



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA DA UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA PLANEJAMENTO AUTOMATIZADO DE CONTROLADORES

Eng^o Mecânico Hiago Silva Motta, hiagosmotta@gmail.com¹
Prof. Doutor João Paulo da Silva Fonseca, jpsfonseca@ufg.br¹

¹Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) – Av. Ingá, Quadra B, s/n, Campus Samambaia, CEP: 74.690-900 – Goiânia – Goiás – Brasil

Resumo. O objetivo deste trabalho de revisão foi buscar documentos com maior convergência ao objetivo de estudo sobre a integração entre ambientes de programação de alto nível, capazes de utilizar IA para realizar o planejamento automático, com linguagem de programação de baixo nível, responsável pela automação de grande parte dos processos produtivos. Definiram-se Scopus e Web of Science (WoS) como bases de dados para a busca, e por meio da interseção de 3 grupos de palavras-chave principais: Planejamento automático, Indústria e Controle, foi realizada uma análise bibliométrica e cientométrica para selecionar os principais documentos associados ao tema. A integração desses sistemas pode aumentar a velocidade de adaptação, por meio do planejamento automatizado, de diversos cenários que necessitam de automação, permitindo a programação e reprogramação de sistemas em tempo real. Os bancos de dados apresentam grande capacidade de filtragem tratando mais de 30 milhões de documentos e, além disso, expôs o aumento de publicações seguindo linha de tendência exponencial de documentos sobre o assunto até a atualidade.

Palavras chave: Planejamento automático, Indústria 4.0, Controlador, Sistema, Integração.

Abstract.

The aim of this review work was to search for documents that align closely with the study objective on the integration between high-level programming environments capable of utilizing AI for automated planning, with low-level programming language responsible for automating a large part of the production processes. Scopus and Web of Science (WoS) were defined as the databases for the search, and through the intersection of three main keyword groups: Automated Planning, Industry, and Control, a bibliometric and scientometric analysis was conducted to select the key documents associated with the theme. The integration of these systems can enhance the speed of adaptation, through automated planning, of various scenarios requiring automation, enabling programming and reprogramming of systems in real-time. The databases demonstrate significant filtering capacity handling over 30 million documents and, furthermore, have shown an increase in publications following an exponential trend of documents on the subject up to the present day.

Keywords: Automated planning, Industry 4.0, Controller, System, Integration.

1. INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 é dada de tal forma que seja capaz de possuir alta modularidade e reconfigurabilidade de todos os sistemas de produção de maneira integrada (Vyskočil, 2023). Com a dinâmica de negócios cada vez mais variável, implicando em curtos ciclos de vida de um produto e a implementação da indústria 4.0, aumenta-se a demanda para planejamento e replanejamento de fábricas. Assim, houve um aumento da pressão de tempo e custo para o planejamento de fábrica nos últimos anos (Burggräf, 2021). Segundo Hoebert (2023), para se adaptar às flutuações de demanda, os sistemas de manufatura e montagem atuais precisam de flexibilidade para atender produções em larga escala, despacho aleatório de pedidos, configurações específicas, os curtos prazos de entrega e o curto ciclo de vida dos produtos. Assim, os robôs e sistemas automatizados podem desempenhar um papel imprescindível devido a sua alta capacidade de realizar tarefas em grande velocidade, eficiência e precisão por longo intervalo de tempo. Contudo, o principal desafio é a modificação do produto que significa uma atualização no código de programação, requerendo bastante tempo, conhecimento e esforços de programação no controle tradicional.

