

ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PROJETO DE FÁBRICA SOB AS PERSPECTIVAS DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL

Aline Frazon¹

Lucas Augusto Costa Volpato²

Nicolle Christine Sotsek³

RESUMO: O Projeto de Fábrica consiste no planejamento de sistemas produtivos que vai desde o nível macro, como a localização do terreno, até o nível micro, com a definição do espaço da célula de trabalho. É uma tarefa complexa que deve considerar diferentes critérios, como baixo custo, alta produtividade e alta segurança. Com a Indústria 4.0, várias metodologias e ferramentas foram desenvolvidas para contribuir para a elaboração de um projeto de fábrica, especialmente nas grandes fabricantes do setor automobilístico, que vêm convergindo com outros campos tecnológicos, como inteligência artificial. No entanto, estudos mostram que a digitalização e a automatização ainda não são uma realidade para a maioria das empresas brasileiras. Este estudo tem como objetivo propor um modelo de projeto de fábrica que atenda às perspectivas das empresas fornecedoras do setor automobilístico, após a análise do contexto das pequenas e grandes empresas no Brasil em relação à Indústria 4.0. Utilizando a metodologia Design Science Research (DSR), foram realizadas duas revisões sistemáticas da literatura e coletados dados por meio de questionários, entrevistas e visitas às empresas fornecedoras do setor automobilístico de Curitiba e região. Como resultado, foi criado um modelo que atende às necessidades de pequenas e médias empresas, com etapas e ferramentas que podem ser adaptadas para diferentes realidades, possibilitando a elas reduzir desperdícios, e aumentar a produtividade e competitividade.

PALAVRAS CHAVE: Projeto de Fábrica; Projeto de instalações; Layout; Postos de trabalho.

¹ Técnica em Administração pelo Instituto Federal do Paraná, graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e assistente de administração de operações na Volvo Group.

² Pesquisador autônomo.

³ Professora do Curso de Engenharia de Produção na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Universidade Federal do Paraná (UFPR).

1. INTRODUÇÃO

O Projeto de Fábrica é considerado uma peça-chave para a gestão de uma organização (Zhang et al, 2017). Tal projeto é caracterizado pelo planejamento de um sistema produtivo desde o nível macro, onde são definidos pontos como a localização do terreno, disposição de prédios, até o nível micro, com a definição do espaço da célula de trabalho. Segundo Rodriguez and Oliveira (2021) sua elaboração é uma tarefa complexa, pois deve conciliar diferentes critérios, como baixo custo, alta produtividade, alta segurança, entre outros.

Com a Indústria 4.0 diversas metodologias e ferramentas foram desenvolvidas para contribuir ao processo de elaboração de um projeto de fábrica eficiente e automatizado, principalmente nas grandes fabricantes e montadoras do setor automobilístico, dado que a tecnologia do setor vem se ampliando e convergindo com outros campos tecnológicos, como inteligência artificial (ROH AND YOON, 2023). Por outro lado, estudos mostram que, mesmo com a ascensão da Indústria 4.0 no mundo, a digitalização e automatização não é a realidade da maioria das empresas no Brasil, como as empresas fornecedoras das fabricantes automobilísticas e montadoras multinacionais. Entretanto, mesmo com tal complexidade da elaboração de um PF ainda não há uma forma padronizada de desenvolvimento desse projeto (NEUMAN E SCALICE, 2015).

Com isso, dado as novas tecnologias provenientes da Indústria 4.0 e realidade de pequenas e médias empresas, bem como a falta de um método padronizado de elaboração de Projeto de Fábrica, torna-se necessário a elaboração de um modelo que se baseie tanto na literatura quanto na prática de pequenas a grandes empresas.

Dessa forma, o seguinte estudo tem o objetivo de propor um modelo de projeto de fábrica que atenda as perspectivas das empresas fornecedoras do setor automobilístico, após a análise do contexto das pequenas e grandes empresas no Brasil frente ao cenário da Indústria 4.0. Com a metodologia *Design Science Research* (DSR), primeiramente foi realizada a contextualização da problemática com consultas à literatura e entrevistas com pequenas e médias empresas. Nessa etapa, foram realizadas 2 revisões sistemáticas da literatura a fim de compreender o contexto da problemática, e foram coletados dados na prática através de questionários, entrevistas e visitas às empresas fornecedoras do setor automobilístico de Curitiba e região.

Após a análise, foram construídos e avaliados artefatos para propor etapas para elaborar um projeto de fábrica, através de um modelo que atenda às necessidades de pequenas e médias empresas. Com esta pesquisa, espera-se que as empresas tenham mais assertividade na hora de elaborar um projeto de fábrica com etapas e ferramentas eficientes e condizentes com as suas realidades, tornando suas instalações industriais com menos desperdícios, mais produtividade e, conseqüentemente, mais competitivas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Projeto de Fábrica consiste no planejamento das instalações de uma determinada unidade produtiva, e é uma tarefa complexa por ser afetada por múltiplos critérios, como a disposição física dos elementos de uma fábrica de forma a materializar os objetivos da organização, como produtividade e lucro (RODRIGUEZ AND OLIVEIRA, 2021). O Projeto de Fábrica deve ser reconhecido como uma ação estratégica, devido ao seu alto impacto no desempenho de sistemas produtivos em termos de custo e tempo (Al-Hawari et al, 2014). Esse tipo de projeto, se bem elaborado, pode proporcionar redução de custos, aumento de segurança, entre outras vantagens para os sistemas de produção (ANDERSON AND HODGE, 2017).

