



Campus São Mateus  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS NA COLETA E SEPARAÇÃO DE PEDIDOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

*TECHNOLOGICAL DEVICES IN ORDER PICKING SYSTEM: BIBLIOGRAPHIC REVIEW*  
*DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS EN ORDEN PICKING SYSTEM: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*

Clarice Gonçalves Barreto<sup>1</sup> & Ricardo Luiz Machado<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> [Universidade Católica de Goiás](http://www.universidadecatolica.net.br)

<sup>1</sup> [clarice\\_barreto@hotmail.com](mailto:clarice_barreto@hotmail.com) <sup>2\*</sup> [rmachado@pucgoias.edu.br](mailto:rmachado@pucgoias.edu.br)

### ARTIGO INFO.

Recebido: 16.09.2022

Aprovado: 12.10.2022

Disponibilizado: 21.10.2022

**PALAVRAS-CHAVE:** coleta e separação de pedido; armazém; tecnologia; inovação.

**KEYWORDS:** *Order picking; warehouse; technology; innovation.*

**PALABRAS CLAVE:** *preparación de pedidos; depósito; tecnología; innovación.*

\*Autor Correspondente: Barreto, C. G

### RESUMO

Devido à mudança de comportamento dos consumidores, o armazém tem recebido uma grande demanda de pedidos. A atividade de escolha e coleta de pedidos é considerada a mais crítica. Sendo que essas são atividades que apresentam o maior custo e a que requer um maior tempo. Para trazer o melhor desempenho nessas atividades, muitos especialistas têm recorrido a dispositivos tecnológicos. Este artigo traz uma revisão literária com o objetivo de identificar quais são os dispositivos encontrados nos estudos científicos para a finalidade de atender a demanda da coleta de pedido, e identificar os fatores estudados para cada uma, bem como identificar *insights* e lacunas para futuras pesquisas ou desenvolvimento de novos dispositivos. Para isso foram analisados 101 artigos que apresentavam algum dispositivo na coleta de pedido. Esses artigos foram separados e categorizados conforme seu uso e características. Como resultado é possível que pesquisadores e tomadores de decisão conheça os dispositivos estudados e compreender como eles se comportam. Através dessa pesquisa pode-se concluir que o interesse pelo assunto cresceu de forma considerada nos últimos dois anos, e que é preciso levar em consideração alguns fatores antes de escolher o dispositivo são eles: layout, SKU, modelo de implantação e implementação.

### ABSTRACT

Orders have been in high demand at the warehouse as a result of shifting consumer behavior. The activity of choosing and collecting orders is regarded as the most important. These are the most expensive and time-consuming tasks. Many professionals have turned to technology equipment to improve their performance in these activities. This article presents a literature review with the goal of identifying which devices are found in scientific studies for the purpose of meeting order picking demand, as well as identifying the factors studied for each one, as well as identifying insights and gaps for future research or development of new devices. For this, 101 articles with some device in the order picking were examined. These items were separated and classified based on their intended usage and qualities. As a result, researchers and decision makers may become acquainted with the devices under consideration and comprehend how they operate. This research concludes that interest in the issue has increased significantly in the previous two years, and that various elements must be considered before selecting the device, which are: layout, SKU, deployment model, and implementation.

### RESUMEN

Debido al comportamiento cambiante de los consumidores, el almacén ha recibido una gran demanda de pedidos. La actividad de elección y recogida de pedidos se considera la más crítica. Estas son las actividades que tienen el costo más alto y la que demanda mayor tiempo. Para traer un mejor desempeño en estas actividades, muchos especialistas han recurrido a dispositivos tecnológicos. Este artículo trae una revisión literaria con el objetivo de identificar qué dispositivos se encuentran en los estudios científicos con el fin de satisfacer la demanda de recolección de pedidos, e identificar los factores estudiados para cada uno, así como identificar puntos de vista y las oportunidades para futuras investigaciones, o desarrollo de nuevos dispositivos. Para eso se analizaron 101 artículos que contaban con algún dispositivo en la recogida de pedidos. Estos artículos fueron separados y categorizados según su uso y características. Como resultado, es posible que los investigadores y los tomadores de decisiones conozcan los dispositivos estudiados y comprendan cómo se comportan. A través de esta investigación se puede concluir que el interés por el tema ha crecido considerablemente en los últimos dos años, y que es necesario tomar en cuenta algunos factores antes de elegir el dispositivo, ellos son: layout, SKU, modelo de despliegue e implementación.



## 1 Introdução

Há um crescente interesse pela melhoria das atividades realizadas nos armazéns, devido ao aumento das vendas *online* e à propagação dos conceitos da indústria 4.0, que provocaram mudanças no mercado (Custodio & Machado, 2020). Os armazéns passaram a trabalhar com vendas de conjuntos de mercadorias mistas, em que, muitas vezes, produtos são despachados unitariamente. As operações dos armazéns foram condicionadas pelo mercado a fornecer operações mais rápidas, eficientes, com menos erros e flexíveis (Tappia, Roy, Melancine & De Koster, 2019). Para a maioria dos armazéns, as operações de seleção e separação de pedidos (*picking*) representam sua principal operação, em termos de complexidade, custos e tempo de execução. Além disso, existem diferentes sistemas de *picking* (De Koster, Le-duck & Roodbergen, 2007).

Mecanismos tecnológicos e de automação têm sido usados como opções tecnológicas para atender a demanda das operações de *picking* nos armazéns. Marchet, Melacine e Perotti (2015), em sua pesquisa com 40 armazéns na Itália, constataram que existe um interesse na implementação de tecnologias de automação nas operações de *picking*. Porém, essas tecnologias muitas vezes não são implantadas, devido aos desafios relacionados ao custo de investimento, perda de flexibilidade na atividade e dificuldades de implantação. Todavia, muitas ferramentas e mecanismos tecnológicos têm surgido para trazer soluções para as operações de *picking*. Custodio e Machado (2020) identificam os fatores que vêm sendo desenvolvidos e apresentam ferramentas para a adoção da automação flexível dentro dos armazéns. Em sua proposta, esses autores apresentam tanto sistemas computacionais de controle de armazéns como equipamentos para atender demandas e atividades operacionais.

Winkelhaus, Grosse e Morana (2021) analisaram aspectos da manufatura 4.0 na atividade de *picking*. Os autores consideraram aspectos sociais e técnicos em sua pesquisa e concluíram que a automação é um parâmetro primordial para o desenvolvimento da atividade de *order picking*. Kudelska e Niedbal (2020) realizaram uma simulação para identificar a eficiência da carga horária dessa atividade, gerando uma discussão sobre os efeitos da inovação tecnológica dentro do armazém. Eles concluíram que a automação apresenta uma avaliação geral positiva, gerando um aumento da produtividade para o armazém.

Embora os trabalhos anteriores identificaram avanços para a automação da atividade de *picking*, ainda ficam os seguintes questionamentos: quais os mecanismos tecnológicos usados para atender a atividade de *picking*, como funcionam e quais as diferenças existentes entre eles? Para responder a essas perguntas, este trabalho tem como objetivo apresentar mecanismos tecnológicos usados na coleta e separação de pedidos encontrados na literatura e classificá-los, de forma a auxiliar pesquisadores e tomadores de decisões em suas respectivas atividades, bem como mostrar quais as diferenças entre esses mecanismos.

O artigo está estruturado em seis seções. Na primeira seção é apresentada a introdução, a lacuna de pesquisa e o objetivo geral da pesquisa. Na seção 2 é apresentada e discutida a metodologia de pesquisa usada para o desenvolvimento da investigação. Na seção 3 são descritas as tecnologias identificadas na revisão da literatura, conforme suas configurações. Posteriormente,



os resultados estão na seção 4. Na seção 5 temos as aplicações práticas finalmente na seção 6, a conclusão.

## Metodologia de Pesquisa

Para atingir o objetivo desta pesquisa, foi escolhida a abordagem de revisão sistemática da literatura. Para Jaghbeer, Hanson e Johansson (2020), a revisão sistemática da literatura apresenta objetividade, transparência e replicabilidade. Para esta pesquisa, foram utilizadas como base os artigos de revisão de literatura tanto de Custodio e Machado (2020) e Jaghbeer *et al.* (2020). Segundo a abordagem proposta por estes autores, a revisão sistemática da literatura deve envolver quatro aspectos: coleta de material, seleção do estudo, análise dos dados e discussão dos resultados.

Para a realização dessa pesquisa foram selecionados artigos que apresentavam mecanismo(s) tecnológicos usados para coleta e separação de pedidos em armazéns. Os artigos foram coletados em dois estágios. Inicialmente, a busca de artigos foi realizada em plataformas de publicações científicas, conforme detalhado na sessão 2.1. Em seguida, um conjunto delimitado de trabalhos foi selecionado através de uma filtragem das referências bibliográficas dos artigos levantados na coleta anterior, conforme especificado na sessão 2.2.

### 2.1 Coleta utilizando plataformas *online*.

Com o intuito de encontrar artigos que apresentassem mecanismos usados na coleta de pedidos foram usadas três plataformas de publicações científicas *online*: *Web of Science*, *Scopus* e *IEEE*. Nessas plataformas foram buscadas as seguintes palavras-chaves: *Order picking automation*, *Order picking technology* e *Order picking optimization*. A palavra *optimization* foi usada para essa pesquisa pois muitos pesquisadores consideram melhorias tecnológicas como um procedimento de otimização do sistema estudado. A utilização de filtragem foi semelhante para todas as plataformas escolhidas nessa pesquisa, sendo considerados apenas artigos com as seguintes características:

1. Artigos publicados em revistas científicas revisadas por pares;
2. Artigos publicados entre 2015 a 2021;
3. Artigos publicados em língua inglesa.

Foram escolhidos apenas artigos de periódicos científicos, a fim de obter um material de pesquisa mais padronizado. Já a escolha de publicações em língua inglesa foi adotada em decorrência de essa ser uma linguagem universal na ciência, o que permite obter uma maior quantidade de material.

Após a filtragem, foi feita análise de títulos, a fim de validar se o artigo tratava da coleta e separação de pedidos. Em seguida, foi analisado o resumo do artigo, para identificar se o assunto abordado apresentava conteúdo voltado para mecanismos tecnológicos utilizados na atividade de *picking* em armazéns. Ao término dessa análise foram selecionados 52 artigos.

### 2.2 Referências Bibliográficas

Com o objetivo de obter mais dados e identificar os artigos mais relevantes na área, foi realizada uma segunda coleta de artigos utilizando as referências encontradas nos 52 trabalhos selecionados da primeira coleta. Essa atividade gerou uma tabela elaborada na planilha



eletrônica Excel, contendo o título da referência e o artigo de onde ela foi coletada, gerando um total de 2370 títulos.

Os títulos foram colocados em ordem alfabética. Após a eliminação de títulos repetidos, foram catalogados 1756 títulos. Para melhor filtragem, foram retirados os títulos que não foram publicados em periódicos científicos, gerando um total de 900 títulos distintos. Em seguida, foram retirados também artigos que não estavam apresentados na língua inglesa.

Os artigos que continham menos de 4 citações passaram por uma análise de título, permanecendo na amostra apenas aqueles que apresentavam o termo *picking*, totalizando 357 resultados. Desse total, 156 foram citados em mais de uma publicação. De Koster *et al.* (2007) foi o título com maior número de citações (em 39 artigos). Ao passar pela análise de títulos foram descartados 261 artigos, ficando na amostra apenas 96, que passaram por uma análise do resumo para avaliar o conteúdo, de forma semelhante ao que foi realizado no método de coleta através das plataformas *online*. Ao fim dessa etapa, restaram 48 artigos que foram adicionados aos 52 artigos selecionados na etapa inicial da coleta de publicações (indicado na seção 2.1), totalizando os 100 artigos analisados nessa pesquisa.

## 2.3 Organização do material

Os artigos foram separados em grupos, conforme descrição dos mecanismos apresentados. Seis grupos apresentaram materiais que abordavam o tema de forma geral, não apresentando mecanismos específicos. Porém, estes trabalhos foram considerados nessa pesquisa, pois trouxeram conceitos e dados considerados relevantes. No caso de artigos que trabalham com duas tecnologias em conjunto, a categorização foi definida considerando a que possuía maior relevância. Por exemplo, no trabalho de Keung, Lee, Ji e Ng (2020), que abordou o sistema *Cyber-Physico* (CPS) com Sistema de Realização Móvel Robótico (RMFS), a categorização considerou a segunda tecnologia. No trabalho de Jerman, Ekren, Kükükyasar e Lerher (2021), que propôs um sistema que continha as tecnologias de veículos autônomos guiados (AGV) e Sistemas de armazenamento e recuperação (AS/RS), a tecnologia predominante foi categorizada como AGV, pois os autores apresentam essa tecnologia como o fator de inovação. O trabalho de Bozer e Aldarondo (2018) comparou um sistema AGV com um AS/RS de mini carga. Nesse trabalho, a tecnologia foi categorizada também como AGV que tem um maior foco na pesquisa.

## 3. Tecnologias adotadas na automação dos armazéns

Nessa seção é analisada cada categoria de tecnologia identificada na pesquisa, com sua respectiva descrição. Para cada publicação analisada, são apresentados o mecanismo utilizado e a análise e conclusão das pesquisas.