A melhor maneira de uma planta para trabalhar de forma autônoma é representar todo conhecimento em um domínio de tal forma que a automação possa realizar interferências sobre o conhecimento e executar atividades de acordo com o que foi “raciocinado”. Para tal, o domínio de conhecimento deve operar de maneira separada da lógica de programação utilizando vários cenários para que exista um backup do conhecimento e possa gerar planos autonomamente (Hoebert, 2023). Ghallab (2016) afirma que os domínios de planejamento são baseados em modelos descritivos (“saber o que”) enquanto a execução deve utilizar modelos operacionais (“saber como”), sendo que o primeiro pode ser executado em um *loop* aberto de busca, enquanto o segundo precisa ser um *loop* fechado de processo. Segundo Fonseca (2016), há uma dificuldade na integração de sistemas industriais clássicos que utilizam controladores lógicos programáveis (CLPs), o qual centraliza o controle por meio de linguagem de programação de baixo nível, com soluções de planejamento automático, que utiliza linguagem formal de alto nível denominada Planning Domain Definition Language (PDDL) - comumente utilizada para descrever problemas de planejamento em Inteligência Artificial (IA), gerando soluções de planejamento para sistemas representados por domínios, ações e objetivos, de forma automatizada.

Marrella (2019) destaca que a evolução para a indústria 4.0, marcada pelos requisitos de constantes mudanças, ambientes imprevisíveis e crescente quantidade de dados que necessitam de aumento de capacidade de automação para aumentar a reatividade e flexibilidades para o gerenciamento de processos, pode ser alcançada através da implementação de IA para gerar comportamentos autônomos e automáticos a partir de um modelo.

Com intuito de otimizar o tempo de estudo e maximizar o tempo de desenvolvimento do projeto, optou-se por uma revisão bibliográfica de maneira sistemática, tendo como foco de estudo a integração entre sistemas de planejamento automático e sistemas com linguagem de programação de baixo nível. A revisão sistemática explora a integração soluções de AI Planning e ambientes práticos controlados por controlador lógico programável (CLP). Para tal, pode-se adotar uma metodologia rigorosa que inclui a seleção de documentos por meio de fontes primárias de dados e a utilização de métodos de tratamento para análise dos resultados. A busca por documentos relevantes pode ser orientada pela intersecção de palavras-chave específicas relacionadas ao tema de interesse. Esta revisão não apenas fornece uma visão abrangente do tema, mas também identifica lacunas de pesquisa e áreas promissoras para investigações futuras. Ao seguir uma abordagem sistemática e transparente, contribui-se significativamente para o avanço do conhecimento nessa área, além de fornecer *insights* importantes para profissionais e pesquisadores interessados

O artigo segue uma estrutura em seções distintas, na seção de Metodologia é descrito o processo de seleção de artigos relevantes e a utilização de ferramentas bibliométricas e cienciométricas para filtrar e analisar os dados. Os Resultados são apresentados de forma detalhada e aprofundada, incluindo a quantidade de documentos encontrados, análises de duplicatas e tendências temporais destacando *insights* importantes. A Conclusão resume os principais achados e suas implicações. Essa estrutura proporciona uma compreensão abrangente e detalhada do estudo, demonstrando a metodologia e os resultados alcançados.

2. METODOLOGIA

Como o projeto visa a elaboração de uma nova solução, a metodologia tem como objetivo juntar todos os artigos que possuem maior intersecção de assunto com o tema: ‘Integração online entre uma plataforma de AI Planning e um ambiente prático controlado por PLC’. Para seleção de dados, foram utilizadas as bases de dados SCOPUS (Elsevier, 2024) e Web of Science (WoS) (Clarivate, 2024). Para análise dos dados foi utilizado o “Google Colaboratory” como ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) e a biblioteca pyBibX - uma biblioteca bibliométrica e cienciométrica alimentada por ferramentas de inteligência artificial - elaborada por Pereira (2024).

Com intuito de simplificar o método de pesquisa e aumentar os resultados, foram criado três grupos de palavras com objetivo principal de aumentar os resultados com a utilização dos seus sinônimos:

- 1° Grupo: “*AI Planning*” \cup “*Artificial Intelligence Planning*” \cup “*Automated Planning*”;
- 2° Grupo: “*Industry*” \cup “*Manufacturing*”;
- 3° Grupo: “*Control**”;

Onde o operador \cup representa união de palavras-chave sinônimas, enquanto o operador * aplica-se à busca por palavras cujo radical seja formado pelo termo “Control”.

