

Application of Simulation Technology in Warehousing: An overview

Luciano Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo (IFSP)
(E-mail: b.luciano@aluno.ifsp.edu.br).

Abstract: Simulation is one of the base technologies of Industry 4.0 widely used for planning and making decisions that need to be made faster and with the use of different technologies to obtain increasingly complex data in this process. This article presents an overview of how simulation has been applied in logistics through a systematic review, focusing on storage, with simulation being used in several areas of storage and obtaining satisfactory results.

Keywords: Simulation, Industry 4.0, Warehouse, Logistics

1. Introdução

A Indústria 4.0 (I4.0), ou seja, a Quarta Revolução Industrial é uma estratégia que visa fortalecer a competitividade das empresas através da integração e tecnologias operacionais com tecnologias da informação (de Paula Ferreira, 2020, 2021, 2021b, 2022, Marques et al, 2021). A partir do grupo de trabalho da Indústria 4.0, “levará para o surgimento de valor dinâmico, otimizado em tempo real e auto-organizado cadeias que podem ser otimizadas com base em critérios como custo, disponibilidade, e consumo de recursos” (Kagermann et al., 2013, p. 20). Este artigo tem como objetivo apresentar uma visão geral de como a simulação tem sido aplicada na logística por meio de uma revisão sistemática, com um foco na armazenagem.

2. Metodologia

Este artigo adota a metodologia PRISMA descrita em Moher et al., (2009), consistindo em 27 itens de uma lista de verificação e um diagrama de fluxo. A Tabela 1 apresenta o protocolo de busca adotado.

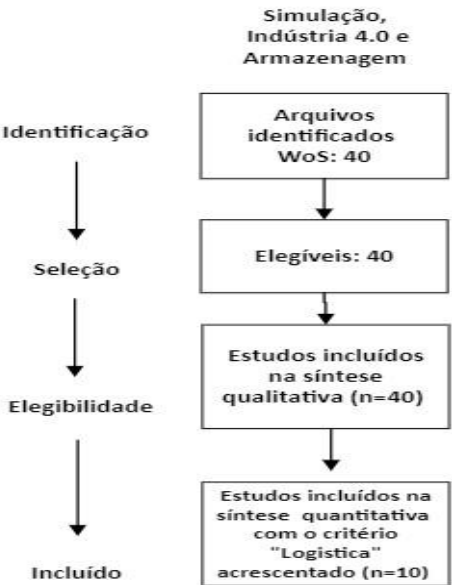


Figura 1: Diagrama de fluxo de revisão sistemática.

Tabela 1 - Protocolo de pesquisa

Fonte de dados:	Web of Science
String de pesquisa:	“Simulation” AND “Industry 4.0” AND “Warehouse” AND “Logistics”
Campos de pesquisa:	All Fields
Período:	De 2011 até 10/05/2022
Linguagem:	Inglês
Documentos:	Artigos

3. Análise Quantitativa

O tamanho da amostra é composto por 40 artigos de periódicos, usados para análise quantitativa e qualitativa. A Figura 1 exibe a distribuição dessas publicações ao longo do tempo, mostrando uma tendência crescente no número de publicações científicas nas áreas de I4.0 e simulação.

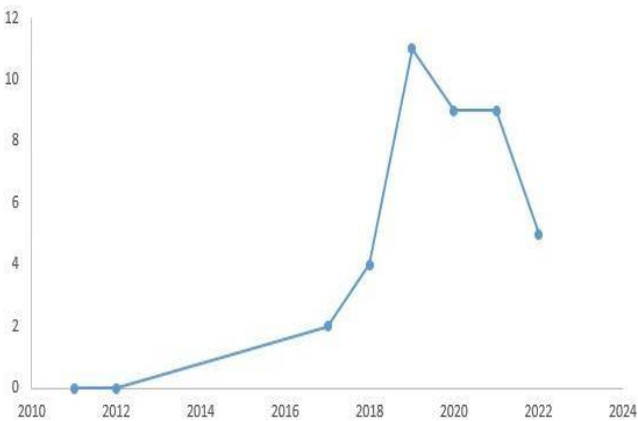


Figura 2: Número de publicações por ano.

A distribuição geográfica das publicações analisadas é apresentada na Figura 2. Foram considerados os 29 países que realizaram todas as publicações onde a Itália foi o país com mais publicações (7 no total) e seguida de Portugal (4 no total).