Para apoiar a elaboração de um Projeto de Fábrica diferentes ferramentas podem ser utilizadas, essas que podem ser analíticas, como análises manuais, com diagramas e gráficos, e decisão por múltiplos atributos, ou tecnológicas, como simulação e computação (Zúñiga et al, 2021).

Segundo Zubaidi et al (2021) a Indústria 4.0, novas ferramentas tecnológicas surgiram para dar apoio e aprimorar diferentes processos, como os de projeto de fábrica. Entre elas, destaca-se simulação, Computer- Integrated Manufacturing (CIM) Systems, automação e Internet of Things, que inclui sistemas Cyber Físicos (como realidade virtual e aumentada), big data, entre outros (Al-Zubaidi et al, 2021). Por outro lado, enquanto grandes empresas possuem maior aderência a essas novas tecnologias, por terem departamentos próprios de planejamento de fábrica, as pequenas e médias empresas geralmente não têm recursos para atender os desafios e inovações mencionados acima por meio de projetos independentes de Projeto de Fábrica (BURGGRÄF et al, 2022). Além disso, no Brasil a indústria 4.0 ainda não é a realidade da maioria das empresas, essas que são, em quantidade, predominantemente de porte pequeno ou médio (BAIO JUNIOR AND CARRER, 2022).

Problemas de layout tem sido abordados por diferentes métodos da literatura (Garcia Hernandez et al, 2013). Entretanto, segundo Burggräf et al (2021) ainda não há uma forma padronizada para elaborar esse tipo de projeto.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada como uma Design Science Research (DSR), dado que tem o objetivo de desenvolver um modelo de projeto de fábrica que atenda as perspectivas das empresas fornecedoras do setor automobilístico, após a análise do contexto das pequenas e grandes empresas no Brasil frente ao cenário da Indústria 4.0, criando um novo artefato. Além disso, a DSR tem o objetivo de criar artefatos para atingir um objetivo e solucionar um problema (LACERDA ET. AL, 2012). O problema encontrado foi a falta de um método padronizado para a condução de um Projeto de fábrica, e o objetivo estabelecido é propor um modelo de Projeto, com etapas, subetapas e ferramentas, a fim de auxiliar empresas do setor automobilístico a aderirem ao uso dessa prática.

Os passos seguidos na pesquisa, como proposto na **Design Science Research** de Lacerda *et. al.* (2012), são: conscientização (formalização do problema de pesquisa, limites do objeto de estudo e definição das soluções necessárias), revisão sistemática da literatura (estabelecimento do quadro de soluções já conhecidas) e sugestão (classificação de possíveis artefatos), desenvolvimento, avaliação e conclusão. Por fim, foi escrito o relatório para compilar os resultados encontrados. Os dados que apoiaram o desenvolvimento do modelo de Projeto de Fábrica foram coletados da literatura, a partir de 3 buscas realizadas nas bases de dados CAPES, Science Direct e Web Of Science, e na prática do setor automobilístico de Curitiba e região.

3.1 Análise teórica – método de seleção de artigos e processo de análise da amostra

Para a análise da literatura foram realizadas 3 buscas, sendo 2 aplicadas em pesquisas anteriores que fazem parte do projeto de pesquisa (CHEMIM ET. AL, 2021; SOTSEK ET. AL, 2022), e 1 realizada na plataforma Web Of Science, todas em busca das principais etapas, subetapas e ferramentas utilizadas na elaboração de um Projeto de Fábrica. Além disso, as 3 pesquisas foram focadas no nível micro de layout, com o uso da ferramenta “Methods Time Movement” (MTM), no layout da linha de produção, e no layout global, respectivamente.

Como apresentado por Oliveira e Sotsek Ramos (2022), nas 2 primeiras buscas as bases de dados escolhidas foram o Portal de Periódicos da CAPES, dada a sua relevância no país, e a plataforma internacional Science Direct, para explorar os artigos internacionais. Em seguida, foram definidos os termos de busca. Na primeira busca, relacionada com o projeto de fábrica que inclui etapas de condução do layout global, os termos que mais se adequavam ao tema foram combinados como “Layout (Optimization OR Planning OR Solving) AND Novel (Tool OR Method OR Methodology)”. Já na segunda busca, que teve como foco a condução do layout específico, com uso do estudo de tempos e movimentos, utilizou o termo de busca “Methods Time Measurement (MTM) AND Production”. Após a aplicação dos termos de busca nas bases de dados definidas, foram aplicados os seguintes filtros:

- Ano de publicação: 2010 a 2022;
- Termo adicional na primeira busca na Science Direct: “Layout AND Optimization AND (Tool OR Method)”;
- Revistas A1, A2, B1, B2 ou B3 de acordo com a plataforma Sucupira;

Com isso, os resultados foram ordenados por “relevância”, e quando passaram a não ser compatíveis com o tema foi realizada uma leitura dinâmica do título, resumo e palavras-chave dos artigos encontrados. Nas duas buscas foram selecionados 35 artigos para apoiar a literatura.