### 3.1 Tecnologias destinadas ao sistema *Pick and place*

Esses sistemas consistem em escolher objetos um a um de forma autônoma e transportar o mesmo objeto para outro recipiente com o menor tempo possível (Mnyusiwalla et al 2020). Para tal atividade são usados equipamentos chamados de garras, que podem ter diversos modelos. Dentre eles destacam-se as pinças magnéticas ou flexíveis, os dispositivos de sucção, as mãos antropomórficas e os agarradores com dois dedos (D'Avella, Tripicchio & Avizzano,



2020). Mnyusiwalla *et al.* (2020) determinaram as atividades de *pick and place* como sendo pré-agarramento, agarramento, transporte e colocação. Já Krug *et al.* (2016) descreveram que a estrutura simples do *pick and place* consiste em agarrar rápido e firme, juntamente com uma estratégia de controle compatível.

É possível identificar que o sistema *pick and place* apresenta várias complexidades. Mnyusiwalla *et al.* (2020) fizeram experimentos analisando 4 sistemas de garras. O experimento contava com garras que retiravam o produto de uma cesta e colocava em outra. Foram analisadas as atividades bem-sucedidas e o tempo com que foram realizadas. Os autores identificaram que a fase de colocação tem uma baixa complexidade, visto que a porcentagem de erro foi pequena. Também identificaram que é preciso ter um monitoramento na operação de agarrar, com o intuito de evitar deslizamentos ou colisões. Já D'Avella *et al.* (2020) propuseram uma solução diferente para as garras. Eles desenvolveram um *end-effector* personalizado, juntamente com um algoritmo capaz de identificar a posição mais adequada para agarrar o objeto. Correl *et al.* (2018) apresentaram uma análise e observação do primeiro desafio de coleta de itens realizado pela empresa Amazon. O desafio era projetar um robô autônomo capaz de escolher itens de uma prateleira dentro do armazém. Na pesquisa, os autores relatam que metade das equipes não conseguiram a pontuação mínima e a diferença de pontos entre a primeira equipe e a segunda foi muito grande. É possível concluir que a tecnologia para o contexto de coleta de pedido dentro de um armazém ainda requer bastante estudo. Isso porque os artigos encontrados nessa amostra que trata do assunto são poucos e mesmo com períodos de publicação distintas ainda apresentam dificuldades semelhantes.

Kaipa *et al.* (2016) apresentaram um outro tipo de tecnologia para a operação de *picking*: a coleta robótica de caixas. Percebe-se que ela apresenta características similares às garras. A tecnologia utiliza um braço robótico que transfere as caixas de um local para o outro. Em seu artigo, os autores apresentam uma abordagem abrangente, capaz de identificar modos de falha induzidas por incerteza nesse tipo de coleta. Essa tecnologia é bastante promissora, porque pode ser alocada com outras tecnologias e assim permitir maior autonomia na atividade de coleta de pedidos. Porém, com os estudos encontrados é notório que para ela apresentar resultados satisfatórios ainda requer melhorias o que não foi encontrada nessa amostra.

### 3.2 Tecnologias para auxílio à coleta manual de pedido

Mesmo com a popularização da automação e o desenvolvimento de automação flexível, muitos armazéns ainda trabalham com o sistema de coleta de pedido manual. De Koster *et al.* (2007) afirmam que na Europa ocidental esse modelo de coleta está presente em mais de 80% dos armazéns. É possível encontrar na literatura dispositivos e sistemas tecnológicos que auxiliam armazéns em sistemas de *picking* considerados *Picker-to-part*. Para Lee e Kuo (2008), a coleta manual continua sendo importante, por conta da destreza do catador e da flexibilidade em lidar com vários itens e tarefas. Para essa categoria foram geradas subcategorias apenas com o propósito de ficarem mais organizados os tipos de mecanismos usados e suas características.

#### 3.2.1 Pick-by-light e RFID

Essa tecnologia consiste em luzes instaladas em cada local de armazenamento que são acionadas para que o *picker* possa identificar qual item deve ser escolhido. Após essa escolha



a luz é desligada. A coleta é finalizada quando todas as luzes são apagadas. Esse sistema pode ser instalado com diversas variantes. Por exemplo, junto à luz um *display* contendo a quantidade de produtos que devem ser coletados, o *picker* aperta o botão para confirmar a realização da tarefa (DE Vries, De Koster & Stam, 2016). Quando um armazém conta com mais de um *picker*, é preciso acrescentar no sistema uma lista, seja de papel ou *displays* portáteis (Battini, Cazavara, Persona & Sgarbosa, 2015). Se o método de coleta de pedido for de zoneamento não é preciso a lista de itens. Apenas o *display* mostrando a quantidade de produto daquele local já é suficiente, podendo, assim, ter colaboração entre os *pickers* daquela zona (Kim & Hong, 2020). Boysen, Fübler e Stephan (2020) referem a essa tecnologia com o nome *put-to-light* e eles a apresentam acoplada com outras tecnologias do *part-to-picker*. O *picker* escolhe os itens com as luzes indicadas e depois coloca os itens em um transporte ou algum mecanismo de AS/RS.

Nos 6 artigos que trataram do assunto, foram identificadas diversas metodologias diferentes (DE Vries *et al.* 2016; Guo *et al.* 2015, Battini *et al.* 2015, Kim & Hong 2020, Boysen *et al.* 2020, Gajsek *et al.* 2020, Füchtenhans, Grosse & Glock, 2021). De Vries *et al.* (2016) realizaram um experimento para analisar três tecnologias de coleta de pedido e qual influência a personalidade do *picker* tem nas atividades usando tais tecnologias. Apesar de identificarem alguma relação entre a característica do *picker* e do sistema *picker to light*, os autores concluíram que por ser uma tecnologia mais simples as características dos trabalhadores não influenciam significativamente os resultados da coleta.

Guo *et al.* (2015) apresentaram um experimento para analisar três tipos de sistemas de coleta de pedido, sendo elas: *pick by paper*, *pick hud* e *pick by light*. O experimento foi contado com 8 participantes, que utilizou um ambiente com duas prateleiras para representar a coleta de pedido com as tecnologias analisadas. Eles identificaram que a tecnologia por luz apresentou ser mais lenta e mais propensa a erro se comparado à tecnologia HUD. Battini *et al.* (2015) analisaram 5 coletas de pedidos sem papel e propuseram uma avaliação econômica e uma função de custo por hora, em dois estudos de caso. Em sua análise foi identificado que a coleta por *pick-to-light* é mais adequada em prateleiras simples com coleta multinível. Já Kim e Hong (2020) utilizaram simulação e consideraram em sua análise o horário de escolha e horário de caminhada. Eles puderam confirmar que a tecnologia com luz melhora o desempenho da atividade, eles também identificaram que a tecnologia permite uma compensação da perda de produtividade entre catadores próximos. Boysen *et al.* (2020) fizeram estudo computacional para identificar quatro configurações de layout na utilização do *put-to-light* no intuito de apresentar a complexidade e sugerem algoritmos para soluções adequadas em cada layout.

Eles concluem que é possível ter uma melhoria considerável do sistema sem muito investimento. Gajsek *et al.* 2020 fizeram entrevistas com 221 *pickers* de três países (Polônia, Eslovênia e Croácia) a fim de analisar a relação das tecnologias *picker to part* com o bem-estar, saúde e produtividade dos trabalhadores. Apesar da tecnologia não ser muito utilizada entre os entrevistados, os que a utilizam apresentam um melhor condicionamento físico e quando questionados sobre o uso do sistema eles acreditam que ela pode causar impacto positivo em sua saúde. Outro artigo analisado foi o Füchtenhans *et al.* (2021) que trouxeram uma revisão bibliográfica de outra solução utilizando luz, porém ele não se trata da configuração de *pick-b-light*, mas sim de lâmpadas inteligentes, capazes de gerar uma iluminação mais adequada para



ajudar os catadores na coleta de pedido. Os autores apresentaram vários *insights* e sugestões para pesquisas futuras e compreenderam que o tema de iluminação em instalações logísticas é bastante complexo.

É possível perceber que o *Pick-by-light* é uma tecnologia capaz de atender a expectativa de armazéns que possuem pouca ou nenhuma tecnologia para o sistema de coleta. É possível identificar também que ele pode ser difundido com outras técnicas a fim de apresentar um melhor desempenho. Apesar de ser um dispositivo simples, requer uma instalação mais complexa onde é preciso colocar pontos de luz em cada SKU do sistema, o que pode ser uma desvantagem para o sistema. Mas pode ser uma boa estratégia para redução de erros, principalmente quando se trata de materiais de pequeno e médio porte.

RFID é uma tecnologia que utiliza dois aparatos: leitores e *tags*. A comunicação entre eles acontece devido a uma comunicação de rádio frequência, podendo ser operados em três frequências (LF; <135 kHz, HF; 13,56 MHz, UHF; entre 850 e 960 MHz). Cada uma dessas frequências encontra algumas limitações. A LF tem um alcance de leitura pequeno. A HF, apesar de conseguir ler mais de uma LED por vez, sofre restrições com materiais metálicos e as UHF tem frequência de dados muito altas e longas distâncias de leitura, porém é limitada em relação a diversos materiais (Battini *et al.*, 2015).

A tecnologia RFID é uma das mais usadas para detecção de objetos em ambientes fechados (Poon *et al.*, 2009). Com isso, são usadas em diversas áreas da logística. (Battini *et al.*, 2015; Poon *et al.*, 2009). Seis artigos contendo essa tecnologia foram analisados. (Poon *et al.*, 2009; Cao, Jiang, Liu & Jiang, 2018; Choy, ho & lee, 2017; Battini *et al.*, 2015; Fontin & Lin, 2020; DE Vries *et al.*, 2016) Cao *et al.* (2018) e Choy *et al.* (2017) que utilizam uma configuração de RFID para gerar o monitoramento e execução de coletas de pedidos em um ambiente de R/S (execução de ordem de armazém e recuperação) e de empilhadeira, respectivamente. Poon *et al.* (2009) propuseram um sistema de gerenciamento logístico usando RFID, que analisa diversos desempenhos dos leitores e das tags. Além disso, o sistema é capaz de analisar os melhores pontos dentro do armazém para a instalação de tags e leitores. Já os artigos de Battini *et al.* (2015), Fontin e Lin (2020) e De Vries *et al.* (2016) utilizaram o RFID como uma ferramenta para a escolha de pedido. Todos os três artigos apresentaram uma comparação das tecnologias com outras existentes. Battini *et al.* (2015) abordou o RFID juntamente com o código de barra, concluindo que essa é a melhor solução para coleta de pedido manual de cargas unitárias e com pouca demanda de coleta por hora. No entanto, analisando o gráfico apresentado por Fontin e Lin (2020) é possível identificar que os sistemas RFID e código de barras se aproximam nos resultados, com base nas 3 heurísticas de roteamento abordadas. Porém, os autores não citam a tecnologia em seus resultados ou em suas conclusões. Tanto Fontin e Lin (2020) como Poon *et al.* (2009) fazem uma comparação entre as tecnologias *pick-by-voice* e RFID. As pesquisas apresentaram resultados semelhantes, mostrando que *pick-by-voice* apresenta um melhor desempenho em comparação com a escolha de pedidos com RFID.

Outra descoberta importante a ser levada em consideração envolve as características individuais dos *pickers*, tanto em termos de personalidade como de idade. Pois eles tiveram uma relação



com a porcentagem de erros na escolha de pedido realizado pelo experimento de Poon *et al.* (2009).

Battini *et al.* (2015) apresentam dois trabalhos que utilizam tecnologias para melhorar o desempenho de um sistema *pick-by-light*. Uma dessas tecnologias é apresentada por Andriolo *et al.* (2016), em que é desenvolvida uma luva com leitor RFID. A luva permite que o *picker* tenha as duas mãos disponíveis para realizar seu trabalho. Nos *hacks* existem leds mostrando os produtos a serem escolhidos. Caso o catador escolha um item em um *hack* não solicitado, uma luz vermelha é acesa, apresentando ao *picker* uma sinalização de erro em sua escolha. Caso o *picker* escolha o pedido certo, a luz é apagada e o próximo LED associado à sequência de coleta de itens, é acionado. Eles relatam que os benefícios encontrados em seu dispositivo foram associados à redução de erros, aumento na produtividade, redução no tempo da coleta e rápido treinamento para o uso da tecnologia. A limitação do experimento conduzido por Andriolo *et al.* (2016) refere-se à ausência de uma análise empírica, considerando um armazém de porte maior. Battini *et al.* (2015) realizaram uma avaliação de cinco tecnologias de coleta sem papel e identificaram que a junção das tecnologias *pick-by-light* e RFID apresentam tempos de coleta reduzidos e menor quantidade de erros.

Conclui-se que é necessário realizar um experimento comparando as tecnologias *pick-by-light*, RFID e *pick by light* com RFID, para identificar se, de fato, a junção das duas tecnologias tem um melhor desempenho se comparado às tecnologias separadamente.

### 3.2.2 Leitores de códigos de barras e *Pick-by-voice*

Apesar da tecnologia de leitura de código de barras ser um dos primeiros dispositivos a auxiliar na coleta de pedido e um dos mais difundidos, nessa pesquisa apenas dois artigos a referenciaram, em análises comparativas com outras tecnologias. Battini *et al.* (2015) fizeram a comparação com outros quatro tipos de escolha de pedido sem papel e constataram que o leitor de código de barras, assim como o RFID, tem um melhor desempenho em armazéns de pouca complexidade com um número de SKUs reduzido. Já Fontin e Lin (2020) identificaram que o leitor de código de barras possui maior desempenho do que o comando por voz quando a quantidade de pedidos apresentada no armazém está entre 800 e 900 pedidos. Sendo a opção de leitura de código de barra o que apresenta maior economia, tendo em vista que possui um menor custo. Outro ponto importante do código de barras é que essa tecnologia pode ser combinada com outras, como as telas portáteis (Battini *et al.*, 2015). Por se tratar de uma tecnologia mais rentável e que mostra certos benefícios se comparada com outras, é necessário realizar pesquisas adicionais sobre seu desempenho.