A partir desses grupos de palavras principais, procedeu-se com a intersecção entre elas com o objetivo de direcionar a busca ao tema. Foram testadas sete combinações distintas, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Combinações de grupos de palavras.

Combinação	Intervalos					
	1° Grupo	\cap	2° Grupo	\cap	3° Grupo	
1°	X					
2°			X			
3°						X
4°	X	X	X			
5°	X				X	X
6°			X	X	X	X
7°	X	X	X	X	X	X

Além disso, durante a pesquisa é importante limitar os tipos de documentos que devem ser apresentados. Por exemplo, no Scopus temos arquivos referentes a *Conference paper*, *Article*, *Conference review*, *Book chapter*, entre outros, que podem possuir informações parciais. Dado isto, o filtro foi aplicado para *Conference paper* e *Article*, tanto no Scopus, quanto no WoS. Outro ponto importante é referente à contabilização dos documentos duplicados, uma vez que foram utilizadas duas bases de dados, tornou-se necessária a remoção desses documentos, realizada utilizando a biblioteca pyBibX no Google Colaboratory.

3. RESULTADOS

Por meio das combinações apresentadas na tabela 1, na data de 19/04/2024 foram realizadas buscas nas bases de dados Scopus e WoS, filtrando somente *Conference paper* e *Article*, dando origem aos resultados da tabela 2. A combinação 7 (interseção dos três grupos de palavras-chaves principais) retornou um total de 73 documentos na base de dados SCOPUS e 52 documentos na WoS.

Tabela 2: Matriz de resultados.

Combinação	1	2	3	4	5	6	7
Scopus	3053	2356506	16626728	218	689	510305	73
WoS	2481	1977463	9162904	176	441	367678	52
TOTAL	5534	4333969	25789632	394	1130	877983	125

3.1. Análise de dados pyBibX

Dos 125 documentos com maior grau de aderência ao tema desejado, utilizando a biblioteca pyBibX foram identificados 33 documentos duplicados, permanecendo 92 documentos diferentes no conjunto final, conforme indicado na tabela 3. Além disso, na tabela 3 também é possível verificar a quantidade de documentos do tipo *Article* e *Conference Paper* (ou *Proceedings Paper*) presentes em cada base de dados. O valor geral observado foi de 41,3% de documentos do tipo *Article* e 58,7% de documentos do tipo *Conference* ou *Proceedings Paper*.

Tabela 3: Resultados obtidos.

Tipo de documento	Scopus	Scopus*	WoS	WoS*	Scopus U WoS	(Scopus U WoS)**
<i>Article</i>	34	13	23	4	57	38
<i>Conference paper / Proceedings Paper</i>	39	27	29	15	68	54
TOTAL	73	40	52	19	125	92

*Exclusivo do banco

**Sem repetição de artigos

Com a participação de 270 autores e coautores envolvidos dentre os documentos remanescentes, a fim de determinar o potencial do tema, foi verificada a escala de produção de documentos sobre, ilustrada na figura 1 apresenta o gráfico

conclusões, como a dependência de parcerias para o desenvolvimento de documentos acadêmicos devido ao alto índice de colaboração e o grande número total de autores.

Tabela 4: Resultados gerais.