Já na terceira pesquisa, que focou nos projetos de instalações industriais em nível macro, foi escolhida a plataforma Web Of Science, pois reúne artigos internacionais e exporta os metadados dos artigos de forma que possibilita inseri-los em softwares de processamento de dados, enriquecendo a análise dos resultados. Além disso, definiu-se o termo de busca como: (factory OR "manufacturing lines" OR "manufacturing buildings" OR "industrial buildings" OR facility) NEAR/1 (planning OR design OR layout). Na busca, o termo foi inserido em “author keywords”, com os seguintes filtros:

- Ano de publicação: 2012 a 2022;
- Tipos de documento: articles, review articles;
- Language: english;
- Categories: aquelas que contém “engineerings”, “managements”, “computer science”, “operations”, “industrial”, “mathematics”, “ergonomics” ou “automation”.

Na busca foram identificados 1.463 artigos, que após a aplicação dos filtros se restringiram a 468 artigos. A fim de enriquecer as análises dos resultados, foram utilizados softwares de processamento de dados. Com isso, os registros dos 468 artigos foram exportados como “plain text file”, para dar apoio à análise de dados, e inseridos no ambiente RStudio 2021.09.2+382 para análise bibliométrica e multivariada, ou seja, análise quantitativa que busca identificar os principais estudos, seus impactos, e os temas das pesquisas relacionadas à construção de um Projeto de Fábrica (Santos & Martins, 2021). Além disso, finalizando a análise quantitativa, foi utilizado o software VOSViewer versão 1.6.18 para a criação de redes, que ajuda a visualizar e explorar relações entre os artigos (Eck & Waltman, 2013).

Em seguida, para a análise qualitativa, ou seja, a leitura e análise do conteúdo dos artigos, utilizou-se ferramentas do Excel para automatizar parte da leitura, dado o grande número de artigos encontrados. Nessa etapa, foram seguidos os seguintes passos: (1) o “plain text file” com os 468 artigos foi inserido em uma planilha do Excel; (2) macros programadas com a linguagem VBA de programação inseriram os títulos e abstracts dos artigos lado a lado em outra planilha; (3) fórmulas do Excel verificaram os artigos que continham os termos “algorithm” ou “programming” no abstract e os eliminaram (restando 40 artigos), pois segundo a automatização da construção de um Projeto de Fábrica com algoritmos e programação linear não condizem com a realidade de pequenas e médias empresas, por serem ferramentas de alto custo e complexidade (BAIO JUNIOR E CARRER, 2022); (4) foi realizada a leitura dinâmica dos resultados dos 40 artigos buscando etapas, subetapas e ferramentas analíticas de um Projeto de Fábrica, encontrando-as em 17 artigos, apresentados na Tabela 1. Dessa forma, as etapas, subetapas e ferramentas propostas nos 17 artigos foram organizadas em tabelas para a geração de relatórios que representam melhor os resultados da análise qualitativa.

Com isso, foram analisados 52 artigos para servir de base teórica ao artefato, ou seja, para o modelo de construção de um Projeto de Fábrica.

3.2 Análise prática – método de coleta de dados e processo de análise da amostra

Para a análise prática, foram coletados dados de empresas do polo automotivo de Curitiba e região. A cadeia automotiva, que compreende a indústria de manufatura de automóveis, autopeças e demais produtos e serviços que a compõem, foi escolhida por ser uma das cadeias que mais contribuem para o desenvolvimento da economia mundial e nacional, representando em 2015 22% do PIB da indústria de transformação do Brasil, por ser um dos segmentos mais dinâmicos e tecnológicos da economia nacional, dado que diversas montadoras vem abrindo novas plantas e modernizando unidades existentes, e pelo fato do Paraná ser considerado um dos principais polos automotivos do país (SENAI/PR, 2020).

A principal forma de coleta de dados foram formulários, pois permitem o uso de questões objetivas e discursivas e o envio do link de acesso a diversas pessoas, aumentando o número de etapas, subetapas e ferramentas encontradas. As perguntas estabelecidas são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Formulário de coleta de dados