No equipamento *pick-by-voice*, o *picker* utiliza um fone de ouvido com microfone. O sistema apresenta as coordenadas para o *picker*, que confirma sua localização e seleciona o item através de um reconhecimento de voz (Battini *et al.*, 2015; DE Vries *et al.*, 2016). Nesta pesquisa, foram analisados quatro artigos contendo essa tecnologia. Battini *et al.* (2015) fazem uma análise comparativa considerando 5 coletas de itens sem papel e relata que a escolha por voz é um dos sistemas mais difundidos juntamente com *pick-by-light*. Eles constataram que a coleta por voz tem um custo por hora regular. Ela possui um desempenho semelhante às tecnologias de código de barras e RFID. Já Fontin e Lin (2020), que objetivaram encontrar as melhores



combinações de tecnologias e políticas de roteamento, constataram que a escolha por voz apresenta o melhor desempenho, dominando os resultados da pesquisa. O mesmo resultado foi constatado por De Vries *et al.* (2016), que analisaram o desempenho de três tecnologias e a relação entre as personalidades dos *pickers*. Eles constataram que o sistema *pick-by-voice* apresenta um bom desempenho, mas que a personalidade, a idade e a consciência dos *pickers* tem um fator significativo no desempenho deles. Gajsek *et al.* (2020), em sua pesquisa com catadores de pedidos em 3 países, constataram que, apesar do *pick by voice* ser uma tecnologia pouco utilizada, os *pickers* a veem como uma tecnologia que pode apresentar um impacto positivo na saúde deles. De Vries *et al.* (2016) mostram que o fator idade dos trabalhadores pode interferir na eficiência do sistema *pick-by-voice*, e que pessoas mais velhas tendem a ter mais dificuldade com o dispositivo.

### 3.2.3 *Pick by vision, pick by augmented reality e realidade mista.*

Essas três tecnologias foram reunidas nessa categoria, pois possuem grandes semelhanças em suas configurações, o que pode ser percebido nos oito artigos analisados neste trabalho (Hanson, Falkenström & Miettinen, 2017; Schwerdtfeger, Reif, Günthner & Klinker, 2011; Reif, Günthner, Schwerdtfeger & Klinker, 2010; Guo *et al.*, 2015; Reif & Günthner, 2009; Fang & An, 2020; Latif & Shin, 2020; Department of financial and management engineering, school of engineering, university of the aegean, chios, greece, 2020). Todos trabalham com dispositivo visual que é utilizado em frente a visão do *picker* (normalmente óculos especiais). Esses dispositivos enviam informações para o *picker*, muitas vezes através de imagens ou ilustrações gráficas, para auxiliá-lo em sua atividade, indicando quais os itens a serem escolhidos e as quantidades a serem coletadas. Todos os oito artigos analisados utilizam em suas metodologias os experimentos e/ou testes com usuários. Fang e An (2020) desenvolveram uma solução de inteligência artificial escalável e vestível. Os autores utilizam mapas, através de marcadores globais localizados no chão do armazém. Eles identificaram que a tecnologia de realidade aumentada está relacionada a complexidade da tarefa assim como a experiência do trabalhador. O método proposto em uma linha de montagem automobilística mostrou uma certa vantagem. Hanson *et al.* (2017) também utilizaram a comparação entre a tecnologia *pick-by-paper* e a *pick-by-air*. Em seu experimento com cinco pessoas, o sistema consistia em um display montado na cabeça do operador, que informava o *rack* do produto a ser escolhido e a quantidade, quando o *picker* movimenta-se para o carrinho de coleta de produtos, o sistema indica em qual caixa o produto deve ser inserido, permitindo uma coleta de kits ou coletas em lotes. Após o término, o catador informa, através de voz, que a coleta foi finalizada, permitindo que o dispositivo envie as próximas informações. O estudo analisou como variável de resposta, o tempo gasto e a quantidade de erro nos modelos de coleta. Com relação a quantidade de erro, o sistema com R.A apresentou melhor desempenho. Quando é trabalhada a preparação de lote, a realidade aumentada tem melhor desempenho, mas quando se trata de kits únicos, as diferenças entre as tecnologias não foram significativas e às vezes a coleta por papel mostrava ser mais rápida. Schwerdtfeger *et al.* (2011) tiveram como objetivo desenvolver um sistema de visualização da realidade aumentada. Os autores desenvolveram o mecanismo através de testes e validações em eventos públicos, em cada teste eles geravam as melhorias identificadas nos testes anteriores. Eles perceberam que é importante identificar até que ponto o usuário precisa



se mover, é preciso deixar claro para qual direção precisa ir, e os indicadores virtuais precisam ser ignorados mentalmente pelo usuário quando necessário. Já Latif e Shin (2020) apresentaram uma solução com realidade mista através de um aplicativo. A equipe do armazém trabalha com um dispositivo chamado MR HMD. Esse apresenta a lista de itens solicitados, através de um aplicativo, em uma janela holográfica. A rota é feita através de marcas renderizadas por um sistema de HMD. Ele também possui dois algoritmos: um para identificar a rota ideal dentro de vários destinos e outro que encontra o caminho mais curto, e um sistema de gerenciamento de dados baseado em web. Seu protótipo foi avaliado em um ambiente real e foi feito um estudo com 20 usuários. Seus resultados mostram que em relação a coleta de pedido com papel, o dispositivo apresenta uma redução de 23,62% na duração da atividade de coleta.

Reif *et al.* (2010) realizaram um experimento envolvendo as tecnologias *pick-by-vision* com realidade aumentada e a coleta com papel. Os participantes, após o experimento, responderam a um questionário. Isso permitiu que o estudo analisasse o cenário que faz mais sentido para o sistema e quais tipos de informações devem ser exibidas. Eles apresentaram como lacuna a importância de um sistema de rastreamento, como discutido na pesquisa de Fang e An (2020). Um experimento similar pode ser visto por Reif *et al.* (2009), que propõem um teste em um ambiente real para identificar os potenciais do *pick by vision*. Department of Financial and Management Engineering, School of Engineering, University of the Aegean, Chios, Greece (2020). propõem testes laboratoriais para encontrar os principais fatores que afetam a eficiência do sistema e sua precisão. Os resultados mostram que a melhor configuração para a eficiência na escolha consiste em faixa na cabeça e display localizado acima da linha de visão e uso de código de barra 1d. Para o fator precisão a melhor configuração são óculos e displays abaixo da linha de visão e códigos de barra 2d. Guo *et al.* (2015) propuseram dois experimentos. No primeiro eles analisaram as tecnologias de coleta com luz, coleta com papel e *pick by vision* com HUD, que eles identificaram como *pick by HUD*. No segundo experimento eles avaliaram o HUD, utilizando óculos da google transparentes e opacos. Foi detectado que o *pick by HUD* apresenta menos erro e mais eficiência se comparado aos outros dois sistemas. Foi detectado também que os óculos opacos resultam em melhor resultado do que os óculos transparentes. É possível identificar que os experimentos de comparação foram feitos apenas com a coleta de pedidos com papel exceto Guo *et al.* (2015), que também fizeram o teste comparando o *pick by light*. Seria interessante outros experimentos para comparar com outras tecnologias, ou até mesmo testar combinações de tecnologias como proposto por Hanson et al 2017.

### 3.3 AGV

Veículos guiados automatizados (AGVs) são veículos capazes de seguir uma rota dentro do armazém e erguer os racks, também chamados de *pods*, levando-os para outra região onde se encontram os catadores. A alimentação de energia dos AGVs é feita por baterias. Para seguir sua rota, são usadas combinações de tecnologias de navegações, podendo ser eletromagnéticas, óticas e laser (Liu, Zhang & Liu, 2019).

Tang, Cheng, Jiang e Cheng (2021) relatam que o princípio do armazém sem a presença de operadores humanos é substituir os pickers por AGVs, embora tanto Yoshitake, Kamoshida e Nagashima (2019) quanto Krug *et al.* (2016) preconizem que os AGVs buscam os *racks* e



entregam para *pickers* humanos. Yoshitake *et al.* (2019) sustentam que o sistema AGV é escalável, pois é possível alterar a quantidade dos *racks* e AGVs, apresentando redução de custos. Esse sistema apresenta ganhos de eficiência e economia em relação à atividade manual (Polten & Emde, 2021). Entretanto, Jerman *et al.* (2021) afirmam que o grande consumo de energia na elevação das prateleiras é uma desvantagem do sistema. Beinschob *et al.* (2017) ressaltam que o desenvolvimento da rota pode interferir no gerenciamento do tráfego com armazéns que trabalham com vários AGVs. Eles propõem em seu trabalho um método semiautomatizado para realizar esse mapeamento. Através de seus experimentos, os autores identificaram que o sistema é promissor e pode reduzir o tempo e o custo de instalação.

Yoshitake *et al.* (2019) propõem um sistema que permite uma programação mais flexível nas atividades de transportar tanto os *pods* de inventário como os de classificação, aplicando um método de agendamento holônico. Os autores perceberam que tal sistema é adequado para grandes armazéns que trabalham com pedidos com maior mixagem e menores volumes. Liu *et al.* (2019) também tiveram como objetivo em sua pesquisa melhorar a eficiência da operação, tendo como foco de pesquisa o planejamento de caminho do lote de pedido baseado no modo de classificação “*part-to-picker*” Para isso, Liu *et al.* (2019) realizaram um planejamento de caminho para os AGVs. Os autores concluíram que a estratégia de escolha de prateleiras no modelo “s” é melhor que a estratégia do vendedor viajante (TSP), também identificaram que o método proposto pelo artigo apresenta melhora na eficiência do sistema. Tang *et al.* (2021) propuseram um algoritmo considerando o agendamento cooperativo do AGV, a escolha de pedido e os arranjos da estação de coleta com suas configurações ideais. Através de simulação, foi concluído que a estratégia proposta é positiva, em termos de custo da operação do equipamento, quantidade de equipamentos e tempo da atividade.

Jiang, Wan, Pei e Qin (2021) procuram minimizar o atraso total na divisão de pedidos. Para isso são considerados os problemas de loteamento de pedidos e sessão de lotes. Através de extensivos testes, Jing *et al.* (2021) identificaram que o algoritmo proposto por eles tem um aumento de 50% na taxa média de rotatividade. Além disso, houve uma redução no atraso médio de ordens na maioria dos casos. Já para Xing *et al.* (2020), o objetivo foi minimizar a distância total de viagem através de um algoritmo proposto. Eles descobriram que algoritmos de otimização baseados em vizinhança são mais eficientes do que os baseados em população e que o proposto por eles é eficaz e com forte aplicabilidade. He, Aggarwal e Nof (2018) apresentaram uma nova abordagem para oferecer serviços diferenciados, baseados em preço. Com a análise numérica, foram indicadas melhorias no desempenho comparado aos métodos *turn-over rate* e FCFS.

Polten e Emde (2021) abordaram o tráfego de AGVs para configurações de corredores. Eles concluíram que, de forma operacional, há poucas vantagens em corredores amplos. Na estratégia de acesso exclusivo, é melhor corredores transversais longos e corredores curtos e estreitos principalmente se a frota de AGVs for grande. Para o acesso paralelo não são recomendáveis corredores longos e estreitos ou corredores cruzados curtos. Nesse acesso, a quantidade de AGVs não interfere muito. Rajotia, Shanker e Batra (1998), por outro lado, concentraram no tamanho ideal da frota. Em seu resultado foi possível identificar que diferentes



modelos não conseguem determinar a quantidade real dos veículos, já o modelo apresentado na pesquisa fornece resultados próximos aos encontrados na simulação.

Jerman *et al.* (2021) e Krug *et al.* (2016) trabalharam configurações diferentes para os AGVs. Jerman *et al.* (2021) apresentam um sistema autônomo de armazenamento e recuperação com elevadores móveis (AVS/RS/ML). Os AGVs são levantados pelos elevadores para chegarem até a mercadoria e assim economizar baterias na elevação e ser mais flexível na operação de transporte. Krug *et al.* (2016) analisaram o uso de sistemas *pick and place* junto ao AGV. Uma configuração parecida é citada por Lee e Murray (2019), que afirmaram que o sistema funciona como robô móvel. Bozer e Aldarondo (2018) fazem uma comparação entre AGVs e um mini carregamento de quatro corredores e constataam que eles têm aproximadamente o mesmo desempenho com a frota contendo 50 AGVs. Apesar de ter vários artigos abordando diferentes pontos de sistemas AGVs, mais artigos com metodologia de estudo de caso poderiam ser desenvolvidos.

### 3.4 Robôs

Nesta pesquisa constatou-se que existem diversas investigações envolvendo robôs nas atividades de escolha de pedidos, equivalendo a 36% dos artigos revisados. Embora suas nomenclaturas se diferenciem, constata-se que suas estruturas se assemelham, como o uso de AGVs em sistemas *cobots*, vistos nos trabalhos de D'Souza, Costa e Pires (2020) e Fager, Sgarbossa e Calzavara (2021). Há ainda o trabalho de Cai, Li, Liang e Ouyang (2021), que apresenta AGVs nos sistemas RFMS. Para um melhor entendimento, foi separado cada dispositivo robótico conforme apresentado pelos autores.

