

OTIMIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE MATERIAIS COM VEÍCULOS AUTÔNOMOS GUIADOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA¹

Victor de Amorim Gomes Correia *, Anibal Tavares de Azevedo, Carla T. L. S. Ghidini

Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, R. Pedro Zaccaria, 1300, Limeira,
13484-350, SP, Brasil

Recebido 20/09/2025, aceito 14/11/2025

RESUMO

Veículos autônomos guiados (AGVs) tornaram-se um elemento chave na logística interna de uma Indústria . Esses robôs podem ser utilizados para movimentar matérias-primas, equipamentos e produtos acabados nas áreas de produção, armazenagem, distribuição e áreas que necessitam de transporte no geral. Nesse contexto, foi realizada uma revisão sistemática e análise bibliométrica para investigar a implementação desses equipamentos nos almoxarifados e centros de distribuição. Para isso, foram considerados apenas artigos escritos em inglês e que possuem Digital Object Identifier (DOI). Os resultados nos permitiram entender melhor a evolução da produção literária, as principais partes interessadas, trabalhos mais relevantes e temas associados. Foi observado um crescimento significativo no número de publicações a partir de 2014, com um contínuo crescimento até os dias atuais.

Palavras-chave: AGV, Almoxarifado, Algoritmo genético, Otimização

ABSTRACT

Automated guided vehicles (AGVs) have become a key element in industries' intralogistics (Ulrich, 2015). These robots can be used to move raw materials, equipment, and finished products in production areas, storage facilities, distribution centers, and other areas that require transportation in general. In this context, a systematic review and bibliometric analysis were conducted to investigate the implementation of these devices in warehouses and distribution centers. Only articles in English with a Digital Object Identifier (DOI) were considered. The results allow us to better understand the evolution of scholarly production, key stakeholders, relevant works, and associated themes. The number of publications has significantly increased since 2014, with continuous growth up to the present day.

Keywords: AGV, Warehouse, Genetic algorithm, Optimization.

* Autor para correspondência. E-mail: victorcorreiavc@hotmail.com
DOI: <https://doi.org/10.4322/PODes.2026.003>

¹Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

1. Introdução

Nos últimos anos, a crescente automação tem desempenhado um papel fundamental na otimização dos processos industriais, especialmente no contexto dos almoxarifados e centros de distribuição. Nesse cenário, os Veículos Autônomos Guiados (AGVs) emergem como uma solução promissora, oferecendo eficiência, flexibilidade e precisão na movimentação de materiais. O avanço tecnológico, especialmente com a introdução de novas tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e a Indústria 4.0, impulsionou o interesse e a adoção crescente dos AGVs na indústria (Ullrich, 2015).

Segundo a Associação Americana de Movimentação de Materiais, um AGV é caracterizado por ser controlado por um computador industrial e operar de forma autônoma ao seguir uma rota pré-determinada. Este veículo, fundamentado em um robô com rodas, tem a capacidade de contornar obstáculos e transportar materiais entre locais designados, representando uma evolução significativa na logística e na automação industrial (Ullrich, 2015). Sua aplicação abrange diversos ambientes, internos e externos, incluindo áreas de produção, armazenagem, distribuição e transporte em geral (Vis, 2006).

Segundo a consultoria Intelligence (2024), atualmente estimam-se em 150.000 o número de AGVs utilizados em aplicações industriais, destacando-se armazéns e centros de distribuição como exemplos de uso desses veículos para transporte de materiais. Nesses ambientes, é comum a utilização de vários AGVs interconectados por um sistema, o qual é composto por várias partes, incluindo a rede de transportes, os veículos e a interface física entre os sistemas de produção/armazenagem e controle. A rede de transportes conecta todas as máquinas e estações do sistema, enquanto nas estações de coleta e entrega estão localizadas as interfaces dos sistemas de produção/armazenagem e controle, permitindo o transporte das cargas entre estas estações em uma rota fixa ou livremente (Vis, 2006).

Existem diferentes abordagens de navegação para os AGVs, desde tecnologias eletromagnéticas, óticas ou de navegação via laser até câmeras e sensores (Zhang et al., 2023). Independentemente do método, o objetivo é garantir o movimento seguro e eficiente dos veículos em seus ambientes operacionais. Em relação aos almoxarifados, o processo de picking é responsável por metade do tempo de operação e pode chegar a mais da metade dos custos de operação (de Koster et al., 2007), sendo um dos principais focos de otimização para os AGVs. Seja na busca e transporte de mercadorias ou na interação com sistemas automatizados de armazenagem, os AGVs desempenham um papel fundamental na eficiência desses processos.

Entretanto, as aplicações de AGVs na indústria carregam diversos desafios, como o planejamento e o agendamento das tarefas, bem como a otimização de rotas. Diversas abordagens podem ser aplicadas para resolver problemas de otimização de AGVs. Essas metodologias podem ser divididas em métodos matemáticos, simulações, técnicas de meta-heurística e utilização de inteligência artificial (Fazlollahtabar e Sidi-Mehrabad, 2015). Entretanto, ainda existem desafios relacionados aos métodos utilizados para otimização de rotas. Outro desafio adicional são os altos custos dos AGVs, pois dimensionar a quantidade deles em um sistema pode fazer a diferença na lucratividade geral do negócio (Mousavi et al., 2017).

Diante desse cenário de vantagens e incertezas, esse estudo visa aprofundar a compreensão do cenário atual da otimização de almoxarifados através da utilização de AGVs, adotando uma abordagem sistemática que combina revisão da literatura e análise bibliométrica. Para alcançar esse objetivo, exploraremos as seguintes perguntas de pesquisa:

- Q1: Como tem evoluído ao longo dos anos a pesquisa correlacionando Otimização e Almoxarifado?
- Q2: Quais são os principais interessados (revistas, instituições, países) na combinação dos temas de Otimização e Almoxarifado?
- Q3: Quais são os estudos centrais nesse campo?
- Q4: Quais são as palavras chaves com maior ocorrência nos temas pesquisados?

O artigo está dividido em seções. Além desta Seção 1, que contém a introdução, a Seção 2 traz uma fundamentação teórica sobre AGV, Almojarifado e Otimização. A Seção 3 é dedicada ao método do estudo, que consiste em uma revisão sistemática adotando a metodologia PRISMA, enquanto a Seção 4 apresenta os resultados obtidos e as discussões. Por fim, na Seção 5 estão os comentários finais, as conclusões do estudo, bem como as suas limitações.

2. Revisão da Literatura

2.1. Veículo Autônomo Guiado (AGV)

De acordo com Ullrich (2015), a primeira utilização conhecida de um AGV foi nas atividades de almojarifado e logística, utilizando um sistema de ímãs, sensores óticos e códigos de barras, sendo a Barret Eletronics of Northbrook a primeira empresa a introduzir um AGV, em 1953.

Os AGVs evoluíram de veículos guiados por fios e ímãs, nas décadas de 1960 a 1990, para sistemas mais sofisticados com microprocessadores, lasers e sensores avançados. A partir dos anos 2000, a integração com Inteligência Artificial e softwares de código aberto permitiu movimentação em todas as direções, interação inteligente e maior produtividade. (Ullrich, 2015). A Figura 1 ilustra algumas das aplicações de AGVs na indústria.

Figura 1: Aplicações de AGV na indústria



Fonte: Adaptado de Zhang J. (2023)

A Tabela 1 cita exemplos de artigos e as principais etapas do processo em que a aplicação dos AGVs pode ser observada.