<p>1. Qual o seu cargo/função na organização?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Analista; <input type="radio"/> Engenheiro; <input type="radio"/> Gestor de fábrica; <input type="radio"/> Outro: 																								
<p>2. A quanto tempo você atua nesta organização?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Menos de 1 ano; <input type="radio"/> De 1 a 3 anos; <input type="radio"/> De 3 a 5 anos; <input type="radio"/> Mais de 5 anos. 																								
<p>3. Classifique sua empresa conforme o IBGE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Até 19 empregados (Micro empresas); <input type="radio"/> Entre 20 e 99 funcionários (Pequenas empresas); <input type="radio"/> Entre 100 e 499 funcionários (Médias empresas); <input type="radio"/> Mais de 500 funcionários (Grandes empresas). 																								
<p>4. Qual é o segmento de atuação da sua organização? Exemplo: Indústria (automobilística), Varejo (Móveis), entre outros.</p>																								
<p>Quadro 1 - Etapas do gerenciamento de layout</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nome</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Estruturação da empresa</td> <td>Etapa onde avalia-se os fatores externos como a estratégia da empresa e produção.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Coleta de dados</td> <td>Etapa onde encontra-se dados para entender o contexto da empresa, como o objetivo da fábrica e o layout atual.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Projeto de fábrica</td> <td>Etapa que consiste na elaboração de um projeto de fábrica considerando a localização do terreno e a disposição da fábrica nele.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Projeto de layout</td> <td>Etapa em que é determinado o arranjo físico da produção.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Programação da produção</td> <td>Etapa que consiste na definição do que será produzido em determinado período.</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Projeto de células</td> <td>Etapa que consiste no projeto de células, utilizando estudo de tempos e movimentos, geração e avaliação de alternativas.</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Análise de custos</td> <td>Etapa onde são analisados os custos das operações e de toda a produção.</td> </tr> </tbody> </table>		Nome	Descrição	1	Estruturação da empresa	Etapa onde avalia-se os fatores externos como a estratégia da empresa e produção.	2	Coleta de dados	Etapa onde encontra-se dados para entender o contexto da empresa, como o objetivo da fábrica e o layout atual.	3	Projeto de fábrica	Etapa que consiste na elaboração de um projeto de fábrica considerando a localização do terreno e a disposição da fábrica nele.	4	Projeto de layout	Etapa em que é determinado o arranjo físico da produção.	5	Programação da produção	Etapa que consiste na definição do que será produzido em determinado período.	6	Projeto de células	Etapa que consiste no projeto de células, utilizando estudo de tempos e movimentos, geração e avaliação de alternativas.	7	Análise de custos	Etapa onde são analisados os custos das operações e de toda a produção.
	Nome	Descrição																						
1	Estruturação da empresa	Etapa onde avalia-se os fatores externos como a estratégia da empresa e produção.																						
2	Coleta de dados	Etapa onde encontra-se dados para entender o contexto da empresa, como o objetivo da fábrica e o layout atual.																						
3	Projeto de fábrica	Etapa que consiste na elaboração de um projeto de fábrica considerando a localização do terreno e a disposição da fábrica nele.																						
4	Projeto de layout	Etapa em que é determinado o arranjo físico da produção.																						
5	Programação da produção	Etapa que consiste na definição do que será produzido em determinado período.																						
6	Projeto de células	Etapa que consiste no projeto de células, utilizando estudo de tempos e movimentos, geração e avaliação de alternativas.																						
7	Análise de custos	Etapa onde são analisados os custos das operações e de toda a produção.																						

5. A sua empresa possui um método de gerenciamento de layout de fábrica conforme o apresentado no início dessa seção (Quadro 1) ou semelhante, ou seja, com etapas para serem conduzidas?

6. A sua empresa tem uma equipe que busca gerenciar e otimizar o layout da sua organização continuamente?

- Sim;
- Não;
- Desconheço.

7. Marque as etapas que sua organização utiliza para gerenciar seu layout. Estas são etapas genéricas, talvez sua organização não atue de forma tão sistemática como deste modelo, mas aplica algumas destas. (Quadro 1)

- 1º etapa: estruturação da empresa
- 2º etapa: coleta de dados
- 3º etapa: projeto de fábrica
- 4º etapa: projeto de layout
- 5º etapa: programação da produção
- 6º etapa: projeto de células
- 7º etapa: análise de custos
- Outro:

Quadro 2 - Ferramentas

Etapa	Ferramenta
1	Reunião
2	Tabelas
3	Diagramas
4	Ferramentas quantitativas
5	Balanceamento de linha
6	Ferramentas de melhoria de processo
7	SLP
8	Ferramentas de tomada de decisão

8. Marque as ferramentas que sua organização utiliza ou já utilizou para gerenciar seu layout. (Quadro 2)

- Reunião- diálogo com a equipe
- Tabelas- organização de informações quantitativas a respeito do processo
- Diagramas- ferramentas como mapa mentais, fluxogramas, gráficos
- Ferramentas quantitativas relacionadas com simulação, algoritmos, programação linear, entre outros
- Balanceamento de linha
- Ferramentas de melhorias do processo, tais como lean, seis sigma, entre outras
- SLP- planejamento sistêmico do layout de fábrica
- Ferramentas para auxiliar a tomada de decisão, tais como AHP, Delphi, grupo nominal (TGN)
- Outro:

9. Se você puder escreva em poucas palavras como é feito o gerenciamento de layout na sua organização, será uma excelente contribuição para nossa pesquisa. Obrigada.

Fonte : autores

Além disso, foram realizadas 2 visitas técnicas, a fim de obter dados mais detalhados do gerenciamento de um Projeto de Fábrica, como sua dinâmica, dificuldades e restrições. A primeira empresa é fornecedora de partes plásticas dos automóveis, como painel e revestimento interno das portas, e outra de consultoria de layout para empresas do ramo automotivo. Durante as visitas, foram aplicadas as perguntas do formulário, e coletadas demais informações que surgiram durante as observações.

Para mapear as empresas da indústria automotiva de Curitiba e região foi utilizado a base de dados comercial “Data Driva”, dado o acesso obtido por meio da empresa júnior do curso de Engenharia de Produção da UFPR. Na busca foram utilizados o seguintes filtros:

- Ramo de atividade: Indústria Automotiva;
- Município: Curitiba, São José dos Pinhais, Campo Largo, Araucária, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Campo Magro, Almirante Tamandaré, Colombo e Piraquara;

A busca identificou 499 empresas ativas. Delas, foram encontradas as formas de contato de 109 empresas, e a partir de ligações, mensagens através do LinkedIn e e-mails, foi possível enviar o formulário para 63 empresas. Com isso, foram alcançadas 34 respostas, que junto às 2 visitas técnicas realizadas, geraram os dados que serviram de base prática para a construção do modelo de Projeto de Fábrica.