#### 3.4.1 Robôs móveis

Nos artigos analisados neste trabalho, 7 apresentavam a abordagem de robôs móveis. Suas descrições se assemelham às apresentadas pelos artigos que descrevem os AGVs. O robô vai até o rack contendo a mercadoria desejada, faz a elevação da mercadoria e leva para uma estação de coleta (Weidinger, Boysen & Briskorn, 2018; Wang Sheu Teo & Xue 2021; Boysen, Briskorn & Emde, 2017A). Seu método de navegação é através de código de barras no chão do armazém (Weidinger *et al.*, 2018; Boysen *et al.*, 2017A). Lee e Murray (2019) apresentam dois tipos de robôs móveis que utilizam *scanner laser* para evitar obstáculos. Um serve apenas para transportar itens colocados em *tots* removíveis e o outro possui uma garra. O intuito da sua pesquisa é examinar a relação entre o designer do armazém e as coletas realizadas por robôs móveis.

Atchade-Adelomou, Alonso-linaje, Albo-canals e Casado-Fauli (2021) relatam o crescente uso e pesquisas voltados à computação quântica e com isso apresentam o Qrobô, um robô móvel que utiliza computação quântica. Já Roy, Nigam, De Koster, Adan e Resing (2019) investigam em sua pesquisa o desempenho das estratégias de atribuição aos robôs para zonas de armazenamento. Boysen *et al.* (2017a) investigam o processo de pedido na estação de coleta. Enquanto Weidinger *et al.* (2018) tratam o problema de atribuição de racks de forma a minimizar os esforços totais de entrega para os robôs. Wang *et al.* (2021) alertam que as necessidades dos trabalhadores humanos não devem ser ignoradas nas pesquisas relacionadas à escolha de pedidos, apresentando um caso ocorrido no centro de distribuição de Baltimore em



que aproximadamente 300 trabalhadores deixaram a empresa no período de um ano, reclamando que eram tratados como robôs.

### 3.4.2 RMFS

Sistema de Realização Móvel Robótico (RMFS) é um sistema de controle de armazenamento e recuperação que utiliza robôs móveis (Zou, Gong, Xu & Yuan, 2017; Lamballais, Roy & De Koster, 2017; Zou *et al.*, 2018; Bolu & Korcak, 2021; Cai *et al.*, 2021; Keung *et al.*, 2020; Kim, Pais & Shen, 2020). Diferente do que foi relatado por Wang *et al* (2021) sobre os trabalhadores humanos em armazéns com robôs móveis, Xie, Thieme, Krenzler e Li (2021) afirmam que o sistema alivia os *pickers* humanos, melhorando o processo de coleta.

Foram analisados 13 artigos relatando essa tecnologia (Lambellais, Roy & De Koster, 2020; Gong, Jin & Yuan, 2021; Bolu & Korcak, 2021; Cai *et al.*, 2021; Zou *et al.*, 2017; Xie *et al.*, 2021; Valle & Beasley, 2021; Lamballais *et al.*, 2017; Yuan & Gong, 2017; Wu, chi, Wang & Wu, 2020; Zou *et al.*, 2018; Keung *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2020)., sendo esse termo o mais usado nos artigos relacionados a uso de robôs. Alguns desses artigos se concentram na otimização do sistema. Lambellais *et al.* (2020) buscam minimizar o tempo de transferência de pedido. Já Gong *et al.* (2021) procuram entender como otimizar as operações em um RMFS de forma a melhorar o rendimento, levando em consideração as classes de clientes. Bolu e Korcak (2021) tem como objetivo aumentar a eficiência total e assim propõem um método de conversão de pedido. Os resultados mostraram uma redução do tempo total de pedidos de 40% em armazém que contém 2 estações de picaretas e 40 totens e de 46% no armazém de 3 estações e 60 totes. Por fim, Cai *et al.* (2021), para melhorar a eficiência energética, consideram duas questões: a atribuição de locação e o planejamento de caminho. Eles identificaram que a estratégia de atribuição melhora a eficiência do sistema apresentando uma redução de aproximadamente 35%. Mas que o loteamento baseado em *cluster* e no volume de negócio da prateleira não é necessariamente mais eficaz que o sistema de armazenamento aleatório.

Zou *et al.* (2017) investigam três perguntas a respeito de construir um modelo eficiente para estimar o desempenho do RMFS, identificar as regras de atribuições para minimizar o tempo de rendimento e recuperação e após identificar as regras, identificar qual tipo de bloco beneficia melhor o sistema. Seus resultados mostram que em relação a regra de atribuição, a abordagem da pesquisa de vizinhança se aproxima da ideal. Já a largura do bloco de prateleira ideal diminui em relação à largura/comprimento. Xie *et al.* (2021) desenvolveram um modelo matemático para resolver o processo de coleta integrado para várias estações. Eles identificaram que a integração das decisões é capaz de trazer melhorias no desempenho e que permitir a divisão de ordem pode melhorar a eficiência ainda mais. Valle e Beasley (2021) buscam descobrir se é possível desenvolver fórmulas matemáticas para os problemas de alocação simultânea de pedidos e racks e o problema de sequenciamento de *racks*. Eles apresentaram duas heurísticas para a solução do problema e constataram que dependendo das condições de satisfação, é possível apresentar uma sequência viável de racks levando em consideração apenas o subconjunto das ordens tratadas pelo *picker*. Lamballais *et al.* (2017) construíram um modelo analítico para estudar o desempenho do sistema. Perceberam que o rendimento máximo não é influenciado pela relação largura/comprimento, com exceção de fortes distorções. Perceberam



também que a localização da estação de trabalho influencia no rendimento máximo. Yuan e Yeming (2017) concluíram que suas descobertas e métodos no modelo de rede de fila aberto, de serviço único e de múltiplos serviços para RMFS podem ser usados no planejamento do armazém robótico e no design da instalação. Wu *et al.* (2020) tem contribuição a resolução do problema de layout. Diferente de Lamballais *et al.* (2017) identificaram que existe uma sensibilidade na relação largura e comprimento, mas somente quando a frota não é grande. Eles identificaram também que é possível aumentar o rendimento máximo quando é utilizada estratégia de zoneamento, sendo o desempenho sensível à direção do zoneamento.

Zou *et al.* (2018) diferente dos demais, investigam a recuperação de baterias usadas pelos robôs. Eles concluíram que não considerar a recuperação da bateria pode subestimar tanto o número de robôs como o custo do sistema. Identificou que em termos de custo a estratégia de carregamento por indução é o melhor se comparado ao da troca de bateria e a estratégia de *plug-in*. Keung *et al.* (2020) também propõem uma pesquisa diferenciada dos demais, apresentam uma arquitetura *Cyber-physisca* aplicada aos RFMS com intuito de criar valor usando um protótipo virtual. Eles identificam que a implementação do sistema pode reduzir as colisões e com isso aumentar a eficiência e eficácia no armazém, podendo mudar a economia e até o ambiente de trabalho além de gerar maior competitividade no ramo. Já Kim *et al.* (2020) propõem um método capaz de classificar itens por grupos e assim maximizar a soma de valores de similaridade dos itens. Esse método pode ajudar na redução de rotas de robôs carregando racks.

### 3.4.3 Multi-Robôs e cobots

No sistema de multi - robôs (RMS) permite uma cooperação entre os robôs para completar tarefas que apenas um robô não pode fazer sozinho. (Jiang, 2020). Zhuang, Huang, Sun e Qin (2021) relatam em seu artigo que os MRS podem ser classificados como heterogêneos e homogêneos sendo que o primeiro requer um planejamento de tarefas. Ele é eficiente e de baixo custo (Xue, Tang, Su & Li 2019).

Jiang (2020) afirmam que suas vantagens permitiram que eles fossem foco de várias pesquisas. Porém nessa pesquisa, foram analisados apenas 3 artigos abordando esse sistema. Zhuang *et al.* (2021) propõem um novo mecanismo de mapeamento capaz de descrever o planejamento cooperativo de tarefas. Através de simulação identificou que o algoritmo proposto comparado com outros dois apresenta um melhor desempenho em quase todas as instâncias. Xue *et al.* (2019) por sua vez, propõem um modelo para alocações de tarefas. Eles concluíram que seu modelo tem vantagens em relação a modelagem tradicional. Jiang (2020) buscam resolver o problema de loteamento de um sistema de coleta em armazéns não tripulados. Através de simulação foi percebido que o modelo apresentado permite uma redução de prateleiras e melhor eficiência no sistema. Devido a abordagem dos artigos revisados sobre esse assunto, não é possível apresentar uma conclusão a respeito desse sistema.

*Cobots* são robôs preparados para estarem próximos de humanos. Eles apresentam maior segurança pois possuem sensores capazes de detectar seres humanos, e são fáceis de programar, mesmo para quem não tem conhecimento aprofundado em programação (D´Souza *et al.*, 2020).



Normalmente são usados para transportar itens selecionados pelos operadores e enviar para a seção de embalagem, ou também pode apoiar os operários na triagem (Fager *et al.*, 2021).

Foram analisados dois artigos, D'Souza *et al.* (2020) apresentam um modelo robótico que junta um AGV um *cobot* e uma mão robótica para ser integrado em soluções avançadas para futuras fábricas. Em sua conclusão eles identificaram que o modelo funcionou bem, atendendo aos requisitos de um sistema de escolha de pedidos 4.0. Fager *et al.* (2021) demonstram os custos de classificação de *cobot* se comparado com uma quantidade de configurações típicas de armazém de uma alternativa manual. Eles concluíram que a alternativa manual é preferível em casos em que existem poucos pedidos com itens comuns e quando há uma longa distância por linha de pedido.

Levando em consideração a utilização cada vez maior de robôs, mas com muitas atividades ainda precisando de intervenções humanas, o desenvolvimento dessa tecnologia é muito importante. Sendo interessante mais pesquisas para analisar esse sistema e poder identificar se determinado armazém tem um melhor desempenho com a utilização de robôs em todo o processo ou se compensa utilizar cobots e assim aproveitar melhor o desempenho das atividades humanas e robóticas.

### 3.5 Racks móveis

Racks móveis consistem em prateleiras lado a lado ligadas por uma espécie de trilho que se locomove quando acionado para o lado de forma a criar um corredor para que o catador acesse os skus (Foroughi, Boysen & Ende, 2021). Ou pode permitir acesso para veículos não tripulados (Boysen, Briskorn & Emde, 2017B). Ele é utilizado para armazéns com espaços reduzidos e permite uma economia com energia em armazéns refrigerados. Foroughi *et al.* (2021) em seu artigo exploraram a troca existente entre a exigência total de espaço e o esforço resultante. Eles identificaram que tal sistema não é recomendado para armazéns que atribuem apenas um local para cada *stock keeping unit* (SKU), e que a regra prioritária apresentada pelos autores funciona bem, mesmo não tendo uma composição exata de pedidos futuros. Boysen *et al.* (2017B) apresentaram como objetivo formular uma sequência de pedidos de forma que corredores deixados abertos podem ser reutilizados em outras ordens de pedidos. O uso de múltiplos corredores no sistema compensa apenas se o desempenho crescente da escolha justifique o espaço adicional. Também identificaram que a velocidade na escolha de pedido será válida dependendo-o da estrutura de custo do armazém.

Com isso podemos perceber que o fator de movimentação de racks pode ser um ponto crítico nesse sistema e que por isso poucos estudos sobre ele foram encontrados. Talvez estruturas de racks mais leves podem ajudar nesse ponto crítico. Caso uma solução seja encontrada para tal problema o sistema pode ser de grande valia para várias estruturas de armazéns, principalmente para aquelas que se encontram dentro de grandes cidades. Não sendo essa uma opção adequada caso o interesse seja agilizar a viagem da coleta de pedido tendo em vista que é preciso levar em consideração que é preciso um tempo disponível para a movimentação dos racks.



### 3.6 CPS

O sistema *Cyber-Physico* consiste na área física que trabalha com a tecnologia IoT (internet das coisas) que possuem atuadores e sensores. Assim como a parte computacional que é capaz de controlar e monitorar a parte física. (Kong, Yang, Peng & Li, 2020; TU *et al.*, 2021). Para Tu *et al.* (2021) o sistema *Cyber-physico* pode ser útil para o chamado *picker -and - pass* (uma variação do sistema de *picker to part*). Seu artigo tem como objetivo projetar essa estrutura. Eles acreditam que seu artigo é apenas o primeiro passo para a automação inteligente de informação logística corporativa. Identificam que sistemas com CPS, se bem projetados, podem trabalhar com grandes números de pedidos de pequenos lotes. Já Kong *et al.* (2020) Propõem um mecanismo de CPS para um sistema de escolha de pedidos do comércio eletrônico levando em consideração a simultaneidade da escolha e a pontualidade de classificação. Em seu estudo de caso, identificaram que o mecanismo permite uma sincronização do sistema em tempo real, o que causa o equilíbrio da simultaneidade da escolha e pontualidade da classificação. Ele também elimina a coleta de dados manuais e reduz erros operacionais.

Com esses dois artigos apresentados nessa seção e o artigo apresentado por Keung *et al.* (2020) que relaciona CPS com RMFS, é possível identificar que é um assunto que está começando a ser abordado e pesquisado. É possível notar que o enfoque está em armazéns que atuam no *e-commerce* visto que dois dos três artigos são voltados para esse ramo. É importante ver que esse é um assunto que possui grandes possibilidades sendo interessante futuramente ser mais pesquisado. Um ponto importante a ser levado em consideração de mecanismos com esse tipo de tecnologia é que ela permite geração de dados e informações da atividade além do auxílio à atividade.