De acordo com Zhang et al. (2023), as tecnologias de navegação são a chave para o funcionamento adequado dos sistemas com AGV. Estas tecnologias são divididas em rotas de navegação fixas, na qual o AGV se move em caminhos demarcados no chão do almojarifado com fitas eletromagnéticas ou luminescentes e sensores no robô, e a navegação livre, que consiste na instalação de câmeras ou sensores no AGV. Pontos de referência no espaço em que este trafegará são referências para o recebimento das informações do espaço e permitem ao AGV se movimentar de forma autônoma.

O modelo fixo de navegação já possui uma boa maturidade. Além disso, a tecnologia é confiável e precisa, possuindo um baixo custo de instalação e facilidade na expansão. Uma desvantagem desse modelo é a dependência das sinalizações no chão, que, caso estejam danificadas,

Tabela 1: Exemplos de aplicações de AGV na indústria

Autor	Aplicação	Etapa
Wang et al., 2021	Armazenagem	Transporte de materiais
Ergin & Gökçe, 2023	Armazenagem	Picking
Morikawa et al., 2020	Armazenagem	Determinar número de AGV
Ha & Jiang, 2023	Armazenagem	Agendamento de tarefas
Ren N. et al., 2024	Produção	Separação e movimentação de peças de montagem
Guo X, 2024	Medicina	Gestão de materiais em hospitais
Zhang J. et al., 2023	Inspeção industrial	Reconhecimento e inspeção

Fonte: Elaborada pelos autores.

prejudicam o reconhecimento dos AGVs. Além disso, esse modelo é menos dinâmico se comparado às tecnologias em que os robôs navegam livremente, que permitem maior flexibilidade através de tecnologias mais avançadas. A navegação livre é mais indicada em ambientes complexos e dinâmicos; entretanto, os custos de implementação são mais altos comparados aos modelos fixos, consistindo na sua principal desvantagem (Zhang et al., 2023).

O planejamento e o agendamento de tarefas, bem como a otimização de rotas, são alguns dos principais desafios no desenvolvimento e evolução das aplicações de AGVs na indústria. Esses temas têm sido alvo de pesquisas nas últimas décadas. S. et al. (2019) teve sucesso aplicando o algoritmo Dijkstra na otimização de rotas para transporte de cargas. Também vem recebendo atenção dos pesquisadores as meta-heurísticas. Algoritmo Genético, que simula o processo natural de evolução, e PSO (Particle Swarm Optimization), em que a cada iteração busca-se as melhores partículas com base na iteração anterior, assim como métodos híbridos.

2.2. Almojarifados e centros de distribuição

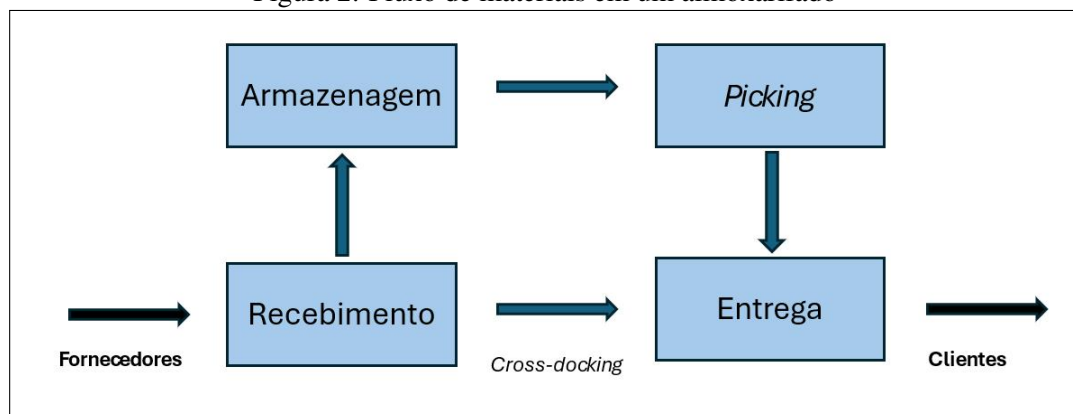
De acordo com de de Koster et al. (2007), almojarifados são uma parte importante da Logística de uma empresa, podendo ser utilizados para armazenagem de matérias-primas e produtos acabados, como também para pontos intermediários entre a fabricação e consumidor final. Se o local é utilizado apenas para armazenagem de bens pode ser considerado um almojarifado, já quando é utilizado também para distribuição é chamado Centro de Distribuição. Embora exista uma distinção na literatura especializada em Almojarifados, os artigos analisados que se concentram em AGVs empregam ambos os termos de maneira intercambiável como sinônimos.

Em resumo, o fluxo de materiais no almojarifado abrange as etapas de recebimento, armazenagem, picking e entrega, conforme ilustrado na Figura 2. Essas etapas envolvem tanto os fornecedores quanto os clientes. O processo de recebimento inicia quando as mercadorias chegam ao almojarifado. Em seguida, as mercadorias podem ser armazenadas em locais apropriados ou transferidas diretamente para expedição (cross-docking). Os materiais armazenados, por sua vez, eventualmente serão separados para atender às requisições dos clientes, o qual será realizado na etapa de picking.

O processo de picking consiste em reunir e agendar as ordens de clientes, direcionar as localizações no estoque daquelas ordens e distribuí-las para operação. Em seguida é necessário retirar os materiais de seus locais de armazenagem e depositá-los na área destinada ao picking. Em cada linha de ordem deve constar um único tipo de material na quantidade necessária. Entre os processos do almojarifado, o picking, processo de coletar materiais no estoque de acordo com a necessidade do cliente, pode chegar a até 55 por cento dos custos de operação. Além disso, o tempo de movimentação de ir até o material e retornar ao ponto de partida leva em média 50 por cento do tempo total da operação (de Koster et al., 2007).

O picking pode ser realizado de duas formas: no sistema em que o operador se desloca

Figura 2: Fluxo de materiais em um almoxarifado



Fonte: Elaborada pelos autores.

até o material para retirá-lo, ou no sistema em que o material é trazido até o operador, como no caso da utilização de esteiras. Nas duas formas, a atividade pode ser automatizada com o uso de robôs. Com o rápido crescimento do comércio eletrônico e a falta de mão de obra operacional, a tendência é um aumento na automação em almoxarifados e centros de distribuição (Mejri et al., 2022). Portanto, diversos autores têm realizados estudos e propondo otimizações para as rotas de coleta de materiais (Ergin e Gökçe, 2023) (Mejri et al., 2022) (Aldarondo e Bozer, 2022) (Yoshitake e Abbeel, 2023) (Kimura et al., 2019). Essas movimentações podem ser executadas por operadores humanos ou AGVs.

Reduzir o tempo médio de movimentação para o picking é apenas uma das opções de otimização no almoxarifado. Outro objetivo comum é a redução dos custos operacionais totais e dos investimentos. Para atingir a otimização na movimentação, outros fatores também precisam ser considerados, como a otimização do tempo de processamento do pedido, a otimização do uso do espaço e layout, e a maximização do uso de equipamentos e mão de obra (de Koster et al., 2007).

2.3. Otimização da movimentação de materiais

O agendamento de tarefas consiste em alocar os AGVs considerando custos e tempo para as operações, garantindo que não haja colisões nas rotas. Um bom agendamento equivale a realizar o maior número de tarefas, utilizando o mínimo de bateria e o menor número de AGVs, considerando, ainda, restrições dos agendamentos como prazos de entrega e prioridades (Vivaldini et al., 2015).