Por fim, os dados encontrados na literatura e na prática foram compilados em planilhas do Excel. Dessa forma, foi possível confrontar e conciliar as informações obtidas nas duas fontes de dados tornando possível construir um modelo de Projeto de Fábrica e, com isso, cumprir o objetivo da pesquisa. Os dados encontrados bem como o modelo proposto se encontram na seção a seguir.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo foi proposto a partir dos resultados encontrados na teoria e na prática, que buscaram as principais etapas, subetapas e ferramentas utilizadas na construção de um modelo de Projeto de Fábrica. Na análise da teoria foram realizadas 3 buscas nas bases de dados Capes, Science Direct e Web Of Science, selecionando 52 artigos. Já na análise da prática, foram atingidas 34 respostas ao formulário e 2 visitas técnicas, bem como realizado o confronto entre literatura e prática. Os resultados de ambas as análises se encontram a seguir, bem como o modelo proposto a partir delas.

4.1 Análise Bibliométrica

As buscas na literatura encontraram ao todo 52 artigos, que se encontram na Figura 1. Para apoiar a análise qualitativa, isto é, do conteúdo, os artigos foram divididos de acordo com sua natureza, sendo ela prática, para os que descreveram e aplicaram as etapas e/ou ferramentas do desenvolvimento de um Projeto de Fábrica, ou teórica, em que o tema foi contextualizado.

Figura 1 – Artigos analisados

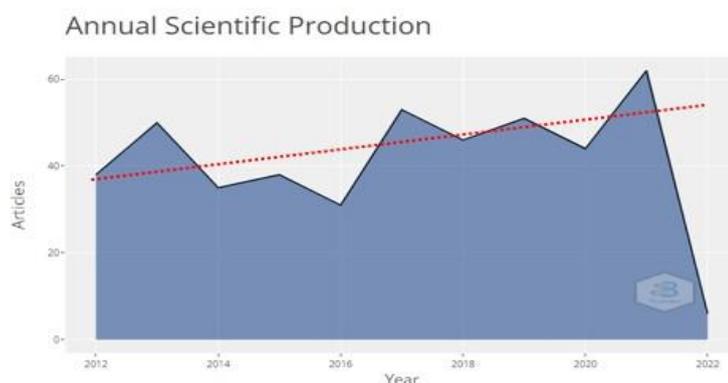
Year	Author	Title	Character:	
			practical	theoretical
2010	Samarghandi and Eshghi	An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem	X	
2010	Samarghandi et al	A particle swarm optimization for the single row facility layout problem	X	
2011	Al-Saleh	Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques	X	
2011	Battini et al	New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design	X	
2011	Datta et al	Single row facility layout problem using a permutation-based genetic algorithm	X	
2011	Jankovits et al	A convex optimisation framework for the unequal-areas facility layout problem	X	
2012	Al-Araidah et al	A multi-criteria decision-making framework for assessing the quality and cost of facility layout alternatives: a case study	X	
2012	Chen et al	Integrating sustainability within the factory planning process	X	
2012	Nee et al	Augmented reality applications in design and manufacturing		X
2012	Wang et al	DEMATEL-based model to improve the performance in a matrix organization	X	
2013	Vencheha and Mohamadghasemi	An integrated AHP–NLP methodology for facility layout design	X	
2013	Singh and Yilma	Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company	X	
2013	Carlo et al	Layout design for a low capacity manufacturing line: a case study	X	
2013	Matai et al	Modified simulated annealing based approach for multi objective facility layout problem	X	
2013	Jiang and Nee	A novel facility layout planning and optimization methodology	X	
2014	Al-Hawari et al	Application of the Analytic Network Process to facility layout selection	X	
2014	Azadeh et al	A novel algorithm for layout optimization of injection process with random demands and sequence dependent setup times	X	
2015	Azadeh et al	An integrated fuzzy simulation-fuzzy data envelopment analysis algorithm for job-shop layout optimization: The case of injection process	X	
2015	Bichescu and Raturi	The antecedents and consequences of plant closing announcements		X
2015	Caputo et al	Safety-based process plant layout using genetic algorithm	X	
2015	Duran et al	Productivity improvement by work and time study technique for earth energy-glass manufacturing company		X
2015	Lin et al	Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospital	X	
2016	Jaiswal et al	Improving Productivity in a Paint Industry using Industrial Engineering Tools and Techniques.	X	
2016	Kunz et al	Virtual reality based time and motion study with support for real walking.		X
2017	Anderson and Hodge	A method to utilize facility siting techniques in the early phases of capital projects to reduce risks and safety spending	X	
2017	Che et al	Bi-objective optimization for multi-floor facility layout problem with fixed inner configuration and room adjacency constraints	X	
2017	Lindskog et al	Production system redesign using realistic visualisation	X	
2017	Vaughen et al	CCPS project 246: Second edition of the guidelines for siting and layout of facilities	X	
2017	Zhang et al	An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches	X	
2017	Hanamant et al	Time and Motion Study for Reducing Cycle Time of Planetary Carrier.	X	
2017	Roberto et al	Methods Time Measurement on the Optimization of a Productive Process: A Case Study		X
2018	Suhardi et al	Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach	X	
2018	D'Antonio et al	An integrated mathematical model for the optimization of hybrid product-process layouts	X	
2018	Friedrich et al	Integrated slicing tree approach for solving the facility layout problem with input and output locations based on contour distance	X	
2018	Hosseini-Nasab et al	Classification of facility layout problems: a review study		X
2018	Manzini et al	An integrated framework for design, management and operation of reconfigurable assembly systems	X	
2019	Guan et al	Multi-objective particle swarm optimization for multi-workshop facility layout problem	X	
2019	Ho et al	Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication	X	
2020	Burggrän et al	Network-based factory planning for small and medium-sized enterprises	X	
2020	Gress et al	The solution of the concurrent layout scheduling problem in the job-shop environment through a local neighborhood search algorithm	X	
2020	Hernandez et al	Addressing Unequal Area Facility Layout Problems with the Coral Reef Optimization algorithm with Substrate Layers	X	
2020	John et al	Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.	X	
2020	Kovács	Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction	X	
2020	Lamba et al	Sustainable dynamic cellular facility layout: a solution approach using simulated annealing-based meta-heuristic	X	
2020	Liu et al	A heuristic algorithm combining Pareto optimization and niche technology for multi-objective unequal area facility layout problem	X	
2020	Tayal et al	Integrated frame work for identifying sustainable manufacturing layouts based on big data, machine learning, meta-heuristic and data science	X	
2020	Yudianto et al	Feasibility Study of a Facility to Produce Injection Molded Parts for Automotive Industry	X	
2021	Al-Zubaidi et al	Virtual reality based time and motion study with support for real walking.		X
2021	Marian and Matthias	Generative design in factory layout planning	X	
2021	Qaddoori et al	Analysis of drivers for solving facility layout problems: A Literature review		X
2021	Rodriguez and Oliveira	An extension of systematic layout planning by using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods: a case study	X	
2021	Zúñiga et al	Holistic simulation-based optimisation methodology for facility layout design with consideration to production and logistics constraints	X	