Informações diversas	
Intervalo de tempo	1979-2024
Número total de países	29
Número total de instituições	127
Número total de referências	413
Número total de linguagem	3
Número total de documentos	92
<i>Article</i>	38
<i>Conference paper</i>	54
Média de documentos por autor	1.08
Média de documentos por Instituição	2.4
Média de documentos por fonte	1.15
Média de documentos por ano	2.88
Número total de autores	270
Total de documentos de autoria única	11
Total de documentos de autoria múltipla	81
Índice médio de colaboração	3.15
Número total de citações	799
Média de citações por autor	2.96
Média de citações por instituição	6.29
Média de citações por documento	8.68
Média de citações por fonte	10.46

Na tabela 4 é possível observar um panorama geral da temática proposta, como número de artigos, autores, referências, citações, além de nações e instituições envolvidas. O número de documentos de única e múltipla autoria de 11 e 81, respectivamente, indica um alto índice de colaboração, sendo 88,04% dos documentos de múltipla autoria, mostrando uma característica multidisciplinar do tema. A média de citações por documento de 8,68 é bem interessante, apontando aprovação dos documentos selecionados pelo meio acadêmico. O número de fontes, que indica que não há uma fonte ou grupo de fontes que retém maior quantidade de publicações, evidenciando a característica dispersa do tema (fato relacionado com a sua multidisciplinaridade). Além disso, pode-se inferir que, apesar disso, seria interessante que tais pesquisadores tivessem melhor direcionamento de suas publicações para fontes capazes de absorver melhor o assunto.

3. CONCLUSÃO

A utilização de métodos de análise para a revisão bibliográfica, obtidas pelo Scopus e o WoS, mostrou alta capacidade de filtragem. Inicialmente, com mais de 30 milhões de resultados nas pesquisas, somando-se cada grupo de palavras, convergiu-se para 125 documentos após realizar a intersecção dos mesmos. Progredindo o estudo, por meio da análise bibliométrica e cienciométrica, reduziu-se a quantidade de documentos validados para 92 após a comparação e identificação de documentos comuns entre os bancos de dados.

Com a utilização da biblioteca pyBibX para auxiliar na análise bibliométrica e cienciométrica, foi possível, além de validar documentos, classificando e excluindo documentos do estudo bibliográfico, representar informações apresentadas em forma de gráficos, tabelas e figuras que ajudam a evidenciar e validar o crescente interesse sobre o tema de planejamento automatizado dentro da indústria.

A integração entre ambientes de planejamento automatizado, capazes de utilizar IA, e ambientes físicos de controle, cotidianamente controlados por controladores com linguagem de baixo nível, impactam diretamente na capacidade de adaptação de um processo produtivo, cada vez mais se tornando mais dinâmico, atendendo a indústria 4.0.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PPGMEC/ UFG e a CAPES.

5. REFERÊNCIAS

- Burggräf, P.; Bergs, T.; Dannapfel, M.; Korff, A.; Esfahani, M. E.; Splettstoesser, A.; Steinlein, J., 2021. *Achieving parametric transparency in model-based factory planning*. *Prod. Eng. Res. Devel.* 15, 57–67, <<https://doi.org/10.1007/s11740-020-01010-6>>.
- Clarivate, 2024. Web of science. <<https://www.webofscience.com/wos/author/search>>.
- Elsevier, B., 2024. Scopus. <www.scopus.com>.
- Fonseca, J. P. S.; Sousa, A. R.; Ferreira, M. V. M.; Tavares, J. J. Z. S., 2016. *PlanPAS: PLC and automated planning integration, International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29:11, 1200-1217, <<https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1067909>>.
- Ghallab, M.; Nau, D.; Traverso, P., 2016. *Automated Planning and Acting*. Manuscrito. Cambridge University Press.
- Marrella, A., 2019. *Automated Planning for Business Process Management*. *J Data Semant* 8, 79–98, <<https://doi.org/10.1007/s13740-018-0096-0>>.
- Pereira, V., 2024. *A Bibliometric and Scientometric Library Powered with Artificial Intelligence Tools*. <<https://pypi.org/project/pyBibX/>>.
- Vyskočil, J.; Douda, P.; Novák, P.; Wally, B., 2023. *A Digital Twin-Based Distributed Manufacturing Execution System for Industry 4.0 with AI-Powered On-The-Fly Replanning Capabilities*. *Sustainability* 2023, 15, 6251 <<https://doi.org/10.3390/su15076251>>.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.