Em geral os sistemas de agendamento de tarefas podem ser divididos em sistemas que funcionam em tempo real e sistemas offline. O primeiro permite que o agendamento se ajuste conforme o progresso das atividades, enquanto o segundo predetermina o momento de início e o tempo de atividade.

Ambos os sistemas definem onde e quando o veículo deve estar. No caso de a operação ter todas as atividades com antecedência, é possível utilizar um sistema offline. Entretanto, caso o agendamento precise responder a mudanças dinâmicas em tempo real, um sistema online se faz necessário. Essas mudanças em um sistema offline precisam ser recalculadas pontualmente, enquanto no sistema online são dinâmicas (Mousavi et al., 2017).

Após as tarefas agendadas, uma rota deve ser planejada para que o AGV realize uma tarefa partindo do seu ponto de origem até ponto de destino, dentro de sua rede. A rota inclui os pontos onde o AGV deve coletar ou deixar materiais. Uma boa rota deve garantir o deslocamento mínimo e evitar colisões ou pontos que o AGV não consiga sair. Uma rota eficiente garante a performance do sistema como um todo.

Os sistemas de planejamento de rotas são categorizados em estáticos e dinâmicos. Nos estáticos, os locais de origem e destino são imutáveis e definidos previamente, o que facilita o uso contínuo de AGVs para o transporte de materiais a esses pontos. Embora as rotas estáticas permitam a otimização do percurso para minimizar distâncias, elas apresentam uma desvantagem significativa: a inflexibilidade para se ajustar a mudanças no ambiente ou variações no fluxo de tráfego.

Já os sistemas dinâmicos baseiam suas decisões de rotas em informações recebidas em tempo real. O sistema recebe as solicitações dos clientes, a disponibilidade de cada AGV, sua localização e, com essas informações, define as rotas para otimização do sistema. Um ponto negativo nesse tipo de planejamento é a maior complexidade do sistema e da otimização de rotas (Fazlollahabadi e Sidi-Mehrabadi, 2015).

Liu et al. (2019) categoriza as técnicas de otimização para o agendamento de tarefas em três grupos principais: métodos exatos de soluções, heurísticas e meta-heurísticas. Os métodos exatos visam encontrar a melhor solução possível, ou seja, o ótimo global. No entanto, essa abordagem muitas vezes não consegue gerar soluções eficazes para problemas NP-hard, que são notoriamente complexos do ponto de vista computacional. As heurísticas são desenvolvidas com o propósito específico de resolver um problema particular, enquanto as meta-heurísticas se destacam por sua versatilidade, sendo capazes de se adaptar a uma vasta gama de problemas.

Uma meta-heurística que se destaca é o algoritmo genético, baseado na teoria da evolução de Charles Darwin, aparecendo com recorrência na literatura da a respeito dos AGVs (Mousavi et al., 2017) (Gao et al., 2015) (Pagani et al., 2017) (Liu, 2011) (Majdzik et al., 2023) (Li et al., 2019) (Morikawa et al., 2020) (Liu, 2018) (Liangou e Dentsoras, 2021) (Zhou et al., 2022) (Li et al., 2022) (Ha et al., 2021) (Wang et al., 2021) (Tang et al., 2021) (Jiang et al., 2023) (Ha e Jiang, 2023) (Tian et al., 2023)

O desenvolvimento desse algoritmo segue cinco fases. A primeira é a inicialização de parâmetros, que consiste na criação da primeira geração de cromossomos. Na próxima etapa, é definida a representação genética dos cromossomos, permitindo a geração de uma população inicial (Liu et al., 2019). Na etapa seguinte, após a definição dos parâmetros da população inicial, é realizada uma avaliação do desempenho dos indivíduos na simulação. Por meio de comparação com outros indivíduos, são selecionados os melhores, que formarão uma nova população (quarta etapa), isso garante que a população evolua em direção a soluções mais eficientes. Essa seleção ocorre entre indivíduos que sofrerão alterações por permutação e mutações. O processo termina, quando a geração de novos cromossomos atinge ao limite máximo. Nesse ponto, os cromossomos de elite retornam como a solução ótima.

Pagani et al. (2017) conseguiu melhorias significativas, utilizando o algoritmo genético para treinar uma rede neural, criando uma política de agendamento de tarefas dos AGV. Em seu artigo, o algoritmo genético foi utilizado para otimizar uma rede neural de tomadas de decisões, seguindo as etapas descritas abaixo:

1. Definição dos parâmetros do algoritmo:

- (a) Número máximo de soluções a partir de uma restrição, como por exemplo, capacidade operacional. Esse parâmetro é chamado N_{max} .
- (b) População inicial de soluções. Esse parâmetro é chamado de N_p .
- (c) Soluções combinadas, utilizando as soluções preexistentes em cada iteração. Esse parâmetro é chamado de N_c .
- (d) Novas soluções geradas através da mutação das soluções existentes em cada iteração. Esse parâmetro é chamado N_m .
- (e) Definir a topologia da rede neural (número de camadas e número de neurônios de cada camada escondida). Essas camadas são mantidas fixas para todas as soluções geradas. O número de nós na entrada e neurônios na saída é baseado no número de parâmetro de entrada e possibilidades de decisão.

2. Gerar a população inicial de soluções N_p .
3. Adicionar as soluções N_c à população. Uma solução combinada é obtida escolhendo aleatoriamente 2 soluções parentais e transferindo alguns parâmetros da rede neural de uma solução parental para a outra.
4. Adicionar N_m soluções modificadas à população:
 - (a) Uma solução modificada é obtida escolhendo aleatoriamente uma solução parental.
 - (b) Alguns parâmetros da rede neural são transferidos da solução parental, enquanto outros são modificados aleatoriamente.
5. Avaliar a qualidade dos indivíduos (redes neurais) da população:
 - (a) Esses indivíduos são considerados como ferramentas de decisão para a atribuição de tarefas em um ambiente de simulação orientado por eventos.
6. Remover as redes neurais de pior desempenho:
 - (a) Manter apenas as melhores N_p redes neurais.
7. Verificar se o número total de redes neurais geradas (inicial + combinadas + mutadas) é menor que um certo limite (N_{max}):
 - (a) Se for menor, repetir a partir da etapa 3.
 - (b) Caso contrário, encerrar o algoritmo.

Zhu et al. (2021) utilizou o algoritmo genético para avaliar a viabilidade do layout de almoxarifado em espinha de peixe proposto, focando na otimização de rotas e agendamento de tarefas. Morikawa et al. (2020) empregou o GA para otimizar o número de AGVs no almoxarifado estudado. Mousavi et al. (2017), Duan et al. (2022), Chen e Jiang (2022) adotaram algoritmos híbridos, incluindo o algoritmo genético, para alcançar melhores resultados em suas otimizações. Essas abordagens demonstram a versatilidade e eficácia do uso do Algoritmo Genético na otimização de processos logísticos e de armazenamento.

Com o objetivo de sintetizar as abordagens de utilização e as aplicações, na Tabela 2 são listados 25 artigos que propõem métodos heurísticos para otimização no uso de AGVs. O algoritmo genético é o mais utilizado, 56 por cento dos autores analisados optaram por ele.

A Tabela 3 apresenta o tipo de função objetivo e restrições consideradas na otimização proposta pelos autores nos artigos estudados. Os objetivos mais comuns foram minimizar o deslocamento dos AGVs (32 %) e o tempo de execução das tarefas (28 %).