Fonte: autores

A análise bibliométrica é uma análise quantitativa que busca os principais estudos, países, revistas, autores, e outros pontos relacionados à construção de um Projeto de Fábrica. A terceira busca, que é a mais recente por ser realizada no dia 10 de fevereiro de 2022, encontrou 1.463 artigos, e após a aplicação dos filtros de ano de publicação, tipo de documento, idioma e categorias o resultado se restringiu a 468 artigos. Em seguida, o “plain text file” gerado pela Web Of Science com os artigos foi inserido no RStudio para apoiar uma análise bibliométrica com gráficos e diagramas.

Quanto ao ano de publicação dos artigos encontrados, apresentado na Figura 2, percebe-se por meio da linha de tendência esboçada automaticamente pelo Excel que, ao longo do tempo, o número de publicações a respeito do tema aumenta. Tal crescimento está atrelado possivelmente ao desenvolvimento de novas tecnologias trazidas pela Indústria 4.0 e aumento da competitividade das organizações, exigindo as empresas a otimizarem continuamente suas plantas, requerendo mais estudos na área (NEUMAN AND SCALICE, 2015).

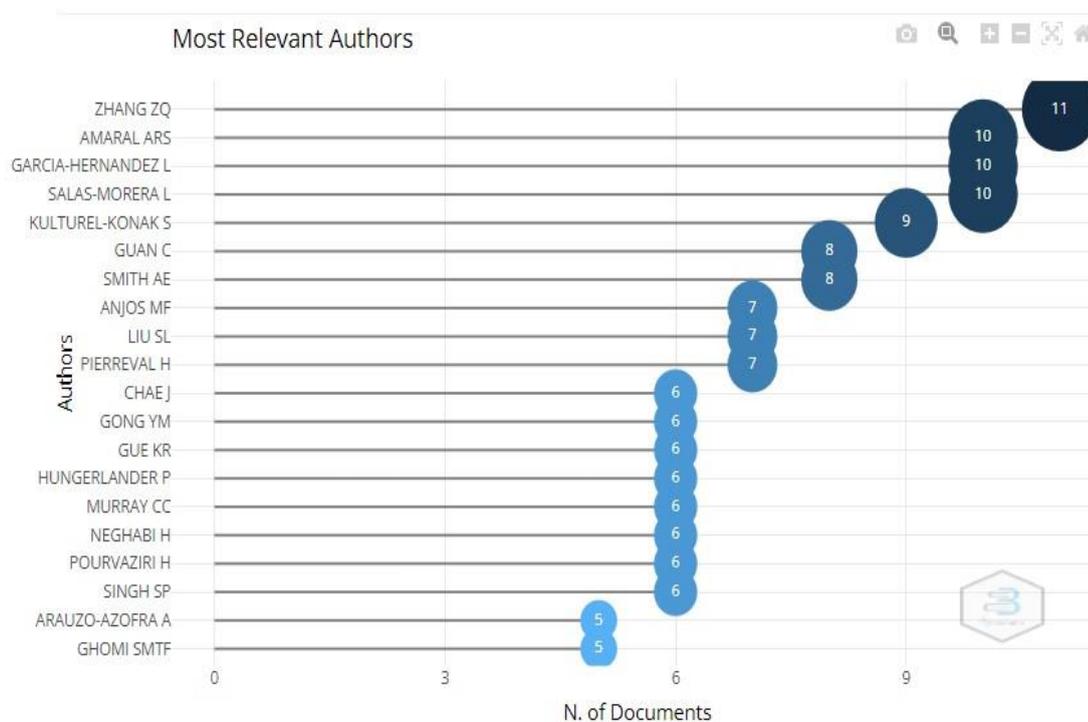
Figura 2 – Anos de publicações



Fonte: *RStudio bibliometrix* (adaptado).