O Brasil teve apenas uma publicação realizada até o momento.

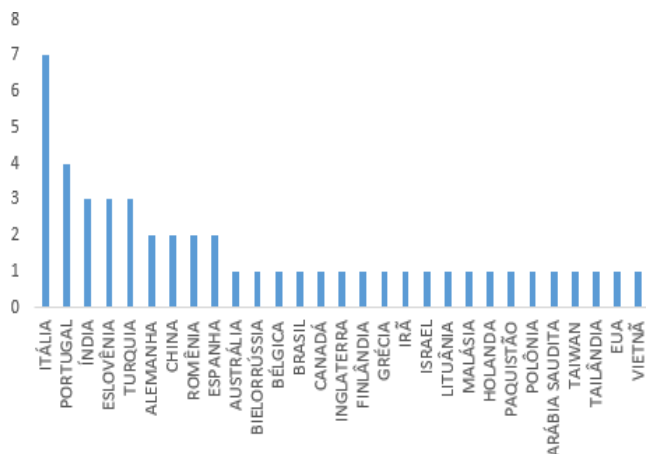


Figure 3: Distribuição geográfica das publicações.

A tabela 2 mostra as categorias do Web of Science de acordo com a área de publicação dos artigos e podemos analisar que a engenharia elétrica-eletrônica foram registados 10 artigos. A figura 4 mostra as palavras-chaves mais utilizadas pelos autores das fontes coletadas para essa pesquisa utilizando o software VosViewer®.

Tabela 2 - Publicações por áreas de pesquisas

Categorias da Web of Science	Registros	% de 40
Engenharia Elétrica Eletrônica	10	25.000
Engenharia Industrial	7	17.500
Métodos da Teoria da Ciência da Computação	6	15.000
Sistemas de Controle de Automação	5	12.500
Ciência da Computação Inteligência Artificial	5	12.500
Sistemas de Informação de Ciência da Computação	5	12.500
Engenharia Multidisciplinar	5	12.500
Gestão	5	12.500
Física Aplicada	5	12.500
Química Multidisciplinar	4	10.000
Engenharia de Manufatura	4	10.000
Ciências Ambientais	4	10.000
Tecnologia Científica Verde Sustentável	4	10.000
Ciência dos Materiais Multidisciplinar	4	10.000
Telecomunicações	4	10.000
Arquitetura de Hardware de Ciência da Computação	3	7.500
Aplicações Interdisciplinares de Ciência da Computação	3	7.500
Estudos Ambientais	3	7.500
Engenharia de Software de Ciência da Computação	2	5.000
Ciência de Gerenciamento de Pesquisa Operacional	2	5.000
Robótica	2	5.000
Ciência da Computação Cibernética	1	2.500
Educação Pesquisa Educacional	1	2.500
Engenharia Ambiental	1	2.500
Engenharia Mecânica	1	2.500
Ciências Multidisciplinares	1	2.500

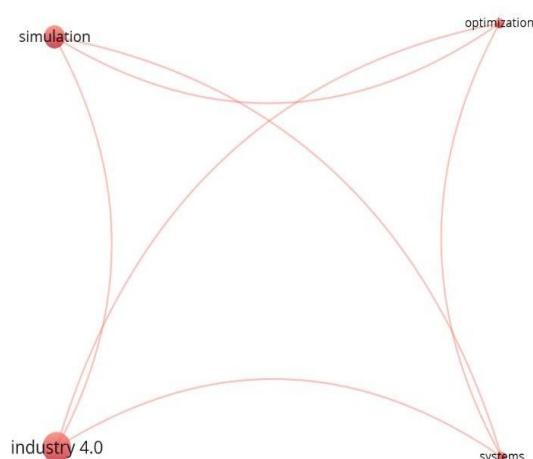


Figura 4: Rede de co-ocorrência de palavras-chaves.

4. Análise Qualitativa

Após a coleta e apuração dos dados essa seção será voltada para uma análise qualitativa dos artigos selecionados seguindo os critérios já pré-estabelecidos e aplicados nas seções anteriores. Foram selecionadas 10 fontes de estudos a quais será apurado se os mesmos possuem alguma relação com os temas principais que é o objetivo desse estudo. Um resumo destes estudos é apresentado na Tabela 3.