Tabela 2: Abordagem de otimização e aplicação por autor

Autor	Abordagem de otimização (exato, heurística, meta-heurística, híbrido, IA)	Aplicação
Ergin & Gökçe, 2023	Matheurística (Combinam meta-heurísticas com técnicas de programação matemática)	Picking
Mejri et al., 2022	Algoritmo de Bellman-Ford	Picking
Aldarondo & Bozer, 2022	Exato	Picking
Yoshitake & Abeel, 2023	Aprendizado de máquinas	Picking
Kimura et al., 2019	Deep learning	Picking
Gao et al., 2015	Algoritmo genético	Picking
Pagani et al., 2017	Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
S. Liu, 2011	Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
Majdzik et al., 2023	Exato	Agendamento de tarefas
Li S. et al., 2019	Rede de Petri	Agendamento de tarefas
Morikawa et al., 2020	Algoritmo genético	Deteminar número de AGV
Liu S., 2018	Agoritmo genético	Agendamento de tarefas
Liangou & Dentsoaras, 2021	Algoritmo genético	Transporte de materiais
Zhou W. et al., 2022	Algoritmo genético	Transporte de materiais
Li C. et al., 2022	Exato	Transporte de materiais
Ha et al., 2021	Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
Wang et al., 2021	Algoritmo genético	Transporte de materiais
Tang et al., 2021	Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
Jiang et al., 2023	A* e Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
Ha & Jiang, 2023	Algoritmo genético	Agendamento de tarefas
Tian et al., 2023	Algoritmo genético adaptativo baseado em valores L e S	Agendamento de tarefas
Zhu, 2021	Algoritmo genético	Almoxarifado (Teste de layout)
Mousavi, Yap, Musa, & Dawal, 2017	Algoritmo genético, Enxame de partículas)	Agendamento de tarefas
Duan, 2022	Algoritmo de Otimização por Enxame Diferencial Não Dominado)	Almoxarifado de produtos químicos perigosos
Chen & Jian, 2022	GA-ANS**	Agendamento de tarefas

Fonte: Elaborada pelos autores.

** Otimização GA-ANS combina as características do Algoritmo Genético (GA) com as do Algoritmo Não Dominado (ANS) para resolver problemas de otimização multiobjetivo.

Tabela 3: Abordagem de otimização e aplicação por autor

Autor	Abordagem de otimização	Aplicação
Ergin & Gökçe, 2023	Minimizar o atraso nos pedidos dos clientes.	Número máximo de ordens; capacidade de carga dos AGV; Número máximo de AGV.
Mejri et al., 2022	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Cada ponto do caminho deve pertencer à menor rota.
Aldarondo & Bozer, 2022	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Posição dos pontos de coleta distribuídos aleatoriamente; Distância de ida igual à distância da volta.
Yoshitake & Abeel, 2023	Tempo de execução de tarefas.	Ordem com menor número de itens; limitar menor/maior distância de deslocamento.
Kimura et al., 2019	Perdas nos resultados de <i>picking</i> ocasionadas por desvios.	Tamanho das caixas; apenas um tipo de item.
Gao et al., 2015	Minimizar as diferenças de ângulos para posicionamento dos AGV.	Distância máxima entre os pontos de referência.
Pagani et al., 2017	Minimizar deslocamento dos AGV.	Número de AGV
Liu S., 2011	Minimizar o tempo de execução das tarefas.	Intervalo mínimo entre tarefas; Tempo de planejamento deve ser menor que o de execução; A ordem da execução de tarefas deve ser respeitada. Cada AGV pode transportar apenas um pallet por vez.
Majdzik et al., 2023	Otimizar o agendamento de tarefas de transporte para AGV.	Quantidade máxima de carga e tempo que podem ser carregados e descarregados nas estações.
Li S. et al., 2019	Minimizar o tempo de agendamento para execução de tarefas.	Restrições direcionais para evitar colisões.
Morikawa et al., 2020	Minimizar tempo de transporte e o número de AGVs no sistema.	Intervalo de tempo entre tarefas deve ser menor que o tempo total de execução da tarefa.
Liu S., 2018	Minimizar o tempo de execução das tarefas.	Tempo mínimo de intervalo entre tarefas.
Liangou & Dentsooras, 2021	Minimizar distância percorrida e energia consumida pelos AGV.	A carga inicial do AGV saindo do almoxarifado deve ser mínima.
Zhou W. et al., 2022	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Número máximo de tarefas que podem ser executadas; O AGV sai sempre de um ponto inicial e deve retornar a ele após conclusão da tarefa.
Li C. et al., 2022	Minimizar o consumo de energia.	Evitar rotas de colisão com outros AGVs.
Ha et al., 2021	Maximizar ordens atendidas.	Evitar colisão entre AGVs.

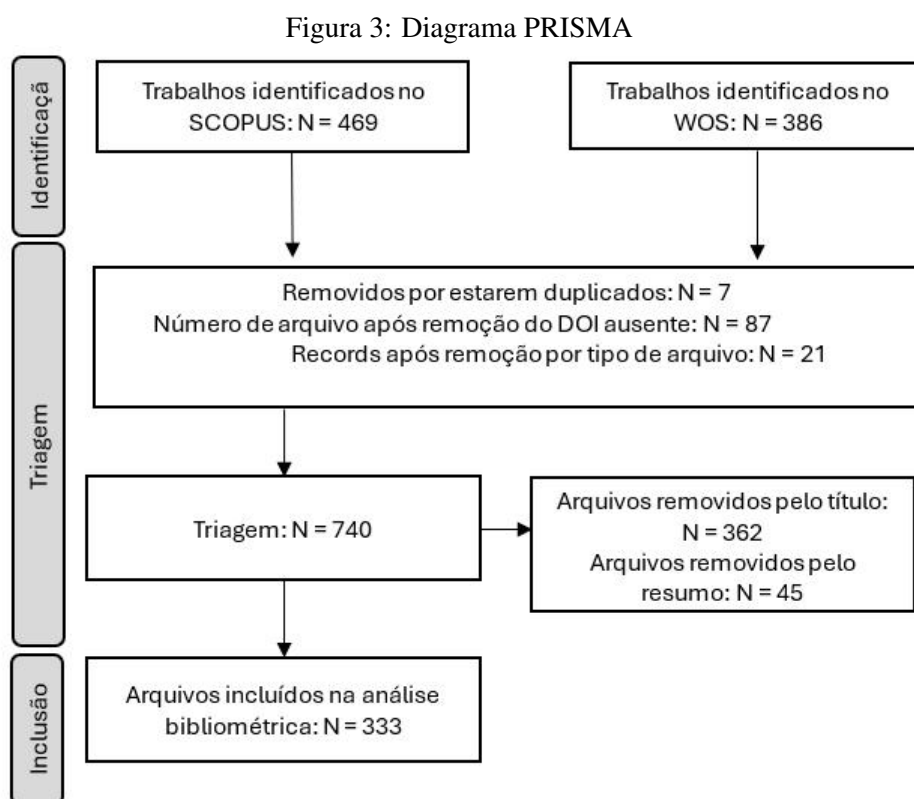
Continua na próxima página.