### 3.7 AS/RS

Sistemas de armazenamento e recuperação AS/RS tem em sua estrutura base guindastes, racks corredores e pontos de entrada e de saída. Os guindastes atravessam os corredores entre os racks para pegar a mercadoria e levar para o *picker* no ponto de saída. Roodbergen e Vis (2009) fizeram revisões bibliográficas relacionadas aos AS/RS. Eles propõem uma visão crítica geral de todas as questões que diz respeito ao design de controle dos AS/RS. Chegaram à conclusão de que a maioria dos artigos consideram ambientes estáticos, e a demanda atual não tem bons desempenhos com esse tipo de ambiente. Eles acreditam que as pesquisas devem voltar mais para o desenvolvimento de modelos, algoritmos e heurísticas e incluem aspectos dinâmicos e estocásticos. Atamaca e Ozturk (2013) desenvolveram sua pesquisa voltada para instalações de manutenção e para políticas de escolha de pedido. O modelo apresentado por eles permite uma minimização no custo de alocação de armazém, no custo de manutenção e no custo de coleta de pedido. Boysen, Fedtke e Weidinger (2018) formularam o problema de sequenciamento das separações de ordens de um sistema AS/RS. Foi concluído que se houver uma criação da área de consolidação é influenciada por diversos parâmetros de instância e sistema, o que se mostra uma tarefa de planejamento bastante delicada. Park, Frazelle e White (1999) investigaram o efeito do tamanho do buffer em um sistema de mini carga AS/RS. Identificando que o rendimento máximo no aumento da capacidade do buffer é inferior ao rendimento mínimo de sistema sem buffer.



Lee, Chang e Karwowski (2020) apresentaram um trabalho diferente dos demais, eles estudaram o recurso de design ergonômico dos catadores. Analisaram o sistema AS/RS e os robôs móveis. Constataram que no fator ergonômico o sistema AS/RS é melhor, pois os catadores não precisam forçar a coluna com itens baixos ou altos.

É importante ressaltar que existem vários sistemas relacionados ao AS/RS na literatura, sendo assim, essa área foi dividida para apresentar as ramificações desse sistema encontrado nessa pesquisa.

### 3.7.1 R/S e VLM

R/S consiste na máquina presente em um sistema AS/RS. Ela é capaz de se locomover verticalmente e horizontalmente e assim acessar racks em todos os lados do corredor (Khojasteh & Son, 2016). Hwang, Baek e Lee (1988) apresentaram um algoritmo heurístico para a separação de pedido e como combinar diferentes pedidos para que o lote seja otimizado. Perceberam que a determinação de cronograma de recuperação ideal é importante para os gerentes que pretendem reduzir custos de manuseio de matérias. Bortolini, Faccio, Ferrari, Gamberi e Pilati (2017) trataram do problema na atribuição de carga unitária e baseado em tempo e energia apresentaram um modelo bi-objetivo. Seus resultados mostram a possibilidade de equilíbrio do ciclo de tempo com a intensidade energética. O objetivo de Khojasteh e Son (2016) em seu artigo é minimizar o tempo total que a máquina percorre. O resultado mostra que a heurística de viagem mais curta apresenta um melhor desempenho em termos de tempo da CPU.

Com esses artigos analisados é identificado que os estudos envolvendo as máquinas R/S são focados mais para a agilidade no tempo de recuperação dos itens. É interessante fazer uma comparação da máquina com outros dispositivos para identificar quais dispositivos são mais adequados para determinadas configurações de armazém.

### 3.7.2 VLM

Módulo de elevação, consiste em um sistema AS/RS em que o guindaste faz a viagem verticalmente, pega a bandeja da prateleira e então a entrega para o *picker* em uma área chamada piscina. O sistema pode ser de uma ou duas bandejas (Duckic, Opetuk & Lerher, 2015; Sgarbossa, Calzavara & Persona, 2019).

Cinco artigos foram analisados com essa tecnologia sendo que 3 deles apresentaram algum tipo de modelo, sendo eles: Nicolas, Yannick e Ramzi (2018) que forneceram modelo de otimização de lote eles puderam mostrar que seu modelo é superior para diferentes configurações da estratégia atual de loteamento; Sgarbossa *et al.* (2019) definiram modelos para diferentes configurações capazes de melhorar o rendimento do VLM. Eles identificaram que o *throughput* global depende do VLM de duas bandejas e do desempenho do operador claramente. Pelos resultados a atribuição de armazenamento baseado em classes apresenta certos benefícios para o *Throughput* do sistema; e Dukic *et al.* (2015) apresentaram um modelo de *throughput* para VLMs de bandejas duplas. Concluiu que o a distribuição real do tempo de escolha tem influência no *throughput* do sistema. Também ressaltaram que o modelo analítico pode servir de diretrizes para determinar o rendimento esperado; Já Calzavara, Sgarbossa e Persona (2019) estudaram a aplicabilidade do sistema. Eles identificaram que o VLM é menos flexível do que



o sistema de racks de caixas, porém o VLM gera uma economia maior, quando tem um nível de saturação alto. Esse sistema é mais utilizado quando existe uma limitação de espaço. Assim como constatado por Venkitasubramony e Kumar (2017) que estudaram a inclusão do compartilhamento do espaço no cálculo do espaço do armazenamento obrigatório, concluindo que o sistema VLM pode ser mais econômico quando o valor da área do espaço no armazém é alto.

É notório que assim como a tecnologia de Racks móveis os VLMs são recomendados para armazéns pequenos e que estão situados em regiões mais caras. Uma desvantagem identificada é a questão da falta de flexibilidade, se comparado à novas tecnologias que têm surgido no mercado. Novas pesquisas comparando essas tecnologias para identificar se o sistema VLM apresenta melhores condições em determinadas configurações de armazém poderiam ser desenvolvidas.

### 3.7.3 MIAPP-AS/RS SBS/RS e ZAPS.

Sistema automatizado de armazenamento e recuperação com várias posições de escolha no corredor MIAPP-AS/RS consiste em uma tecnologia AS/RS, porém com dois tipos de corredores, um onde ocorrerá a movimentação da máquina R/S e o outro é utilizado por catadores. Sendo um sistema semiautomático pois existem tanto atividades manuais como automáticas (Ramtin & Pazour, 2015). Nessa configuração os catadores são responsáveis por fazer a mixagem dos pedidos conforme a demanda dos clientes.

Os dois artigos analisados foram escritos pelos mesmos autores, sendo um escrito em 2015 e outro em 2014. Eles abordaram essa tecnologia em suas pesquisas buscando compreender aspectos da tecnologia. Ramtin e Pazour (2014) buscaram entender decisões de design ocasionadas nas relações de política quando implementado o sistema. Eles descobriram que existem impactos diferentes nas políticas operacionais dependendo do design. Já Ramtin e Pazour (2015) buscaram entender o impacto de diferentes atribuições de SKUs no rendimento do sistema. Eles observaram que para uma política de recuperação consecutiva tendo uma atribuição ideal, o SKU mais exigido está localizado no meio do *rack* independente do formato do layout.

Nos transportes autônomos baseados em transporte e recuperação SBS/RS podemos ver uma maior automação, tendo em vista que os catadores são substituídos por ônibus que fornecem o movimento horizontal dos *totens*, e os elevadores discretos movem os *totens* pelos níveis. (Tappia *et al.*, 2019; Yang, & Huo, 2021).

Embora esse sistema tenha aparecido em outros artigos, apenas Tappia *et al.* (2019) tem o foco de sua pesquisa no sistema integrado de armazenamento e coleta de pedidos. Eles identificaram que o sistema tem melhor economia no custo de investimento em sistema com menor número de corredores e menor número de estações se comparado a sistema AS/R. Já Yang e Huo (2021) abordaram o sistema de armazenamento/recuperação baseado em transporte transversal CASBS/RS. Eles propõem um algoritmo para determinar o design no sistema para garantir um custo mínimo do sistema. Eles concluíram que o melhor sistema de configuração para empresas de *e-commerce* consiste em 8 níveis, 7 corredores, 90 baias e 7 plataformas de seleção e elevadores.



ZAPS trata do sistema de dispensação automatizado de zonas. Em sua configuração são encontrados distribuidores, tampões e correias transportadoras. Ele é popular em sistemas para poucos itens, sua divisão por zona permite que elas funcionem simultaneamente. Wu, Zhou, Wu e Kong (2017) foram os únicos nessa amostra de artigos que trataram desse sistema. Seu objetivo é minimizar o tempo de cumprimento de ordens. Em seu experimento mostraram que a solução apresentada é capaz de reduzir em 5% o tempo de cumprimento do pedido.

### 3.8 Carrosséis

Os carrosséis são sistemas de armazenagem automatizados que consistem em uma transportadora com *loop* fechado. O dispositivo automático move as unidades de SKU simultaneamente permitindo um compartilhamento de coleta entre os catadores.

Wang Shandong e Changpeng (2014) compararam o sistema carrossel com o sistema *Pick – and – sort* e concluíram que para pedidos com menor densidade e menor quantidade o sistema *pick – and – sort* parece mais adequado. Chang, Wen e Lin (1993) demonstraram um problema de coleta com dois carrosséis que utilizam um único sistema. Eles perceberam que a solução apresentada pode ser aplicada para outros tipos de carrosséis. Adriansyah, etman, Adan e Rooda (2014) estudaram o desempenho de um novo design conceitual para estação que processa vários pedidos. Eles identificaram que a política retrógrada, apesar de mais barata, possui um bom desempenho. Lee e Kuo (2008) apresentaram heurísticas eficientes para resolver o problema de escolhas únicas ou mult-ordens. Constataram que a otimização é válida somente quando a taxa de pedidos é alta e a densidade de itens pequena.

### 3.9 Transportadoras

Neste estudo foram encontrados dois artigos que tratam de sistema auxiliado por transportadores. São eles: Bansal, Roy e Pazour (2021) que descreveram as tecnologias de política de loteamento estático não devem ser usadas para a política de loteamento dinâmico, visto que a última requer uma tecnologia de transferência que necessita investimentos que incluem transportadoras. Em seu artigo, desenvolveram modelo e método para analisar políticas alternativas de lotação em um ambiente de liberação de coleta de pedido sem onda em um sistema *Stock – picker*. Já Hou, wu e wu (2009) focaram em estabelecer um modelo de atribuição de emprego no sistema auxiliado por transportadora. Eles tiveram como resultado que o custo global de operações dos centros de distribuição pode ser reduzido e a competência pode ser aumentada com o modelo apresentado.

### 3.10 Sistemas Automatizados

Os sistemas automatizados podem ser apresentados com formas e configurações diferentes. Sendo assim, foram descritos os sistemas conforme apresentados por cada artigo juntamente com o objetivo de pesquisa.

Wu e Wu (2014) apresentaram o sistema de coleta automatizada de pedidos de zona. O sistema é configurado em zonas e cada zona pode ter um ou mais dispensadores, um buffer que controla a liberação dos itens conforme a ordem de pedido para uma transportadora, permitindo assim que os itens sejam transportados conforme as demandas. Os autores fizeram um estudo de caso a fim de otimizar o número de itens atribuídos em cada região do sistema. Em sua pesquisa,



identificaram que a melhoria do tempo ocioso é a única maneira de melhorar o cumprimento do pedido no sistema.

Liu, Mou e Wu (2015) em seu trabalho utilizaram o sistema básico de coleta de pedidos automatizados (BAOPS) em que geralmente trabalha com um layout unilateral e possui classificação de itens único. Ele conta com as unidades: de controle, de coleta, de transporte (essa unidirecional) e de embalagem. A unidade de coleta escolhe o item para a transportadora que leva o item até a unidade de embalagem. O sistema trabalha com pedidos únicos, ou seja, o sistema não passa para o outro pedido enquanto o anterior não for finalizado. Sua pesquisa é voltada para a estratégia híbrida sobre a escolha desse sistema. Com a estratégia híbrida o tempo total da escolha diminui e a eficiência média aumenta em comparação com a estratégia de escolha sequencial. Já Liu, Zhao e Wang (2019) apresentaram o sistema de colheita automatizado complexo (CAPS) que possui a mesma configuração apresentada pelo autor no artigo anterior de Liu *et al.* (2015). Porém esse sistema tem uma classificação com duas ou mais máquinas, para melhorar o desempenho. Para reduzir o tempo total de coleta os autores projetaram um algoritmo melhorado. Provando a eficácia do método de otimização.

Habazin, Glasnovic e Bajor (2017) fizeram um estudo de caso em uma empresa de laticínio da Croácia, onde observaram o processo de separação e apontaram problemas e propuseram soluções para eles. O armazém estudado possui várias zonas, uma delas apresentada como zona z que é totalmente automatizada e utiliza de guindaste robótico, coloca os produtos em uma esteira e transporta-os para a zona i onde é feita a separação dos pedidos. Eles identificaram que a empresa está bem-organizada, mas propuseram uma otimização na coleta de pedidos que proporcionaria maior eficiência para a empresa. Eles acrescentaram que é preciso fazer uma análise e potencial mudança na estrutura de processos de acordo com possíveis mudanças.

Armstrong, Cook e Saipe (1979) em seu estudo de caso, discutiram o uso de técnica da ciência administrativa para fazer pedidos de lotes. A empresa trabalha no ramo de bebidas e o sistema apresentado é semiautomático. O selecionador separa a caixa da prateleira para uma transportadora que faz o sortimento dos pedidos e posteriormente o transportador leva os produtos para a área de caminhões para entrega. Foi possível perceber em sua pesquisa que é importante visualizar a operação de separação de pedidos em sua totalidade quando atribuídos pedidos a lotes, pois esses podem gerar um acúmulo de *racks e packs* em alguns lotes.