Para essa seção de comparação adota-se as técnicas de simulação e o requisito de maior importância, pois, esse fator é fato que diferencia os artigos, já que as técnicas utilizadas se diferenciam ao contrário das áreas de atuação dos artigos selecionados que como definido pelo protocolo de pesquisa o setor de armazenagem e a logística sendo como requisito presente em quase todos os artigos ficando apenas a simulação com cada um tendo suas particularidades.

Sidiropoulos et al. (2021), realizaram uma pesquisa de realidade aumentada voltada a logística sustentável no qual utilizando um ambiente virtual para simular um armazém foram realizados estudos para almejar melhorias sustentáveis em todo o processo de armazenagem e logísticas. Já Tripicchio et al. (2022) utilizando o método de Monte Carlos por meio de cálculos matemáticos procurou resolver os problemas de localização que ocorrem nos armazéns e por essa pesquisa os autores utilizaram a simulação para prever a melhor maneira de se utilizar o RFID para se ter ganhos significativos em todo o setor de armazenagem.

Abideen et al. (2020) usam duas simulações em sua pesquisa com o objetivo de melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos de armazéns na Malásia. Buscando minimizar o trade-off entre sustentabilidade e desempenho econômico no uso de veículos autônomos Gruzaukas et al. (2018) utiliza em seus estudos o método de Monte Carlo a qual eles estudam como a tecnologia sendo bem aplicada pode trazer benefícios importantes ao meio ambiente. Um outro estudo buscando a diminuição de materiais utilizados numa indústria de manufatura é o tema do artigo de Gong et al. (2019) pesquisa voltada a manufatura de carros no qual por meio de simulação buscam diminuir o tempo para se produz um veículo.

Dharmasiri et al (2020) almejam um estudo em que o principal objetivo é o de mostrar uma nova implementação no controle de tráfego de veículos autônomos dentro dos armazéns. Nesse artigo o estudo utiliza a simulação para servir como pré aplicador de medidas para uma boa utilização e uso de veículos autônomos dentro dos armazéns. Klumpp et al. (2019), busca por meio de simulação criar uma interação entre a logística de produção utilizando duas ferramentas: Inteligência artificial e os Gêmeos Digitais para com isso trazer benefícios com a interação humana com novas tecnologias que vem tendo uma maior evolução com o passar dos anos.

D'Avella et al. (2022) usam a Realidade Aumentada para simularem um ambiente para a realização de estudos com a tecnologia RFID e de como otimizar e aplicar da maneira correta nos armazéns. Jerman et al. (2021) adotam a simulação para a elaboração de uma nova tecnologia de elevadores móveis para serem utilizados nos armazéns. Agora Ridolf et al. (2019) visando o crescimento na realização de estudos com simulações e outras tecnologias criaram um espaço voltado especialmente para a realização de testes onde o ambiente possuem entre drones, veículos autônomos e outros equipamentos voltados para a facilitação dos estudos ali realizados.

5. Resultado dos Artigos

Sidiropoulos et al. (2021), em seus estudos diz que: A simulação de Realidade Aumentada (RA) tem um impacto econômico direto, pois a RA melhora a eficiência nas atividades operacionais, reduz a distância total de transporte dentro da instalação e aumenta a produtividade. Um impacto ambiental indireto da minimização dos transportes na instalação industrial é importante. Tripicchio et al. (2022) em seus experimentos que foram realizados em quatro etapas adotando o RFID resultou em que a revolução industrial em curso exige logística e gestão de estoques eficientes nos armazéns. O setor de robótica móvel está crescendo cada vez mais, visando atender a tais demandas. O movimento e o planejamento eficientes do robô dependem da localização precisa, mapeamento e conscientização do ambiente. A eficiência geral depende principalmente de tecnologias de detecção especializadas para rastrear o movimento do robô e medir as posições dos itens com precisão.