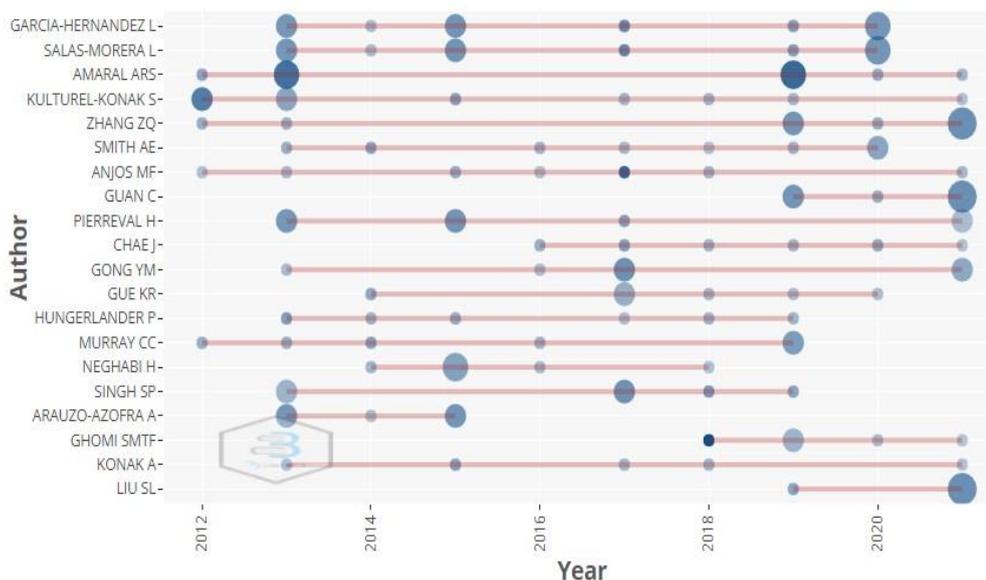
A Figura 3 mostra os autores mais relevantes da amostra, de acordo com o número de publicações. Entre os autores, se destacaram: Zhang ZQ (China), com 11 artigos, Amaral ARS (Brasil), Garcia-Hernandez L (Cuba), e Salas-Morera L (Espanha), com 10 artigos cada um, e Kulturel-Konak S (EUA), com 9 artigos. Além disso, a Figura 3 apresenta a produção científica por autor ao longo do tempo, sendo os autores que mais publicaram recentemente, de 2020 a 2022, Zhang ZQ, Guan C e Liu SL.

Figura 3 – Autores mais relevantes



Fonte: *RStudio bibliometrix* (adaptado).

Figura 4 – Principais autores
Top-Authors' Production over the Time

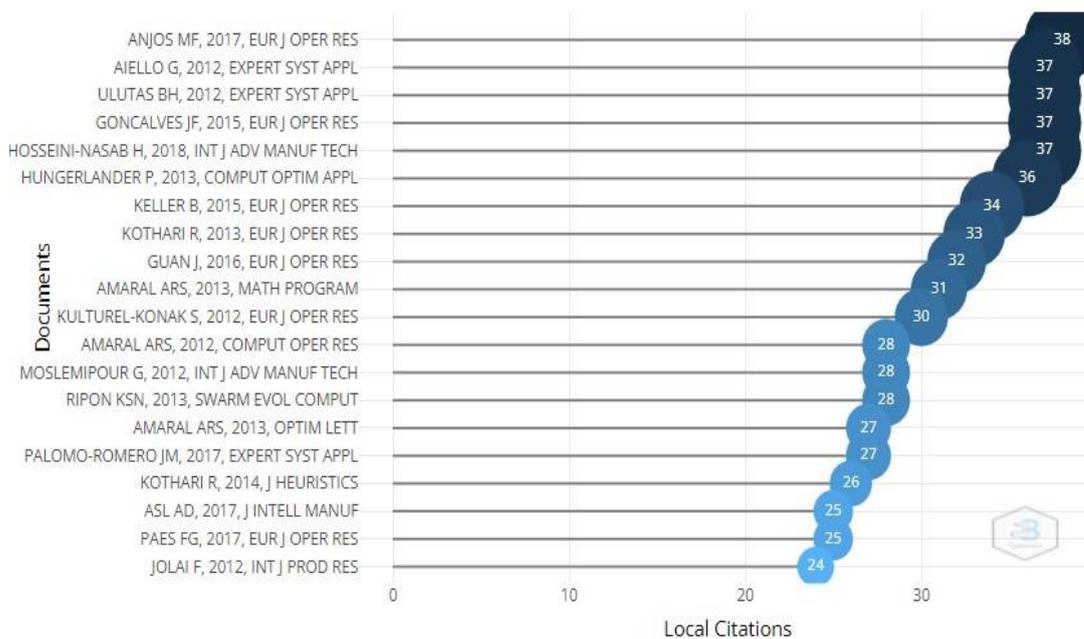


Fonte: RStudio bibliometrix (adaptado).