Elsayed e Stern (1983) apresentaram um novo algoritmo heurístico com distância mínima dentro do armazém, apesar de citar em seu título que trata de um sistema de armazém automatizado, o mesmo não descreve o sistema, deixando a entender que serve para qualquer tipo de sistema automatizado. Concluíram que os algoritmos propostos possuem uma dependência de dados e são sensíveis à capacidade do veículo usado na coleta. Eles recomendam o uso de todos os algoritmos para ter uma solução otimizada.

Apesar dos artigos Kim, Heragu, Graves e Onge (2003) e Khachatryan, McGinnis e Picker (2014) tratarem mecanismos com uso de robôs, eles apresentam maior semelhança com sistemas automatizados que nas tecnologias aqui apresentadas como sistema robótico. Por isso são descritos e categorizados nesse sistema. No caso do Kim *et al.* (2003), trabalha com um sistema denominado robô de pórtico. O armazém é todo automatizado e possui várias zonas



sequenciais e cada zona tem seu robô pórtrico. Os robôs colocam os itens em totens de forma organizada e posteriormente pega os itens de um pedido e os coloca em um buffer. O robô trabalha apenas com um item por vez, os autores indicaram que o problema é escolher a sequência ideal para esses robôs, sendo esse o objetivo do artigo que apresentou dois algoritmos para resolver o problema. Seu resultado mostra que o algoritmo baseado em *clustering* gera sequencias ideais e a operação flexível de seleção de buffer de gota tem uma redução no tempo de viagem do robô. Já Khachatryan *et al.* (2014) trabalharam com um sistema P2B em que os catadores colocam os itens dos produtos em buffers que quando é completado, um recipiente é trazido por um transportador que passa por baixo do buffer e recolhe o pedido. Esse sistema considera a variação do tempo de escolha e seu valor esperado, sendo esse o foco do artigo que desenvolveu novos modelos analíticos para estimar o tempo de escolha por item. Eles identificaram que o modelo analítico é aceitável quando o número de itens está dentro de 75% do número de buffers.

Os sistemas automatizados, apesar de terem uma quantidade relativamente grande de estudos, apresentam uma inflexibilidade, o que gera um desinteresse para as demandas atuais de armazém. Apesar dessa característica, os estudos desses sistemas podem ser interessantes para se obter *insights* para novos modelos de dispositivos.

#### 4. Apresentação e Análise dos Resultados Encontrados

Com a conclusão da pesquisa, foi possível constatar que o interesse pelos estudos relacionados às operações de coleta e separação de pedidos em armazéns tem crescido no meio científico. Essa atenção é devida ao fato de que a operação é um fator primordial dentro dos armazéns, que por sua vez tem recebido maior demanda de movimentação de itens, devido às vendas online e às mudanças provenientes da indústria 4.0. Como é possível observar na Figura 1, em 2020 foi produzida uma quantidade considerável de artigos, se comparado aos anos precedentes.

**Figura 1.** Artigos revisados classificados por ano



Entre os artigos estudados podemos perceber um crescimento em novas tecnologias e o interesse no estudo de tecnologias mais consolidadas como é o caso dos sistemas AS/RS. Assim



com os sistemas automatizados são os mais antigos, esse último apresentou uma redução de publicações com a abordagem. Já o CPS é o grupo mais recente, visto que os artigos que abordam o tema foram publicados entre 2020 e 2021. Os mecanismos mais abordados são aqueles que tratam de sistemas robóticos e AS/RS, conforme pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Categorização das tecnologias encontradas nos artigos analisados

Tecnologias	Quantidade de artigo
AGVs	15
AS/RS	22
CPS	2
<i>Pick and place</i>	4
Racks moveis	2
Robôs	21
Sistema automatizado	8
Tecnologia para Auxílio a coleta manual de pedido	19
Auxiliado por transportador	2

Fonte: Autores.

Através desse estudo foi possível identificar 8 categorias de mecanismos utilizados na coleta e separação de pedido. Mas o que pode ser notado é que nenhuma delas elimina por completo a presença de seres humanos na atividade. Quando se trata de mecanismos como robôs, AGVs e auxiliados por transportes e AS/RS temos a eliminação parcial ou total da viagem entre as estantes no armazém, mas é preciso seres humanos para fazer a separação dos itens. No entanto o *pick-by-place* é o mecanismo que menos requer a intervenção humana, mas que ainda necessita de estudos para obter autonomia dentro da atividade.

Foi possível perceber nesse estudo também que a atividade de coleta e separação de pedidos são desenvolvidas e configuradas através de vários fatores externos, como por exemplo *layout*, modelo de coleta adotado, quantidade e tamanho das SKUs, material a ser manipulado, fluxo de pedidos e perspectivas para o futuro. Entre os mecanismos estudados não foi encontrado um que seja universal e atenda a todas as configurações de armazéns e suas particularidades. Mostrando assim que é preciso fazer uma análise antes do tomador de decisão escolher qual mecanismo irá usar em seu armazém.

O mecanismo menos flexível entre os estudados nesse artigo é o dos sistemas automáticos. Pois possui rigidez em seu processo, e são desenvolvidos de forma personalizada para cada *layout* e armazém. Isso faz com que seja uma tecnologia não tão promissora para empresas que tem um planejamento de médio e/ou longo prazo para expansão ou empresas que alteram suas demandas constantemente, o que requer mudanças constantes de *layout*. Porém, esse tipo de mecanismo é interessante, pois ele é personalizado conforme a demanda atual da empresa. Os mecanismos AGVs, Robóticos e AS/RS se assemelham em sua característica de substituir a caminhada do operador através dos mecanismos. Porém, no caso dos AS/RS, existe uma estrutura estática, onde o armazém trabalha com um *layout* de nichos fixos, podendo trocar as mercadorias, mas não a estrutura. Já os AGVs e Robóticos não tem a necessidade de implementações complexas, podendo ter mudanças constantes no layout do armazém. No caso



dos mecanismos auxiliados por transporte, como são os casos das esteiras. São fixas, como os AS/RS. Porém, são mecanismos que têm a intenção de reduzir o percurso da mercadoria dentro do armazém. Esse tipo de mecanismo é interessante para ambientes grandes e que trabalham com mercadorias de médio a pequeno porte. Porém, assim como os AS/RS, mecanismos auxiliados por transporte possuem estrutura estática o que impede mudanças constantes no layout. Os racks móveis não tem como objetivo acelerar o processo ou substituir a atividade humana. Sua maior contribuição dentro do armazém é redução de espaço no layout. Essa característica pode ser útil em caso de pouco espaço, mas é preciso levar em consideração que em casos de uma grande demanda de pedidos menores e com prazos de coleta curtos, como ocorrem em centros de distribuição para vendas online, esse tipo de mecanismo pode gerar transtornos e atraso nas coletas.

Os CPS, assim como as Tecnologias para Auxílio a coleta manual de pedido, têm como objetivo facilitar a atividade humana dentro da coleta. Ambos podem ser configurados com diferentes tecnologias e diferentes configurações. A diferença entre eles é que o CPS, além do auxílio, proporciona informações das atividades a fim de transformá-las em dados, e pode também trabalhar junto com outros tipos de mecanismos como os auxiliados por transportes. Como nesses tipos de mecanismos ainda existem os trabalhadores tomando decisões no decorrer da atividade, a flexibilidade é maior.

Dentre todos esses mecanismos apresentados, o *Pick – and – place* tem um diferencial maior, pois sua estrutura e abordagem pode ser tanto configurada para fazer a coleta de pedido, como também pode ser usada na separação de itens, o que não é o foco dos demais mecanismos. Outra característica desse mecanismo é que ele deve estar junto a outros mecanismos como robôs, AGVS e transportes.

## 5. Aplicações Práticas

Através dessa pesquisa foi possível perceber que existem variáveis interligadas que precisam ser levadas em consideração, tanto para a escolha do mecanismo a ser implementado como para sua implantação. Os pontos aqui levantados levam em consideração que os armazéns já estão em funcionamento e se espera melhorias para o desenvolvimento da atividade, mas isso não inviabiliza o uso dessa análise para a construção de um armazém que ainda não está em funcionamento. Por questões didáticas, foram separados os critérios em 4 tópicos, porém todos estão interligados entre si e a análise deve considerar todo o conjunto. Nesse sentido, as seções 5.1 a 5.4 não são diferenciadas quanto a sua importância ou uma sequência para análise.

### 5.1 Modelo de operação

Não é de costume que mudanças radicais aconteçam em processos já consolidados. Por isso, é preciso levar em consideração se a empresa que receberá o mecanismo está disposta a mudar o modelo de operação já estruturado. Caso a resposta seja positiva, então o tomador de decisão precisará analisar qual melhor modelo se adequa com a realidade da empresa. Caso a empresa não esteja disposta a mudar o modelo, é preciso verificar entre os mecanismos existentes qual deles trabalha com o modelo já utilizado.



Para esse artigo foram separados os dispositivos entre dois modelos: o primeiro é quando o mecanismo traz o equipamento para o operador fazer a separação, se enquadrando na denominação usada na literatura como *Part-to-picker*; no segundo modelo os operadores geram tanto a atividade de coleta como a atividade de separação. Nesse segundo modelo é possível ver configurações diferentes, como, por exemplo, quando um operador coleta e envia através de um mecanismo para o operador que separa, como pode ter também operador que faz a separação no decorrer da coleta.

Os mecanismos que podem ser trabalhados no modelo de *part-to-icker*. Onde demos uma configuração em que os produtos vão até o operador que fará a separação dos itens. Nesse trabalho estão presentes nas classificações: AGVs, AS/RS e Robos. Os auxiliados por transporte podem entrar nessa categoria caso estejam configurados com outro mecanismo que faça essa coleta sem o uso de seres humanos, como, por exemplo, as esteiras que está categoria auxiliado por transporte e *pick and place*. Onde o *pick and place* tem como função retirar os itens do rack e colocar na esteira para ser enviado para a separação dos itens.

Os mecanismos classificados como Tecnologia para Auxílio à coleta manual de pedido, racks móveis, CPS e por transporte (caso a finalidade é apenas agilizar a entrega dos itens apresentados pelo coletador e o separador de itens) se enquadram no segundo modelo. Dentro desse modelo é preciso observar como se pretende trabalhar, pois em casos em que se tem uma separação entre as atividades de coleta e separação de pedidos, os mecanismos classificados como auxílio à coleta manual de pedidos podem não apresentar um bom desempenho.

## 5.2 Layout

Ao analisar o layout, é preciso verificar o tamanho disponível no centro de distribuição, quando se dimensiona o tamanho não se pode analisar apenas o metro quadrado do ambiente, mas sim o metro quadrado comparado com a quantidade de SKUs. Para mecanismos como Robôs e AGVs é importante trabalhar com espaço para que a movimentação seja mais fluida. No caso do auxílio por transporte é preciso pensar se existe espaço suficiente para manutenção dos transportadores, e para locomoção de operadores, caso seja preciso. Já os Racks móveis têm como principal função permitir que seja possível o uso de espaços pequenos para o maior número de SKUs. Os AS/RS também podem ser uma opção nesses casos de pouca disponibilidade de espaço.

Outro fator de layout importante a ser visto e analisado é a estrutura dos racks utilizados, pois no caso dos AGVs e alguns mecanismos robóticos, é preciso de racks flexíveis que possam ser movimentados entre o ambiente, não podendo ser grandes e pesados. Os demais mecanismos normalmente são utilizados em layouts fixos. Para a tecnologia de auxílio à coleta manual o ideal são racks fixos e que tenham um layout bem definido. Para mecanismos como auxiliado por transporte também é interessante trabalhar com um layout estático. Já os racks móveis apesar de moverem para gerar um corredor entre eles e assim o operador fazer a coleta, esses racks já são ajustados no layout determinado no momento da instalação.

No caso de mecanismos como tecnologia para Auxílio a coleta manual de pedido e CPS. Os layouts ao serem alterados devem ser alterados também no sistema afim de facilitar aos operadores identificar com mais rapidez e evitar erros. Pois quando um operador se adapta com



um layout, e ele é alterado é possível perceber um aumento no tempo da atividade e um aumento no erro cometido.

#### 5.4 SKU

Como apresentado no tópico de layout a quantidade de SKU a ser trabalhada precisa ser levada em consideração para identificar como o layout será configurado. Mas outro fator importante é qual a estrutura desses SKUs, por exemplo caso a empresa trabalhe com itens pesados e grandes, um mecanismo de AGV como apresentado pela empresa Amazon e mecanismos de robôs não serão uma boa opção. Para mecanismos como tecnologia auxiliada para coletas manuais de pedidos e os CPS que trabalham diretamente com operadores devem ponderar esses SKUs, pois podem gerar uma dificuldade da coleta e gerar uma redução no tempo da atividade, embora já existam hoje esqueletos mecânicos usados para fazer com que seres humanos possam segurar itens pesados. Em casos de itens grandes e mais pesados os mecanismos como AS/RS auxiliado por transporte apresentam uma melhor adequação.