Abideen et al. (2020) obteve como resultado que a simulação DES (Simulação a Eventos Discretos) foi capaz de imitar com sucesso as reduções de lead time do estado futuro, o que auxilia na melhor tomada de decisão. Foram observadas melhorias relacionadas ao lead time total, tempo de processo, valor e percentual sem valor agregado. As métricas de desempenho do armazém, como taxas de recebimento, armazenamento e armazenagem, foram substancialmente aprimoradas, juntamente com o tempo de processamento de paletes, a porcentagem de uso de produtividade de trabalhadores e empilhadeiras. Gruzauskas et al. (2018) Com base no modelo de simulação desenvolvido pode-se afirmar que o frete pode ser coletado regionalmente com mais eficiência e os armazéns de consolidação podem ser usados para entregar os produtos em grandes quantidades em longas distâncias. A distribuição de longa distância pode ser feita por meio de veículos autônomos. No futuro autônomo a distribuição também poderia ser realizada nos limites da cidade. A implementação de todo o cluster logístico pode levar algum tempo e exigir investimentos de capital, no entanto, a longo prazo, a cadeia de suprimentos sustentável e o desempenho econômico podem ser alcançados e o estudo teve como limitação a implementação prática desse tipo de estratégia de distribuição, porém, resolvendo as questões de legislação e infraestrutura, a cadeia de suprimentos sustentável e a vantagem competitiva podem ser mantidas no longo prazo.

Gong et al. (2019) obteve em seus estudos a qual os resultados otimizados mostram que o modelo e método otimizados propostos na pesquisa são um bom guia e referência para resolver o complexo problema de modelagem multiobjetivo. Dharmasiri et al (2020) apresenta um algoritmo de controle de tráfego para múltiplos sistemas AGV em um ambiente dinâmico, que utiliza teoria dos grafos para modelagem de mapas e algoritmo de planejamento de caminhos de Dijkstra para o processo de planejamento de caminhos. Em seguida, o método baseado em tempo usado para simular e calcular o perfil de velocidade otimizado para cada AGV para eliminar a colisão entre os AGVs. Resultou ainda em algumas limitações que impedem a implementação do sistema proposto em uma situação prática. As simulações realizadas para validar o sistema proposto são realizadas para um sistema com quatro AGVs e assumem que todos os AGVs iniciam suas tarefas ao mesmo tempo.

Klumpp et al. (2019) diz que a contribuição específica deste artigo consiste no fato de estabelecer o valor de uma abordagem interdisciplinar para configurações de HCI e HRI na produção logística e pode ser descrito da seguinte forma: Os primeiros resultados apontam na direção de sistemas mistos e mecanismos de direção com atores humanos e robôs cooperando também na tomada de decisões em pequena escala (tráfego exemplo de controle) sendo mais eficiente, superior a modelos unilaterais como Robot First ou Human First Decision. Ainda o artigo abordou algumas limitações do estudo ocorridas por serem estudos pioneiros e que poderiam ocorrer durante a realização do mesmo.

D'Avella et al. (2022) conclui em seus estudos que foram apresentando resultados realistas em suas pesquisas de simulação. Jerman et al. (2021) apontam que os resultados mostram que projetos com dois locais de ponto de E/S separados fornecem uma taxa de transferência melhor do que projetos com localização de ponto de E/S único. Além disso, um número reduzido de colunas no sistema melhora o desempenho do sistema.

Finalizando, Ridolf et al. (2019) diz que seus experimentos trazem um ambiente adequados aos pesquisadores que podem projetar e testar novas ideias para qualquer armazém baseado em IoT incluindo a simulação em armazenagem integrada.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Tabela 3 – Sugestões de pesquisa dos artigos

Sidiropoulos et al.	Mais pesquisas em campo em RA
Abideen et al.	Outros estudos utilizando outras técnicas de simulação com o VSM ou outras ferramentas Lean
Gruzauskas et al.	Sugeri uma abordagem da teoria da complexidade deve ser usada em pesquisas futuras para validar a estratégia proposta.
Dharmasiri	Realização de estudos utilizando mais AGVs
Klumpp et al	mais discussão e fundamentação empírica, pesquisas qualitativas e quantitativas em diferentes indústrias
D'Avella et al	-
Jerman et al	Estudos utilizando mais AGVs

Esta pesquisa teve como objetivo apresentar um estudo com o tema da Indústria 4.0 tendo como a abordagem a simulação na armazenagem e logística. Através da base de dados Web of Science, foram identificados e analisados 10 artigos relacionados ao tema.

