável, além de exemplificar a adaptabilidade dos modelos matemáticos PLIM para as mais diversas áreas de alocação de recursos e disponibilidade.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a conclusão da análise sistêmica sobre o conteúdo de cada artigo do portfólio, as Tabelas (2) e (3) representam conjunto de características usadas para classificar os artigos a fim de obter uma visão mais convicta dos estudos, sendo elas:

- Tipo de estudo: Nesta seção os artigos foram classificados de acordo com o tipo de estudo utilizado para realização do trabalho, sendo eles, Exploratório (EXP) e Estudo de Caso (EC);
- Abordagem: Trata de como os autores realizaram as pesquisas, seja por meio de uma abordagem Qualitativa (QUALI) ou Quantitativa (QUANT);
- Dados: Trata do tipo de dados usado pelos autores, sejam Dados Simulados (SML) ou Dados Reais (DR);
- Critério: Usado para determinar se o artigo analisado atinge o âmbito Econômico (ECO) ou Sustentável (SUST);
- Objeto de estudo: Utilizou-se essa classificação para identificar o objeto de estudo de cada artigo, sendo categorizado como Serviços (SVÇ) quando a análise se concentrou na logística reversa sob a perspectiva organizacional, e como Produto (PROD) quando o foco esteve no fluxo reverso de bens ou materiais específicos.

Tabela 2: Classificação das características dos artigos (Fonte: Dados da pesquisa)

Classificação	Código
Tipo de Estudo	Exploratório Estudo de caso
	EXP EC
Abordagem	Qualitativa Quantitativa
	QUALI QUANT
Dados	Simulados Dados reais
	SML DR
Critério	Sustentável Econômico
	SUST ECO
Objeto de Estudo	Serviços Produtos
	SVÇ PROD

Tabela 3: Artigos classificados (Fonte: Dados da pesquisa)

Artigo	Tipo de Estudo	Abordagem	Dados	Critério	Objeto de Estudo
Mapa e Lima (2012)	EXP	QUANT	SML	ECO	-
Lemos e Moraes (2012)	EC	QUANT	DR	ECO	SVÇ
Barboza <i>et al.</i> (2015)	EC	QUANT	DR	ECO	PROD
Oliveira, Roboredo e Pessoa (2015)	EC	QUANT	DR	SUST	SVÇ
Braido, Borenstein e Casalinho (2016)	EXP	QUANT	SML	ECO	-

Silva e Maestria (2019)	EXP	QUANT	DR, SML	ECO, SUST	SVÇ
Rodrigues <i>et al.</i> (2020)	EC	QUANT	DR	ECO	SVÇ
Breda e Mestria (2020)	EXP	QUANT	DR	ECO, SUST	SVÇ
Servare Junior e Cardoso (2020)	EXP	QUANT, QUALI	DR	ECO, SUST	SVÇ
Franco e Steiner (2022)	EXP	QUANT, QUALI	SML	SUST	SVÇ
Saltarin <i>et al.</i> (2023)	-	QUALI	DR	-	-
Adams, Vianna e Vianna (2023)	EC	QUANT	DR, SML	ECO, SUST	-

A análise comparativa entre os artigos evidencia que a aplicação de modelos matemáticos em redes logísticas não apenas difere em termos de técnicas empregadas — como Programação Linear Inteira Mista, heurísticas ou metaheurísticas —, mas também em sua capacidade de adaptação a distintos contextos operacionais. Essa heterogeneidade metodológica sugere que não existe uma solução universal para problemas de redes, mas sim um conjunto de ferramentas que devem ser escolhidas de acordo com o cenário em estudo, considerando restrições de capacidade, objetivos estratégicos e disponibilidade de dados.

Outro ponto relevante refere-se à predominância de critérios econômicos e sustentáveis nos estudos analisados. Essa convergência demonstra que a literatura tem buscado alinhar eficiência operacional com impactos ambientais, reforçando a importância de modelos que promovam práticas de economia circular. A presença crescente de trabalhos voltados à logística reversa reforça essa tendência, indicando que a sustentabilidade deixou de ser um aspecto complementar para se tornar central na formulação de projetos de redes logísticas.

Apesar dos avanços observados, a revisão revela que ainda existem lacunas importantes. Muitos estudos priorizam a validação computacional sem avançar para a implementação prática em contextos reais, o que limita a aplicabilidade dos modelos em processos decisórios de empresas e órgãos públicos. Além disso, a predominância de dados simulados em alguns casos reduz a capacidade de generalização dos resultados, ressaltando a necessidade de estudos de caso em cenários complexos e multivariados.

Considerando os achados, observa-se uma oportunidade para o desenvolvimento de modelos híbridos que combinem técnicas exatas e heurísticas, de modo a equilibrar precisão e eficiência computacional. Da mesma forma, a incorporação de dimensões sociais, como impacto na comunidade e geração de empregos, pode ampliar a relevância dos modelos, aproximando-os das demandas atuais de sustentabilidade e responsabilidade corporativa. Essas perspectivas sugerem que a literatura tende a caminhar para abordagens mais interdisciplinares e aplicadas. A análise dos artigos mostra predominância de estudos quantitativos, com foco em critérios econômicos e sustentáveis. A maioria utiliza dados reais e aborda tanto produtos quanto serviços, evidenciando a versatilidade dos modelos analisados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa, ao aplicar a metodologia ProKnow-C, possibilitou identificar e analisar um portfólio bibliográfico composto por estudos que apresentam modelos matemáticos voltados ao projeto de redes logísticas. A análise sistêmica revelou que, embora os artigos selecionados abordem diferentes contextos — como transporte de resíduos, cadeias de suprimentos industriais e sistemas de distribuição —, todos apresentam contribuições relevantes para a estruturação de modelos capazes de apoiar decisões estratégicas relacionadas à localização de instalações, dimensionamento de recursos e otimização de fluxos logísticos.