Continuação da Tabela 3		
Autor	Abordagem de otimização	Aplicação
Wang et al., 2021	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Número máximo de tarefas que podem ser executadas; O AGV sai sempre de um ponto inicial e deve retornar a ele após conclusão da tarefa.
Tang et al., 2021	Minimizar o tempo de agendamento de tarefas.	O AGV só pode iniciar uma tarefa após a última ser concluída; Cada AGV só pode executar uma tarefa por vez; cada estação é responsável por distribuir uma tarefa.
Jiang et al., 2023	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Número máximo de tarefas que podem ser executadas; O AGV sai sempre de um ponto inicial e deve retornar a ela após conclusão da tarefa.
Ha & Jiang, 2023	Minimizar o tempo de agendamento de tarefas.	O AGV só pode iniciar uma tarefa após a última ser concluída; Cada AGV só pode executar uma tarefa por vez; cada estação é responsável por distribuir uma tarefa.
Tian et al., 2023	Minimizar: Tempo de execução das tarefas; número de AGV; frequência de carregamento.	O AGV só pode iniciar uma tarefa após a última ser concluída; Cada AGV só pode executar uma tarefa por vez; cada estação é responsável por distribuir uma tarefa por vez; O AGV só pode iniciar a execução de uma tarefa após estar plenamente recarregado.
Zhu, 2021	Minimizar o deslocamento dos AGVs do sistema.	Pontos de retirada são diferentes dos pontos de entregas.
Mousavi, Yap, Musa, & Dawal, 2017	Minimizar o tempo de execução das tarefas.	O AGV só pode iniciar uma tarefa após a última ser concluída; Cada AGV só pode executar uma tarefa por vez;
Duan, 2022	Minimizar o número de AGVs e maximizar o tempo realizando <i>pick-ing</i> .	Pelo menos um AGV deve estar operando; ordem correta de atividades a serem seguidas; garantir que o AGV segue rotas mínimas de deslocamento.
Chen & Jian, 2022	Minimizar tempo de deslocamento dos AGVs.	O AGV só pode iniciar uma tarefa após a última ser concluída; Cada AGV só pode executar uma tarefa por vez; cada estação é responsável por distribuir uma tarefa; O AGV só pode iniciar a execução de uma tarefa após estar plenamente recarregado.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3. Método de pesquisa

Nesse trabalho foi feita uma revisão sistemática considerando a metodologia PRISMA, seguindo as etapas conforme apresentadas na Figura 3.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A revisão sistemática foi realizada em três etapas. Na primeira, foram identificados os trabalhos relevantes nas bases de dados SCOPUS e Web of Science, utilizando as palavras-chave “AGV” e “Distribution center” ou “Warehouse”.

Na segunda etapa, as bases foram concatenadas, e os arquivos duplicados foram removidos. Em seguida, foram excluídos arquivos em idiomas que não fossem o inglês, que não fossem artigos científicos (como por exemplo capítulos de livros) e aqueles que não possuíam DOI (Digital Object Identifier).

Na terceira etapa, foi realizada uma triagem nos títulos e resumos dos artigos, sendo excluídos aqueles que divergiam do objetivo do escopo deste estudo. Finalmente, os artigos remanescentes foram lidos na íntegra para verificar sua relevância para o presente estudo. Ao final dessa etapa, foram identificados 333 artigos relevantes para correlação dos temas pesquisados.

Em seguida, iniciou-se a análise bibliométrica dos resultados. Esta análise foi estruturada utilizando o pacote Bibliometrix (RStudio) para responder às perguntas de pesquisa apresentadas na Seção 1. Foram analisados o número de publicações por ano, publicações por fonte, principais autores e suas afiliações. Também foram identificados os trabalhos mais citados, considerados centrais para o tema. Além disso, foi apresentado o grau de correlação de outros temas com os eixos de pesquisa. Os resultados da análise bibliométrica são apresentados na próxima seção.

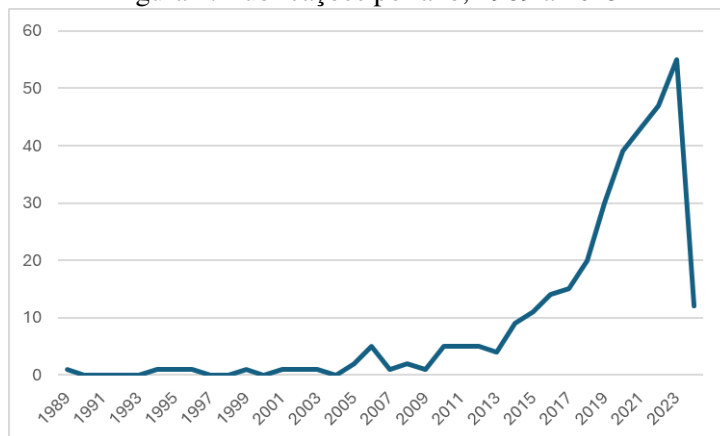
4. Resultados

Os resultados encontrados a partir da análise bibliométrica foram utilizados para responder separadamente cada uma das perguntas de pesquisa nas subseções a seguir.

4.1. Publicações por ano

O gráfico da Figura 4 está relacionado com a primeira pergunta proposta (Q1), demonstrando a evolução da pesquisa científica, correlacionando os temas “AGV” e “Centro de distribuição”, considerando o período de 1989 a 2023.

Figura 4: Publicações por ano, 1989 a 2023



Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se que, no início do período, o interesse nos temas era baixo, com oscilações até que um aumento consistente começou em 2013, alcançando 55 publicações em 2023. No total, houve 333 publicações, resultando em uma média de 9,51 publicações por ano. A partir de 2014, o crescimento médio anual foi de 23%. Isso destaca como o interesse pelos temas pesquisados continua a crescer, especialmente nos últimos cinco anos, que registraram o maior número de publicações.

4.2. Partes interessadas

Para responder à segunda pergunta de pesquisa (Q2), começamos analisando as fontes que mais publicaram sobre o tema estudado, conforme apresentado na Tabela 2. As fontes com maior número de publicações são ACM International Conference Proceeding Series, IEEE Access, e Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, cada uma com 8 citações. Observa-se uma boa variedade de fontes que publicam os temas: 221 diferentes fontes de publicação abordando os temas em questão.

Em seguida, analisamos os autores que mais contribuíram para os temas pesquisados. A Tabela 5 apresenta os quinze autores com maior número de artigos publicados na área entre os anos 1989 e 2023.

Os autores com mais publicações são Liu, Y., com 12% dos artigos publicados, e Wang J., com 11% artigos publicados. Eles são seguidos por Wu, W., com 9% publicações, e Chen, X., com 8%. É notável a grande variação no índice h dos autores, indicando que o tema desperta interesse tanto de pesquisadores jovens quanto experientes.

A terceira e última análise desta subseção apresenta as universidades de afiliação dos autores. A Tabela 6 lista as quinze universidades com o maior número de afiliações.

Destacando-se, a Universidade de Zhejiang lidera com 11% artigos publicados, seguida pela Universidade do Sul da China e pela Universidade de Tsinghua, ambas com 9% artigos cada. É relevante notar que a maioria das universidades que mais publicam sobre o tema são chinesas. Das 15 universidades listadas, 12 são chinesas.