Tabela 4 – Análise comparativa dos artigos

autores		critérios			
		Técnica de Simulação Aplicada	Área de Aplicação	Case Aplicado	Resumo dos Resultados
Sidiropoulos, V.; Bechtsis, D.; Vlachos, D.		RA	Armazenagem	Ambiente Virtual	Positivos/Com limitações
Tripicchio, P.; D'Avella, S.; Unetti, M.		MMC	Armazenagem/Logística	Experimentos	Positivos
Abideen, A.; Mohamad, F.B		DES-VSM	Armazenagem/Cadeia de Suprimentos	Estudo de Caso	Positivos/Com limitações
Gruzauskas, V.; et al.		MMC	Armazenagem/Logística	Entrevistas	Positivos
Gong, L.; Zou, B.; 3 Kan, Z.		DES	Indústria de Manufatura	Experimentos	Positivos
Dharmasiri, P.; Kavalchuk, I.; Akbari, M.		SD	Armazenagem	Estudos de Casos	Positivos/Com limitações
Klumpp, M.; et al.		DT, IA	Logística de Produção	Revisão de Literatura	Positivos
D'AVELLA, S.; UNETTI, M.; TRIPICCHIO, P.		RA	Armazenagem	Ambiente Virtual	Positivos
Jerman, B.; et al.		DES	Armazenagem	Análise de Projetos	Positivos/Razoáveis
Ridolf, M.; et al.		-	Armazenagem	Experimentos	Positivos

RA- Realidade Aumentada; MMC- Método Monte Carlo; DES- Simulação a Eventos Discretos; VSM- Mapeamento do Fluxo de Valor; SD- Sistemas Dinâmicos; DT-Digital Twin (Gêmeos Digitais); IA- Inteligência Artificial

7. REFERÊNCIAS

Abideen, A., & Mohamad, F. B. (2020). Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*.

Dharmasiri, P., Kavalchuk, I., & Akbari, M. (2020). Novel Implementation of Multiple Automated Ground Vehicles Traffic Real Time Control Algorithm for Warehouse Operations: Dijkstra Approach. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 396–405. <https://doi.org/10.31387/OSCM0430279>.

de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868. doi: 10.1016/j.cie.2020.106868

de Paula Ferreira, W., Armellini, F., de Santa-Eulalia, L. A., & Thomasset-Laperrière, V. (2022). Extending the lean value stream mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 1-14. doi: 10.1016/j.jmsy.2022.02.002

de Assis, R. F., de Santa-Eulalia, L. A., Ferreira, W. D. P., Armellini, F., Anholon, R., Rampasso, I. S., & Santos, J. G. C. L. D. (2021). Translating value stream maps into system dynamics models: a practical framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114(11), 3537-3550. doi: 10.1007/s00170-021-07053-y

Paula Ferreira, W. D., Palaniappan, A., Armellini, F., Santa-Eulalia, L. A. D., Mosconi, E., & Marion, G. (2021). Linking industry 4.0, learning factory and simulation: Testbeds and proof-of-concept experiments. In *Artificial Intelligence in Industry 4.0* (pp. 85-96). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-61045-6_7

Jerman, B., Ekren, B. Y., Küçükyaşar, M., & Lerher, T. (2021). Simulation-based performance analysis for a novel avs/rs technology with movable lifts. *Applied Sciences*, 11(5), 2283.

Gong, L., Zou, B., & Kan, Z. (2019). Modeling and optimization for automobile mixed assembly line in industry 4.0. *Journal of Control Science and Engineering*, 2019.

Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group: Forschungsunion.

Klumpp, M., Hesenius, M., Meyer, O., Ruiner, C., & Gruhn, V. (2019). Production logistics and human-computer interaction—state-of-the-art, challenges and requirements for the future. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3691-3709.

Marques, R., de Paula Ferreira, W., Nassif, G., Armellini, F., Dungen, J., & de Santa-Eulalia, L. A. (2021). Exploring the application of IoT in the service station business. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 402-407. 10.1016/j.ifacol.2021.08.163

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269.

D'Avella, S., Unetti, M., & Tripicchio, P. (2022). RFID Gazebo-Based Simulator With RSSI and Phase Signals for UHF Tags Localization and Tracking. *IEEE Access*, 10, 22150-22160.

Sidiropoulos, V., Bechtsis, D., & Vlachos, D. (2021). An Augmented Reality Symbiosis Software Tool for Sustainable Logistics Activities. *Sustainability*, 13(19), 10929.

Tripicchio, P., D'Avella, S., & Unetti, M. (2022). Efficient localization in warehouse logistics: a comparison of LMS approaches for 3D multilateration of passive UHF RFID tags. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-12.

Valentas Gruzauskas, Saulius Baskutis, Valentinas Navickas, Minimizing the trade-off between sustainability and cost-effective performance by using autonomous vehicles, *Journal of Cleaner Production*, Volume 184, 2018, Pages 709-717.