Entre as técnicas mais recorrentes destacam-se a Programação Linear Inteira Mista, heurísticas e metaheurísticas, como algoritmo genético e Busca Tabu, que têm se mostrado eficazes na resolução de problemas complexos de redes. A diversidade de aplicações encontradas no portfólio analisado demonstra a flexibilidade desses modelos e sua capacidade de adaptação a diferentes cenários, reforçando a importância de estudos comparativos e críticos que sistematizem tais contribuições.

Com base nos resultados, conclui-se que os modelos matemáticos identificados fornecem uma base metodológica consistente para subsidiar projetos de redes logísticas, sendo capazes de integrar variáveis econômicas, operacionais e, em alguns casos, socioambientais. A pesquisa reforça, assim, a relevância da aplicação do ProKnow-C como ferramenta para seleção, organização e análise de conhecimento científico em um campo caracterizado pela diversidade metodológica e pela multiplicidade de abordagens.

Como direcionamento para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação do escopo da revisão de literatura, incorporando bases de dados adicionais e novas palavras-chave que possam capturar estudos emergentes em logística sustentável, resiliência de cadeias e digitalização de redes. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de modelos matemáticos mais próximos da realidade prática, que considerem as especificidades territoriais, regulatórias e socioeconômicas de cada contexto, de modo a aproximar a teoria das necessidades reais de gestores e formuladores de políticas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio a esta pesquisa à Universidade Federal do Espírito Santo, através do Programa Institucional de Extensão, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. M.; VIANNA, D. S.; VIANNA, M. D. F. D. Um modelo de programação linear inteira mista para a alocação de funcionários de uma empresa de software. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 1, p. 460-487, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i1.1527>
- BARBOZA, A. O.; NEVES JUNIOR, F.; BORTOLOTTI, S. L. V.; SOUZA, R. A. de. Programação linear inteira mista e algoritmo genético aplicados ao problema de transferência e estocagem de produtos em uma indústria petrolífera. *Sistemas & Gestão*, v. 10, n. 4, p. 561-574, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7177/sg.2015.v10.n4.a2>
- BRAIDO, G. M.; BORENSTEIN, D.; CASALINHO, G. D. A. O. Otimização da rede de uma cadeia de suprimentos com a utilização de uma heurística baseada em busca tabu. *Gestão & Produção*, v. 23, n. 1, p. 3-17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1288-14>
- BREDA, G. R.; MESTRIA, M. Métodos heurísticos para otimização de redes de distribuição de energia elétrica. *Revista Produção Online*, v. 20, n. 4, p. 1354-1383, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v20i4.4131>
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S.R.; LACERDA, R.T.O.E. TASCA, J.E. ProKnow-C, Knowledge Development Process-Constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil. 2010.

- FRANCO, D. G. D. B.; STEINER, M. T. A. Otimização do transporte de resíduos sólidos urbanos no Estado do Paraná: repensando a localização de aterros sanitários com base em modelagem matemática. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 5, p. 987-993, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210282>
- GONÇALVES, M. F. S.; CHAVES, G. D. L. D. Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa. *Revista ESPACIOS*, v. 35, n. 8, 2014.
- LEITE, P.R. Logística reversa: sustentabilidade e competitividade. Saraiva Educação SA, 2017.
- LEMONS, F.K.; MORAES, L.B.. Planejamento agregado da produção em nutrição de bovinos de corte: uma abordagem através de programação linear inteira mista. *Colloquium Exactarum*, v. 4, n.2, p. 20-30. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5747/ce.2012.v04.n2.e047>
- MAPA, S. M. S.; LIMA, R. D. S. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. *Gestão & Produção*, v. 19, p. 119-136, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000100009>
- OLIVEIRA, A. V. de; ROBOREDO, M. C.; PESSOA, A. A. Aplicação de um modelo de otimização para a distribuição de estudantes em escolas públicas: um estudo de caso em um distrito no município de São Gonçalo–RJ. *Engevista*, v. 17, n. 4, p. 540-553, 2015.
- RODRIGUES, G.P.W.; FARIAS, G.M.; COSTA, L.H.M; CASTRO, M.A.H. Otimização do traçado de redes coletoras de esgoto sanitário via algoritmo genético. *Revista DAE*, São Paulo, v. 68, n. 222, p. 164-177, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.024>
- SALTARIN, M.J.; SILVA, M.S.; MARTINS, L.O.S.; ROCHA, A.M.; FERNANDES, F.M.; HOCEVAR, L.S.; FREIRES, F.G.M.; TORRES, E.A. A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 1, p. 1170-1183, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i1.1582>
- SERVARE JUNIOR, M. W. J.; CARDOSO, P. A. Modelo matemático para postergação de tempo no projeto de rede logística reversa com níveis de capacidade. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 6, n. 7, p. 1-22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v6i8.31295>
- SILVA, Y. S. da; MESTRIA, M. Algoritmos para o problema de localização de estações de carregamento de veículos elétricos. *Revista Produção Online*, v. 19, n. 1, p. 290-320, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i1.3324>