Outro fator importante a ser levado em consideração é o perfil de pedidos recebidos e a quantidade média de pedidos trabalhada. Por exemplo em casos como o de e-comercie em que temos um fluxo grande de pedidos chegando e o perfil dos pedidos é variedade de itens, porém em quantidades pequenas, dessa forma os racks móveis podem gerar um atraso na demanda. Já o trabalho de tecnologias auxiliadas para coleta manual de pedidos, CPS, Robôs e AGVs podem ser mais efetivas nesse tipo de demanda. Tecnologias com AS/RS, auxiliada por transporte podem apresentar um bom desempenho também em coletas por lote.

#### 5.5 Implementação

Outro ponto a ser levado em consideração é a disponibilidade de implementação do mecanismo. É preciso saber se a implementação vai ser gradual ou vai ser completa, quais modificações serão feitas e como isso pode afetar a estrutura atual tanto do processo como da estrutura física do ambiente. É preciso levar em consideração também que todo mecanismo tecnológico ao ser implementado leva um tempo de adaptação, tanto em relação à estrutura física como em relação ao sistema. Sistemas como AGVs, robôs, CPS, tecnologia para auxílio na coleta e separação de pedido requerem uma implementação de informações com software para identificar os SKUs do centro de distribuição, assim como informar seu endereço. Nesses casos a implementação pode acontecer em etapas, fazendo a adequação do software primeiro antes de iniciar a implementação da parte física do mecanismo. No caso de mecanismos como AGVs e AS/RS é importante analisar com antecedência qual tipo de algoritmo é o mais adequado para o processo. Agora em todos os mecanismos aqui apresentados, o layout de armazenamento tanto do racks como dos SKUs precisam ser levados em consideração a fim de que o mecanismo possa apresentar uma maior eficiência.

#### 6. Conclusão e Pesquisas Futuras

Com o número crescente das vendas online, as atividades nos armazéns têm recebido maior atenção, uma das atividades principais é a coleta de pedido. Por isso o interesse em tecnologias para atender a essa demanda. Ao tratar de coleta de pedidos essas tecnologias contam com dispositivos capazes de realizar a coleta ou auxiliar a coleta feita por catadores humanos. Esse



artigo apresentou através de uma revisão bibliográfica alguns desses Mecanismos, bem como os assuntos tratados na literatura sobre eles. Isso contribui para que pesquisadores possam identificar os pontos estudados sobre os dispositivos e compreender lacunas que possam ser tratadas em futuras pesquisas. Auxilia projetistas a identificar pontos críticos a serem melhorados ou até mesmo, desenvolver novos mecanismos. Os profissionais de armazéns podem ter melhor entendimento dos dispositivos na escolha para implementação de sistemas tecnológicos na coleta de pedidos. Concluindo que existem vários fatores dentro dos armazéns que precisam ser considerados para a escolha do mecanismo a ser implementado.

É importante ressaltar que novas tecnologias têm surgido no contexto da indústria 4.0, e muitas delas podem ser trabalhadas dentro do contexto da coleta de pedidos, permitindo maior flexibilidade. Verificou-se que são poucos os estudos que utilizam dessas tecnologias sozinhas ou em conjunto com outras, podendo assim ser explorado e comparado às tecnologias existentes da indústria 4.0 e as utilizadas na coleta e escolha de pedidos dentro do armazém.

Os dispositivos aqui apresentados foram retirados de artigos de revistas. Não foram considerados outros materiais como artigos de conferência, livros e trabalhos acadêmicos, podem ter ficado de fora dessa análise, outros mecanismos existentes na literatura. É importante ressaltar que esse artigo tem como intenção identificar os Mecanismos existentes, por isso o aprofundamento em cada sistema não foi realizado.

Na sessão 3 onde são apresentadas as tecnologias, foram sugeridas algumas pesquisas futuras específicas das categorias. Abaixo são descritas algumas outras sugestões mais abrangentes:

- Realizar estudo que compare as tecnologias entre si, assim como Bozer e Francisco 2018 realizaram com as tecnologias de AGV e AS/RS de mini carregamento. Dessa forma, identificar quais os dispositivos são mais adequados para determinados formatos de armazéns ou centros de distribuição.
- Analisar como os dispositivos se comportam em um ambiente real e assim identificar melhorias para o dispositivo.

### Referências bibliográficas

Andriansyah, R., Etman, L.F.P., Adan, J. B. F., & Rooda, J. E. (2014). Design and Analysis of an Automated Order-Picking Workstation. *Journal of Simulation*, 8(2), 151-163. <https://doi.org/10.1057/jos.2013.24>.

Andriolo, A., Battini, D., Calzavara, M., Gamberi, M., Peretti, U., Persona A. Pilati, F., & Sgarbossa, F. (2016). New RFID pick-to-light system: Operating characteristics and future potential. *International Journal of RF Technologies*, 7(1), 43–63. <https://doi.org/10.3233/RFT-150071>.

Armstrong, R. D., Cook, W. D., & Saipe, A. L. (1979). Optimal Batching in a Semi-Automated Order Picking System. *Journal of the Operational Research Society*, 30(8), 711-720. <https://doi.org/10.1057/jors.1979.173>.

Atchade-Adelomou, P. Alonso-Linaje, G. Albo-Canals, J. & Casado-Fauli, D. (2021). QRobot: A Quantum Computing Approach in Mobile Robot Order Picking and Batching Problem Solver Optimization. *Algorithms*, 14 (7), 194. <https://doi.org/10.3390/a14070194>.



- Atmaca, E., & Ozturk, A. (2013). Defining Order Picking Policy: A Storage Assignment Model and a Simulated Annealing Solution in AS/RS Systems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5069-5079. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.057>.
- Bansal, V., Roy, D., & Pazour, J. A. (2021). Performance Analysis of Batching Decisions in Waveless Order Release Environments for E-commerce Stock-to-picker Order Fulfillment. *International Transactions in Operational Research*, 28(4), 1787-1820. <https://doi.org/10.1111/itor.12921>.
- Battini D, Calzavara M, Persona A, & Sgarbossa F. (2017) A comparative analysis of different paperless picking systems. *Industrial Management & Data Systems*, 115(3), 483–503. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0314>.
- Beinschob, P., Meyer, M., Reinke, C., Digani, V., Secchi, C., & Sabattini, L. (2017). Semi-Automated Map Creation for Fast Deployment of AGV Fleets in Modern Logistics. *Robotics and Autonomous Systems*, 87, 281–295. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.10.018>.
- Bolu, A. & Korcak, O. (2021). Adaptive Task Planning for Multi-Robot Smart Warehouse. *IEEE Access*, 9, 27346-27358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058190>.
- Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M., & Pilati F. (2017). Time and Energy Optimal Unit-Load Assignment for Automatic S/R Warehouses. *International Journal of Production Economics*, 190, 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.024>.
- Boysen, N., Fedtke, S., & Weidinger, F. (2018). Optimizing Automated Sorting in Warehouses: The Minimum Order Spread Sequencing Problem. *European Journal of Operational Research*, 270(1), 386–400. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.03.026>.
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2017A). Parts-to-Picker Based Order Processing in a Rack-Moving Mobile Robots Environment. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 550-562. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.053>.
- Boysen, N., Fübler, D., & Stephan K. (2020). See the Light: Optimization of Put-to-light Order Picking Systems. *Naval Research Logistics* (NRL), 67 (1), 3–20. <https://doi.org/10.1002/nav.21883>.
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2017B). Sequencing of Picking Orders in Mobile Rack Warehouses. *European Journal of Operational Research*, 259(1), 293–307. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.046>.
- Bozer, Y. A., & Aldarondo, F.J. (2018). A Simulation-Based Comparison of Two Goods-to-Person Order Picking Systems in an Online Retail Setting. *International Journal of Production Research*, 56 (11), 3838–3858. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424364>.
- Cai, J., Li, X., Liang, Y., & Ouyang, S. (2021). Collaborative Optimization of Storage Location Assignment and Path Planning in Robotic Mobile Fulfillment Systems. *Sustainability*, 13(10), 5644. <https://doi.org/10.3390/su13105644>.
- Calzavara, M., Sgarbossa, F., & Persona, A. (2019). Vertical Lift Modules for Small Items Order Picking: An Economic Evaluation. *International Journal of Production Economics*, 210, 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.012>.
- Cao, W., Jiang, P., Liu, B., & Jiang, K. (2018). Real-Time Order Scheduling and Execution Monitoring in Public Warehouses Based on Radio Frequency Identification. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5), 2473-2494. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1381-z>.



- Chang, D. T., Wen, U. P., & Lin, J. T. (1993). Picking Strategies to the Two-carousel-single-server System in an Automated Warehouse. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 16(6), 817-824. <https://doi.org/10.1080/02533839.1993.9677556>.
- Choy, K. L., Ho, G. T. S., & Lee, C. K. H. (2017). A RFID-Based Storage Assignment System for Enhancing the Efficiency of Order Picking. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(1), 111–129. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0965-9>.
- Correll, N., Bekris, K. E., Berenson, D., Brock, O., Causo, A., Hauser, K., Okada, k., Rodriguez, A., Romano, J. R., & Wurman, P. R. (2018). Analysis and observations from the first amazon picking challenge. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(1), 172-188. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2600527>.
- Custodio, L., & Machado, R. (2020). Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106 (1), 533–558. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>.
- D’Avella, S., Tripicchio, P., & Avizzano, C. A. (2020). A Study on Picking Objects in Cluttered Environments: Exploiting Depth Features for a Custom Low-Cost Universal Jamming Gripper. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101888. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101888>.
- D’Souza, F., Costa, J., & Pires, J. N. (2020). Development of a solution for adding a collaborative robot to an industrial AGV. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 47(5), 723-735. <https://doi.org/10.1108/IR-01-2020-0004>.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007) Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>.
- De Vries, J., De Koste, R., & Stam D. (2016). Exploring the Role of Picker Personality in Predicting Picking Performance with Pick by Voice, Pick to Light and RF-Terminal Picking. *International Journal of Production Research*, 54(8), 2260–2274. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1064184>.
- Department of Financial and Management Engineering, School of Engineering, University of the Aegean, Chios, Greece, (2020). Testing vision picking technology in warehouse operations: Evidence from laboratory experiments. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(1), 19–30. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-1-249>.
- Dukic, G., Opetuk, T., Lerher, T. (2015). A throughput model for a dual-tray Vertical lift Module with a human order picker. *International Journal of Production Economics*, 170, 874-881. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.04.009>.
- Elsayed, E. A., & Stern, R.G. (1983). Computerized Algorithms for Order Processing in Automated Warehousing Systems. *International Journal of Production Research*, 21(4), 579–586. <https://doi.org/10.1080/00207548308942392>.
- Fager, P., Sgarbossa, F., & Calzavara, M. (2021). Cost Modelling of Onboard Cobot-Supported Item Sorting in a Picking System. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3269-3284. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1854484>.
- Fang, W., & An, Z. (2020). A Scalable Wearable AR System for Manual Order Picking Based on Warehouse Floor-Related Navigation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109(7), 2023-2037. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05771-3>.



- Fontin, J. R., & Lin, S. W. (2020). A Joint Comparative Analysis of Routing Heuristics and Paperless Picking Technologies Using Simulation and Data Envelopment Analysis. *Applied Sciences*, 10(24), 8777. <https://doi.org/10.3390/app10248777>.
- Foroughi, A., Boysen, N., Emde, S., & Schneider M. (2021). High-Density Storage with Mobile Racks: Picker Routing and Product Location. *Journal of the Operational Research Society*, 72(3), 535-553. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1700180>.
- Füchtenhans, M., Grosse E. H., & Glock C. H. (2021). Smart Lighting Systems: State-of-the-Art and Potential Applications in Warehouse Order Picking. *International Journal of Production Research*, 59 (12), 3817–3839. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897177>.
- Gajšek, B., Đukić, G., Butlewski, M., Opetuk, T., Cajner, H., & Kač, S.M. (2020). The Impact of the Applied Technology on Health and Productivity in Manual ‘Picker-to-Part’ Systems. *Work*, 65(3), 525–536. <https://doi.org/10.3233/WOR-203107>.
- Gong, Y. Jin, M., & Yuan Z. (2021). Robotic Mobile Fulfilment Systems Considering Customer Classes. *International Journal of Production Research*, 59(16), 5032-5049. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1779370>.
- Guo, A., Wu, X., Shen, Z., Starner, T., Baumann, H., & Gililand, S. (2015). Order Picking with Head-Up Displays. *Computer*, 48(6), 16–24. <https://doi.org/10.1109/MC.2015.166>.
- Habazin, J., Gasnovic, A., & Bajor I. (2017). Order Picking Process in Warehouse: Case Study of Dairy Industry in Croatia. *Promet - Traffic&Transportation*, 29(1), 57–65. <https://doi.org/10.7307/ptt.v29i1.2106>.
- Hanson, R., Falkenström, W., & Miettinen, M. (2017). Augmented Reality as a Means of Conveying Picking Information in Kit Preparation for Mixed-Model Assembly. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 570-575. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.048>.
- He, Z., Aggarwal, V., & Nof, S. Y. (2018). Differentiated Service Policy in Smart Warehouse Automation. *International Journal of Production Research*, 56(22), 6956-6970. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421789>.
- Hou, J. L., Wu, N., & Wu, Y. J. (2009). A Job Assignment Model for Conveyor-Aided Picking System. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1254-1264. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.07.017>.
- Hwang, H., Baek, W. J., & Lee, M. K. (1988). Clustering Algorithms for Order Picking in an Automated Storage and Retrieval System. *International Journal of Production Research*, 26(2), 189–201. <https://doi.org/10.1080/00207548808947853>.
- Jaghbeer, Y., Hanson, R., Johansson, M. I. (2020). Automated Order Picking Systems and the Links between Design and Performance: A Systematic Literature Review. *International Journal of Production Research*, 58 (15), 4489–4505. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788734>.
- Jerman, B., Ekren, B.Y., Küxükyasar, M., & Lerher, T. (2021). Simulation-Based Performance Analysis for a Novel AVS/RS Technology with Movable Lifts. *Applied Sciences*, 11(5), 22-83. [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com), <https://doi.org/10.3390/app11052283>.
- Jiang, H. (2020). Solving Multi-Robot Picking Problem in Warehouses: A Simulation Approach. *International Journal of Simulation Modelling*, 19 (4), 701-712. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM19-4-CO19>.
- Jiang, Z. Z., Wan, M., Pei, Z., & Qin, X. (2021). Spatial and Temporal Optimization for Smart Warehouses with Fast Turnover. *Computers & Operations Research*, 125, 105091. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105091>.