Tabela 4: Revistas com maior número de publicações

Ordenação	Fontes de publicação	Artigos
1	ACM International Conference Proceeding Series	8
2	IEEE Access	8
3	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	8
4	IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	7
5	Lecture Notes in Electrical Engineering	7
6	IEEE International Conference on Automation Science and Engineering	5
7	IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems	5
8	IFAC-PapersOnLine	5
9	Journal of Physics: Conference Series	5
10	ICNSC 2021 - 18th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control: Industry 4.0 and AI	4
11	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	4
12	International Conference on Control, Automation and Systems	4
13	Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS	4
14	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	4
15	Lecture Notes in Mechanical Engineering	4

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 5: Autores com maior número de publicações

Ordenação	Autores	Nº de artigos	Índice h
1	Liu, Y.	12	3
2	Wang, J.	11	12
3	Wu, W.	9	20
4	Chen, X.	8	4
5	Liu, J.	7	3
6	Sabatini, L.	7	28
7	Li, X.	6	5
8	Liu, S.	6	4
9	Vivaldini, K.	6	10
10	Zhang, Y.	6	3
11	Becker, M.	5	14
12	Digani, V.	5	13
13	Jiang, Z.	5	14
14	Li, H.	5	8
15	Li, S.	5	15

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 6: Universidades com maior número de afiliações

Ordenação	Universidades	País de origem	Artigos
1	Zhejiang University	China	11
2	South China University of Technology	China	9
3	Tsinghua University	China	9
4	Shanghai Jiao Tong University	China	8
5	University of Parma	Itália	8
6	Beihang University	China	7
7	University of Modena and Reggio Emilia	Itália	7
8	Wuhan University of Technology	China	7
9	Hangzhou Dianzi University	China	5
10	University of Science and Technology Beijing	China	5
11	Beijing University of Chemical Technology	China	4
12	Central South University	China	4
13	Engineering Research Center of MES Technology for Iron and Steel Production	China	4
14	Loughborough University	Inglaterra	4
15	Zhejiang University of Technology	China	4

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3. Estudos centrais para o tema

Nesta subseção, são apresentados os trabalhos centrais relacionados ao tema pesquisado, classificados com base no número total de citações, visando responder à terceira pergunta (Q3). A Tabela 7 lista os quinze trabalhos mais citados, indicando apenas o primeiro autor como referência. Entretanto, também é exibido o DOI (Digital Object Identifier), que pode ser consultado para obter mais detalhes sobre os trabalhos.

Na Tabela 8 estão resumidas as funções objetivo e restrições dos artigos apresentados na Tabela 7, de maior citação no tema pesquisados. Foram excluídos os artigos em que a abordagem não consistia em uma otimização e, portanto, não continham funções objetivo ou restrições.

O artigo mais citado, com 607 citações, destacado na Tabela 4, é de autoria de Vis I.F.A. e foi publicado em 2006 na revista *European Journal of Operational Research*. Em seguida, com 153 e 144 citações, respectivamente, estão os trabalhos dos autores Smolic-Rocak, publicado em 2010 no *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* e de Draganjac I., publicado em 2016 na mesma revista. Como esperado, os trabalhos mais citados foram publicados nas revistas que apresentaram maior quantidade de publicações sobre os temas pesquisados.

4.4. Principais temas correlatos

Para abordar a última pergunta de pesquisa (Q4), analisamos as palavras-chave com o maior número de ocorrências, conforme evidenciado na Figura 5 e na Tabela 6. Essas palavras-chave indicam as áreas e temas principais associados à pesquisa sobre AGV e Almojarifado ou Centro de Distribuição.

Conforme apresentado na Tabela 9, as três primeiras posições correspondem a 52% das ocorrências das palavras chaves, sendo variações dos temas pesquisados. Na quarta posição, com 78 ocorrências, surge um termo mais abrangente para descrever os AGVs, “*mobile robots*”. Em seguida, na quinta posição, encontramos a palavra “*automation*”, com 65 ocorrências.

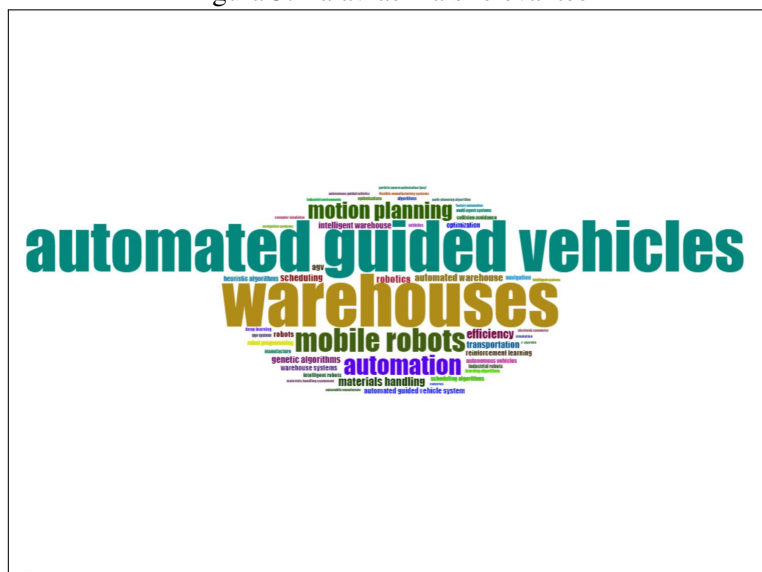
É interessante notar que, excluindo os termos pesquisados e suas variações, seis das quinze

Tabela 7: Artigos mais citados

Autor	DOI	Total de citações	Citações por ano
VIS I.F.A, 2006	10.1016/j.ejor.2004.09.020	607	31,94
SMOLIC-ROCAK N., 2010	10.1109/TASE.2009.2016350	153	10,2
DRAGANJAC I., 2016	10.1109/TASE.2016.2603781	144	16
WANG H., 2021	10.1109/IROS51168.2021.9636655	139	34,75
MARTÍNEZ-BARBERÁ H., 2010	10.1016/j.rcim.2009.10.003	129	8,6
MOUSAVI M., 2017	10.1371/journal.pone.0169817	105	13,12
DIGANI V., 2015	10.1109/TASE.2015.2446614	98	9,8
ZHANG Z., 2018	10.1109/ACCESS.2018.2819199	95	13,57
YOSHITAKE H., 2019	10.1109/LRA.2019.2894001	61	10,16
ITO T., 2002	10.1023/A:1015786822825	59	2,56
YAN R., 2017	10.1007/s00170-017-0175-7	55	6,875
LIU Y., 2019	10.1371/journal.pone.0226161	46	7,66
MOUSAVI M., 2017	10.2507/IJSIMM16(1)5.368	46	5,75
SCHULZE L., 2006	10.1109/SOLI.2006.236834	45	2,36
VIVALDINI K., 2010	10.1109/ICIT.2010.5472487	39	2,6

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5: Palavras mais relevantes



Fonte: Elaborada pelos autores.

palavras com mais ocorrências mencionam processos de almoxarifado que podem se beneficiar ou são beneficiados pela implementação de AGVs: “automation”, “efficiency”, “material handling”, “automated warehouse”, “scheduling”, “transportation” e “intelligent Warehouse”. Dois termos estão relacionados a alguns dos desafios atuais no desenvolvimento de AGVs e sistemas de automação: “motion planning” e “genetic algorithm”.

Complementando a análise de temas correlatos, foi utilizado o software VOSviewer para identificar a correlação dos termos que aparecem nos artigos considerados. Foram removidos os termos considerados sinônimos como “AGV”, “Automatic guided vehicles” em favor do termo pesquisado “Automated guided vehicles”. Em seguida, foram selecionados os termos que apare-

Tabela 8: Função objetivo e restrições dos artigos mais citados.