- Kaipa, K. N., Kankanhalli-nagendra, A. S., Kumbla, N. B., Shriyam, S., Thevendria-karthic, S., Mavel, J. A., Gupta, S. K., Addressing Perception Uncertainty Induced Failure Modes in Robotic Bin-Picking. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 42, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.05.002>.
- Keung, K. L., Lee, C. K. M., Ji, P., & Ng, K. K. H. (2020). Cloud-Based Cyber-Physical Robotic Mobile Fulfillment Systems: A Case Study of Collision Avoidance. *IEEE Access*, 8, 89318-89336. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992475>.
- Khachatryan, M., & McGinnis, L. F. (2014). Picker Travel Time Model for an Order Picking System with Buffers. *IIE Transactions*, 46(9), 894–904. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2013.823001>.
- Khojasteh, Y., & Son, J. D. (2016). A Travel Time Model for Order Picking Systems in Automated Warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5), 2219-2229. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8340-y>.
- Kim, B. I., Heragu, S. S., Graves, R. J., & Onge, A. S. (2003). Clustering-Based Order-Picking Sequence Algorithm for an Automated Warehouse. *International Journal of Production Research*, 41(15), 3445-3460. <https://doi.org/10.1080/0020754031000120005>.
- Kim, H. J., Pais, C., & Shen, Z. J. M. (2020). Item Assignment Problem in a Robotic Mobile Fulfillment System. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(4), 1854-1867. <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.2979897>.
- Kim, Y., & Hong, S (2020). Two Picker Cooperation Strategies for Zone Picking Systems with PTL Technology. *IEEE Access*, 8, 106059-106070. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2999342>.
- Kong, X. T. R., Yang, X., Peng, K. L., & Li, C. Z. (2020). Cyber Physical System-Enabled Synchronization Mechanism for Pick-and-Sort Ecommerce Order Fulfilment. *Computers in Industry*, 118, 103-220. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103220>.
- Krug, R., Stoyanov, T., Tincani, V., Andreasso, H., Mosberger, R., Fantoni, G., & Lilienthal, A. (2016). The Next Step in Robot Commissioning: Autonomous Picking and Palletizing. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1 (1), 546-553. <https://doi.org/10.1109/LRA.2016.2519944>.
- Kudelska, I., & Niedbał, R. (2020) Technological and Organizational Innovation in Warehousing Process – Research over Workload of Staff and Efficiency of Picking Stations. *E+M Ekonomie a Management*, 23 (3), 67–81. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2020-3-005>.
- Lamballais, T., Roy, D., & De Koster, R. B. M. (2020). Inventory Allocation in Robotic Mobile Fulfillment Systems. *IIE Transactions*, 52(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1560517>.
- Lamballais, T., Roy, D., & De Koster R. B. M. (2017). Estimating Performance in a Robotic Mobile Fulfillment System. *European Journal of Operational Research*, 256(3), 976-990. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.063>.
- Latif, U. K., & Shin, S. Y. (2020). OP-MR: The Implementation of Order Picking Based on Mixed Reality in a Smart Warehouse. *The Visual Computer*, 36(7), 1491-1500. <https://doi.org/10.1007/s00371-019-01745-z>.
- Lee, H. Y., & Murray, C. C. (2019). Robotics in Order Picking: Evaluating Warehouse Layouts for Pick, Place, and Transport Vehicle Routing Systems. *International Journal of Production Research*, 57(18), 5821-4841. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1552031>.
- Lee, J. A., Chang, Y. S., & Karwowski, W. (2020). Assessment of working postures and physical loading in advanced order picking tasks: A case study of human interaction with



automated warehouse goods-to-picker systems. *Work*, 67(4), 855-866. <https://doi.org/10.3233/WOR-203337>.

Lee, S. D., & Kuo Y.C. (2008) Exact and Inexact Solution Procedures for the Order Picking in an Automated Carousel Conveyor. *International Journal of Production Research*, 46 (16), 4619–4636. <https://doi.org/10.1080/00207540601166990>.

Liu, D. Zhao X, Wang Y. (2019). Items Assignment Optimization for Complex Automated Picking Systems. *Cluster Computing*, 22 (3). Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1529-5>.

Liu, D. Mou, S. Wu, Y. Shan, G. (2015). Research on Hybrid Picking Strategy in an Automated Order Picking System. *International Journal of Control and Automation*, 8 (8). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.14257/ijca.2015.8.8.12>.

Liu, J. E. Zhang, S. Liu, H. (2019). Research on AGV Path Planning under ‘Parts-to-Picker’ Mode. *Open Journal of Social Sciences*, 07 (6), 1–14. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.4236/jss.2019.76001>.

Marchet G, Melacini M, Perotti S. (2015) Investigating Order Picking System Adoption: A Case-Study-Based Approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18 (1), 82–98. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/13675567.2014.945400>.

Mnyusiwalla, H. Triantafyllou, P. Sotiropoulos, P. Roa, M.A. Fried, W. Sundaram, A.M. Russell, D. Deacon, G. (2020). A Bin-Picking Benchmark for Systematic Evaluation of Robotic Pick-and-Place Systems. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5 (2). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2965076>.

Nicolas, L. Yannick, F. Ramzi. H. (2018). Order Batching in an Automated Warehouse with Several Vertical Lift Modules: Optimization and Experiments with Real Data. *European Journal of Operational Research*, 267 (3). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.037>.

Park, B. C. Frazelle, E. H. White, J. A. (1999). Buffer sizing models for end-of-aisle order picking systems. *IIE Transactions*, 31 (1). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1023/A:1007520600713>.

Polten, L, & Emde, S. (2021). Scheduling Automated Guided Vehicles in Very Narrow Aisle Warehouses. *Omega*, 99. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102204>.

Poon, T.C. Choy, K.L. Chow, H.K.H. Lau, H.C.W. Chan, F.T.S. Ho, K.C. (2009). A RFID Case-Based Logistics Resource Management System for Managing Order-Picking Operations in Warehouses. *Expert Systems with Applications*, 36 (4). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.011>.

Rajotia, S. Shanker, K. Batra, J. L. (1998). Determination of Optimal AGV Fleet Size for an FMS. *International Journal of Production Research*, 36 (5). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/002075498193273>.

Ramtin, F. & Pazour, J. A. (2014). Analytical models for an automated storage and retrieval system with multiple in-the-aisle pick positions. *IIE Transactions*, 46 (9). <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.882037>.

Ramtin, F. & Pazour, J. A. (2015). Product Allocation Problem for an AS/RS with Multiple in-the-Aisle Pick Positions. *IIE Transactions*, 47 (12). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/0740817X.2015.1027458>.



- Reif, R. Günthner, W. A. Schwerdtfeger, B. Klinker, G. (2010). Evaluation of an Augmented Reality Supported Picking System Under Practical Conditions. *Computer Graphics Forum*, 29 (1), 2–12. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01538.x>.
- Reif, R. & Günthener, W. A. (2009). Pick-by-Vision: Augmented Reality Supported Order Picking. *The Visual Computer*, 25 (5). Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0348-y>.
- Roodbergen, K. J. & Vis, I. F. A. (2009). A Survey of Literature on Automated Storage and Retrieval Systems. *European Journal of Operational Research*, 194 (2). DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>.
- Roy, D. Nigam, S. De koster, R. Adan, I. Resing J. (2019). Robot-Storage Zone Assignment Strategies in Mobile Fulfillment Systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.11.005>.
- Schwerdtfeger, B. Reif, R. Günthner, W. A. Klinker, G. (2011). Pick-by-Vision: There Is Something to Pick at the End of the Augmented Tunnel. *Virtual Reality*, 15 (2). Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s10055-011-0187-9>.
- Sgarbossa, F. Calzavara, M. Persona, A. (2019). Throughput models for a dual-bay VLM order picking system under different configurations. *Industrial Management & Data Systems*, 119 (6). <https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2018-0518>.
- Tang, H., Cheng, X., Jiang, W., & Chen, S. (2021). Research on Equipment Configuration Optimization of AGV Unmanned Warehouse. *IEEE Access*, 9, 47946-47959. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066622>.
- Tappia, E., Roy, D., Melacini, M., & De koster, R. (2019). Integrated Storage-Order Picking Systems: Technology, Performance Models, and Design Insights. *European Journal of Operational Research*, 274(3) 947–965. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.048>.
- Tu, M., Yang, M. F., Kao, S. L., Lin, F. C., Wu M. H., & Lin, C. K. (2021). Using a Heuristic Multi-Objective Genetic Algorithm to Solve the Storage Assignment Problem for CPS-Based Pick-and-Pass System. *Enterprise Information Systems*, 15 (9), 1238-1259. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1811388>.
- Valle, C. A., & Beasley, J. E. (2021). Order Allocation, Rack Allocation and Rack Sequencing for Pickers in a Mobile Rack Environment. *Computers & Operations Research*, 125, 105090. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105090>.
- Venkatasubramony, R., & Adil, G. K. (2017). Design of an Order-Picking Warehouse Factoring Vertical Travel and Space Sharing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5), 1921–1934. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9879-3>.
- Wang, Y., Shandong, M., & Changpeng, S. (2014). Selecting between Pick-and-sort System and Carousel System Based on Order Clustering and Genetic Algorithm. *International Journal of Control and Automation*, 7 (3), 89–102. <https://doi.org/10.14257/ijca.2014.7.4.09>.
- Wang, Z., Sheu, J. B., Teo, C. P., & Xue, G. (2021). Robot Scheduling for Mobile-Rack Warehouses: Human–Robot Coordinated Order Picking Systems. *Production and Operations Management*. 31(1), 98-116. <https://doi.org/10.1111/poms.13406>.
- Weidinger, F., Boysen, N., & Briskorn, D. (2018). Storage Assignment with Rack-Moving Mobile Robots in KIVA Warehouses. *Transportation Science*, 52(6), 1479-1495. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0826>.



- Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Morana S. (2021) Towards a Conceptualisation of Order Picking 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107511. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107511>.
- Wu, S., Chi, C., Wang, W., & Wu, Y. (2020). Research of the Layout Optimization in Robotic Mobile Fulfillment Systems. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(6). <https://doi.org/10.1177/1729881420978543>.
- Wu, Y. & Wu, Y. (2014). Taboo Search Algorithm for Item Assignment in Synchronized Zone Automated Order Picking System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 27(4), 860-866. <https://doi.org/10.3901/CJME.2014.0430.084>.
- Wu, Y., Zhou, C., Wu, Y., & Kong, X. T. R. (2017). Zone Merge Sequencing in an Automated Order Picking System. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6500-6515. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1264641>.
- Xie, L., Thieme, N., Krenzler, R., & Li, H. (2021). Introducing Split Orders and Optimizing Operational Policies in Robotic Mobile Fulfillment Systems. *European Journal of Operational Research*, 288(1), 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.032>.
- Xing, L., Liu, Y., Li, H., Wu, C. C., & Lin, W. C., & Chen, X. (2020). A Novel Tabu Search Algorithm for Multi-AGV Routing Problem. *Mathematics*, 8(2), 279. <https://doi.org/10.3390/math8020279>.
- Yang, D., Wu, Y., & Huo D, (2021). Research on Design of Cross-Aisles Shuttle-Based Storage/Retrieval System Based on Improved Particle Swarm Optimization. *IEEE Access*, 9, 67786-67796. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077974>.
- Yoshitake, H., Kamoshida, R., & Nagashima, Y. (2019). New Automated Guided Vehicle System Using Real-Time Holonic Scheduling for Warehouse Picking. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 1045-1052. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2894001>.
- Yuan, Z. & Gong, Y. Y. (2017). Bot-In-Time Delivery for Robotic Mobile Fulfillment Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(1), 83–93. <https://doi.org/10.1109/TEM.2016.2634540>.
- Zhuang, Z., Huang, Z., Sun, Y., & Qin, W. (2021). Optimization for Cooperative Task Planning of Heterogeneous Multi-Robot Systems in an Order Picking Warehouse. *Engineering Optimization*, 53(10), 1715-1732. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2020.1821198>.
- Zou, B., Gong, Y., Xu, X., & Yuan. Z. (2017). Assignment rules in robotic mobile fulfillment systems for online retailers. *International Journal of Production Research*, 55(20), 6175-6192. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1331050>.
- Zou, B. Xu, X., Gong, Y., & De koster, R. (2018). Evaluating Battery Charging and Swapping Strategies in a Robotic Mobile Fulfillment System. *European Journal of Operational Research*, 267(2), 733-753. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.008>
- Xue, F., Tang, H., Su, Q., & Li, T. (2019). Task Allocation of Intelligent Warehouse Picking System based on Multi-robot Coalition. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 13(7), 3566-3582.