Autor	Função objetivo	Restrições
SMOLIC-ROCAK N., 2010	Minimizar tempo de movimentação do AGV.	AGVs não podem compartilhar rotas simultaneamente.
DRAGANJAC I., 2016	Minimizar rota de movimentação.	Prioridade do AGV; Conflito de rotas.
MARTÍNEZ-BARBERÁ H., 2010	Minimizar o tempo de determinação da rota dos AGV.	Custo computacional.
MOUSAVI M., 2017	Minimizar o tempo de execução das tarefas; minimizar o número de AGVs.	Tempo disponível para cada etapa das tarefas; Cada tarefa só pode ser iniciada após o termino da outra; O AGV precisa de bateria suficiente para terminar a tarefa e retornar ao ponto inicial.
DIGANI V., 2015	Minimizar rota de movimentação.	Conflitos de rotas.
LIU Y., 2019	Número de AGVs; Consumo de eletricidade; minimizar o tempo de execução das tarefas.	O AGV deve finalizar uma tarefa antes de começar a seguinte; Tempo de recarga; O AGV deve ter bateria suficiente para iniciar e concluir a tarefa; cada ordem só pode ser executada uma vez e por um único AGV.
MOUSAVI M., 2017	Minimizar o tempo de execução das tarefas; minimizar o número de AGVs	O AGV deve finalizar uma tarefa antes de começar a seguinte;
VIVALDINI K., 2010	Minimizar rota de movimentação.	Evitar colisões, custos computacionais.

Fonte: Elaborada pelos autores.

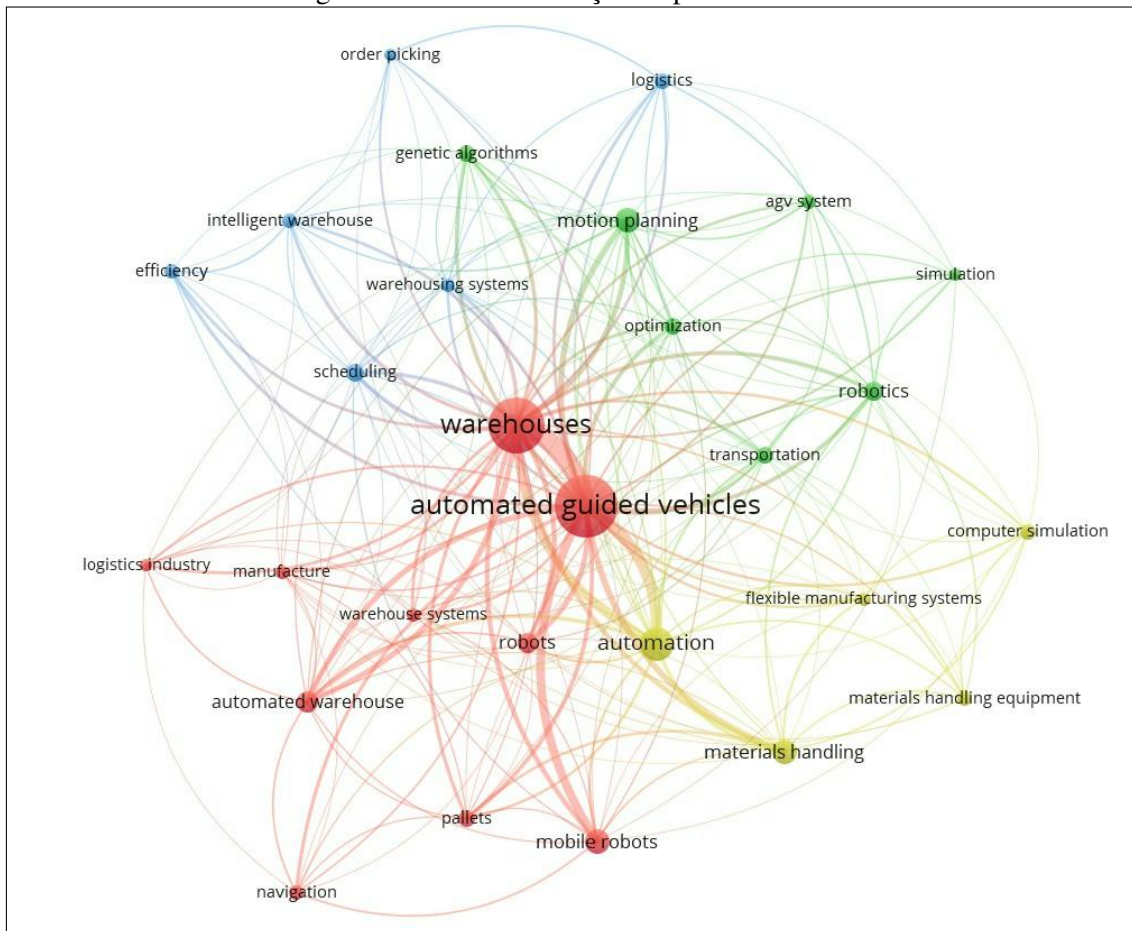
Tabela 9: Palavras-chave com maiores ocorrências.

Ordenação	Palavras-chave	Ocorrências
1	Automatic guided vehicles	209
2	Warehouses	174
3	Automated guided vehicles	168
4	Mobile robots	78
5	Automation	65
6	Motion planning	56
7	Efficiency	30
8	Materials handling	29
9	Robotics	26
10	Automated warehouse	25
11	Scheduling	24
12	Genetic algorithms	23
13	Transportation	23
14	AGV	21
15	Intelligent warehouse	21

Fonte: Elaborada pelos autores.

cem no mínimo sete vezes nos artigos, resultando em 28 termos ligados por dois ou mais artigos, os quais estão evidenciados na Figura 6.

Figura 6: Rede de correlação de palavras-chave



Fonte: Elaborada pelos autores.

5. Conclusões

Este estudo teve como objetivo analisar e responder questões sobre a correlação entre os temas Veículos de Guiagem Autônoma (AGV) e Almoxarifados ou Centro de Distribuição. Inicialmente, foram reunidos 855 arquivos através de uma pesquisa nas bases de dados SCOPUS e Web of Science, utilizando as palavras-chave “AGV” e “Warehouse”. Em seguida, deu-se início a análise bibliométrica dos resultados com o intuito de responder às perguntas de pesquisa propostas.

Destacam-se as principais fontes e autores que publicaram sobre os temas. ACM International Conference Proceeding Series, IEEE Access e Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering foram as revistas com o maior número de publicações, enquanto Liu Y., Wang J., e Wu U. foram os autores mais produtivos. As universidades com maior número de publicações sobre o tema foram a Universidade de Zhejiang, a Universidade do Sul da China e a Universidade de Tsinghua. Estes resultados podem auxiliar os interessados no tema a encontrarem colaborações de pesquisa e possíveis locais para publicação de seus trabalhos.

Outra conclusão relevante refere-se aos trabalhos mais influentes, classificados com base no número de citações. O artigo do autor Vis Ifa, publicado em 2006 no European Journal of Operational Research, e os trabalhos de Smolic-Rocak, publicado em 2010 no IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, e de Draganjac I., publicado em 2016 na mesma revista,

destacam-se nesse aspecto. Estes artigos de maior relevância podem servir como ponto de partida para pesquisadores iniciantes nos temas.

Além disso, foi possível identificar as palavras-chave mais frequentes na correlação entre os temas. Os termos “Automated Guided Vehicles” e “Warehouse” foram os mais recorrentes nos artigos. Vale ressaltar que seis das quinze palavras-chave com mais ocorrências mencionam processos de almoxarifado e estão relacionadas a otimizações resultantes de automações e implementação de AGVs: “automation”, “efficiency”, “material handling”, “automated warehouse”, “scheduling”, “transportation” e “intelligent Warehouse”.

Por fim, observou-se que um dos grandes desafios nessa área é propor algoritmos para otimizar o planejamento e movimentação dos AGVs, especialmente para o processo de picking, que pode representar até 55% dos custos de operação de um almoxarifado. Entre as meta-heurísticas propostas, o algoritmo genético se destaca pelo número de ocorrências.

As limitações do trabalho incluem a seleção das bases de dados pesquisadas e dos filtros aplicados. Seria possível aprofundar a análise utilizando um número maior de base de dados e outros tipos de documentos, como capítulos de livro, dissertações e teses.

Observou-se que a maioria dos estudos aborda otimização, agendamento e simulação de forma isolada, com poucos autores combinando esses temas. No entanto, há uma oportunidade na literatura para novas pesquisas que aproximem as empresas fabricantes de AGV dos seus clientes, visando a melhor utilização desses robôs. Essa aproximação pode ser alcançada por meio da combinação da simulação com diferentes métodos de otimização, como abordagens exatas, heurísticas, meta-heurísticas, híbridas e baseadas em inteligência artificial. Especificamente, no contexto de almoxarifados, essa integração pode ser aplicada na definição de rotas e no agendamento de tarefas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO).

Referências

- Aldarondo, F. J. e Bozer, Y. A. Expected distances and alternative design configurations for automated guided vehicle-based order picking systems. *International Journal of Production Research*, v. 60, n. 4, p. 1298 – 1315, 2022.
- Chen, Y. e Jiang, Z. Multi-agvs scheduling with vehicle conflict consideration in ship outfitting items warehouse. *Journal of Shanghai Jiaotong University Science*, v. , 2022.
- de Koster, R., Le-Duc, T., e Roodbergen, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 182, n. 2, p. 481–501, 2007.
- Duan, L., Liu, Y., Li, H., Park, K. H., e Cao, K. Nondominated sorting differential evolution algorithm to solve the biobjective multi-agv routing problem in hazardous chemicals warehouse. *Mathematical Problems in Engineering*, v. , 2022.
- Ergin, S. G. e Gökçe, M. A. Matheuristic algorithm for automated guided vehicle (agv) assisted intelligent order picking. *Lecture Notes in Networks and Systems, 758 LNNS*, v. p. 610–618, 2023.
- Fazlollahtabar, H. e Sidi-Mehrabad, M. Methodologies to optimize automated guided vehicle scheduling and routing problems: A review study. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, v. 77, n. 3-4, p. 525–545, 2015.

- Gao, X., Wang, J., e Chen, W. Land-mark placement for reliable localization of automatic guided vehicle in warehouse environment. *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, v. p. 1900 – 1905, 2015.
- Ha, W. Y., Cui, L., e Jiang, Z.-P. A warehouse scheduling using genetic algorithm and collision index. *2021 20th International Conference on Advanced Robotics*, v. p. 318–323, 2021.
- Ha, W. Y. e Jiang, Z. P. Optimization of cube storage warehouse scheduling using genetic algorithms. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, v. , 2023.
- Intelligence, M. Automated guided vehicle market size and share analysis – growth trends and forecasts (2024 – 2029). *International Journal of Simulation Modeling*, v. , 2024.
- Jiang, Z., Zhang, X., e Wang, P. Grid-map-based path planning and task assignment for multi-type agvs in a distribution warehouse. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 11, n. 13, 2023.
- Kimura, N., Sakai, R., Katsumata, S., e Chihara, N. Simultaneously determining target object and transport velocity for manipulator and moving vehicle in piece-picking operation. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, v. p. 1066–1073, 2019.
- Li, C., Zhang, L., e Zhang, L. A route and speed optimization model to find conflict-free routes for automated guided vehicles in large warehouses based on quick response code technology. *Advanced Engineering Informatics*, v. p. 52, 2022.
- Li, S., Xing, K., Lin, Y., e Zhang, G. Research on multi-agv scheduling method of logistics warehouse based on petri net. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 29, n. 5, p. 494–502, 2019.
- Liangou, T. e Dentsoras, A. Optimization of motion and energy consumption of an industrial automated ground vehicle. *ISA 2021 - 12th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, v. , 2021.
- Liu, S. Modeling and optimization of integrated scheduling of automated warehouse system. *Advanced Materials Research*, v. p. 230–232; 35–39, 2011.
- Liu, S. Research on scheduling policy of automated warehouse system. *ACM International Conference Proceeding Series*, v. , 2018.
- Liu, Y., Ji, S., Su, Z., e Guo, D. Multi-objective agv scheduling in an automatic sorting system of an unmanned (intelligent) warehouse by using two adaptive genetic algorithms and a multi-adaptive genetic algorithm. *PLoS ONE*, v. 14, n. 12, 2019.
- Majdzik, P., Witczak, M., e Mrugalski, M. Scheduling the tasks of multiple agvs in a fault-tolerant control way. *IFAC-PapersOnLine*, v. 56, n. 2, p. 150 – 155, 2023.
- Mejri, E., Kelouwani, S., Dube, Y., Henao, N., e Agbossou, K. Energy efficient order picking routing for a pick support automated guided vehicle (ps-agv). *IEEE*, v. p. 108832 – 108847, 2022.
- Morikawa, D., Nakatani, T., Hirogaki, T., e Aoyama, E. Simultaneous planning method for number and allocation of agvs in an agv control system under uncertain transportation conditions. *International Conference on Control, Automation and Systems 2020-October*, v. p. 41 – 46, 2020.
- Mousavi, M., Yap, H. J., Musa, S. N., e Dawal, S. Z. M. A fuzzy hybrid ga-pso algorithm for multi-objective agv scheduling in fms. *International Journal of Simulation Modeling*, v. 16, n. 1, p. 58 – 71, 2017.
- Pagani, P., Colling, D., e Furmans, K. Neural network-based genetic job assignment for automated guided vehicles. *Logistics Journal*, v. , 2017.

- S., K., H., J., M., S., e D., H. Optimal path planning of automated guided vehicle using dijkstra algorithm under dynamic conditions. *7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA)*, v. p. 231 – 236, 2019.
- Tang, H., Cheng, X., Jiang, W., e Chen, S. Research on equipment configuration optimization of agv unmanned warehouse. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. p. 47946 – 47959, 2021.
- Tian, S., Huangfu, C., e Deng, X. Research on comprehensive optimisation of agvs scheduling at intelligent express distribution centres based on improved ga. *Journal of the Operational Research Society*, v. , 2023.
- Ullrich, G. Automated guided vehicle systems. *Automated Guided Vehicle Systems. Springer Berlin Heidelberg*, v. , 2015.
- Vis, I. F. A. Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, v. 170, n. 3, p. 677 – 709, 2006.
- Vivaldini, K. C. T., Rocha, L. F., Becker, M., e Moreira, A. P. Comprehensive review of the dispatching, scheduling and routing of agvs. *Lecture Notes in Electrical Engineering, 321 LNEE*, v. , 2015.
- Wang, J., Pan, J., Huo, J., Wang, R., Li, L., e Nian, T. Research on optimization of multi-agv path based on genetic algorithm considering charge utilization. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1769, n. 1, 2021.
- Yoshitake, H. e Abbeel, P. The impact of overall optimization on warehouse automation. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, v. p. 1621 – 1628, 2023.
- Zhang, J., Yang, X., Wang, W., Guan, J., Ding, L., e Lee, V. C. S. Automated guided vehicles and autonomous mobile robots for recognition and tracking in civil engineering. *Automation in Construction*, v. 146, n. 2, p. 1045 – 1052, 2023.
- Zhou, W., Qin, S., e Zhou, C. Agv path planning based on improved adaptive genetic algorithm. *2022 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology*, v. , 2022.
- Zhu, W., Wei, X., Ma, R., Diao, L., e Zhang, J. Route optimization of agvs with an improved fishbone warehouse layout. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 791, n. 1, 2021.