Os artigos mais citados pela amostra dos 468 artigos, como apresentado na Figura 5, foi o de Anjos (2017), sendo o autor classificado entre os autores mais relevantes, seguido dos de Aiello (2012), Ulutas (2012), Gonçalves (2015), e Hosseini-Nasab (2018), esses que foram citados na presente pesquisa.

Figura 5 – Artigos mais citados na amostra

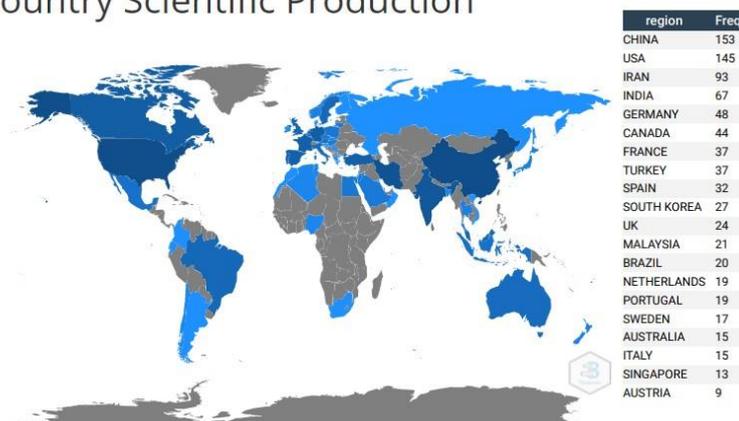
Most Local Cited Documents



Fonte: RStudio bibliometrix (adaptado).

A amostra contemplou artigos de todo o mundo, principalmente da América do Norte, América do Sul, Oceania e Europa, como mostra a Figura 6. Entre os países, os que mais publicaram foram a China, com 153 artigos, os EUA, com 145 artigos, o Irã, com 93 artigos, a Índia, com 67 e a Alemanha, com 48 artigos. Isso pode ser explicado pelo alto investimento em pesquisas realizados por empresas e universidades presentes nesses países, bem como o alto nível de tecnologia.

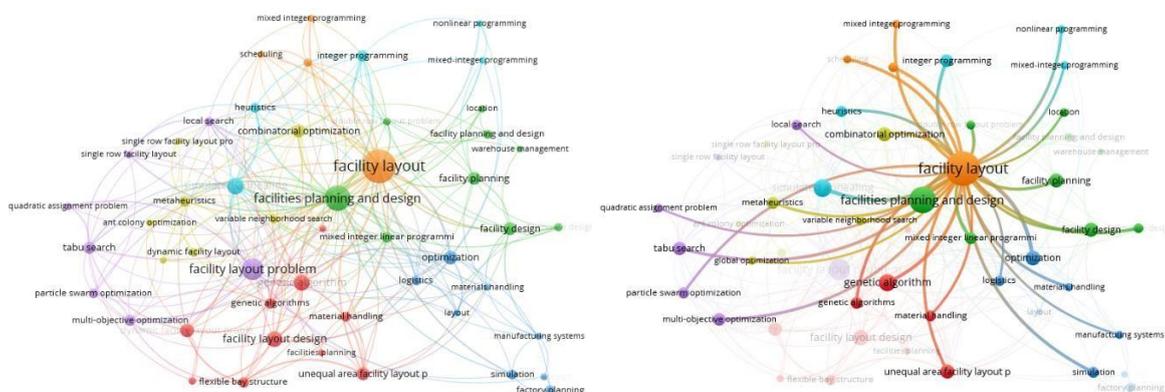
Figura 6 – Publicações ao redor do mundo
Country Scientific Production



Fonte: RStudio bibliometrix (adaptado).

Além disso, foi utilizado o software VOSViewer versão 1.6.18 para a criação de redes, que ajuda a visualizar e explorar relações entre os artigos (Eck & Waltman, 2013). Na Figura 7, gerada pelo software, se encontram as principais palavras-chaves utilizadas pelos artigos. O tamanho de cada palavra é proporcional a frequência de artigos que a utilizaram, e as linhas as ligam com outros termos em que foram utilizadas em conjunto. O termo “facility layout” foi o que mais apareceu nos estudos, combinado com tipos de programação (nonlinear, interger or mixed programming, por exemplo), com o objetivo (planning, design, management, optimization) e com ferramentas (simulation, heuristics, tabu search).

Figura 7 – Keywords



Fonte: RStudio bibliometrix (adaptado).

A partir dessa contextualização quantitativa do tema, apresenta-se nos tópicos a seguir os resultados da análise teórica, prática e o modelo proposto.

4.2 Análise teórica

Na análise da teoria foram extraídas as principais etapas, subetapas e ferramentas dos estudos classificados como “práticos”, utilizando os artigos “teóricos” para contextualizá-las, esses entre os 52 trabalhos selecionados. Para apoiar a análise, foram enumeradas as etapas (de “e1” à “e5”) e as subetapas (“s1.2”) propostas pelos artigos.

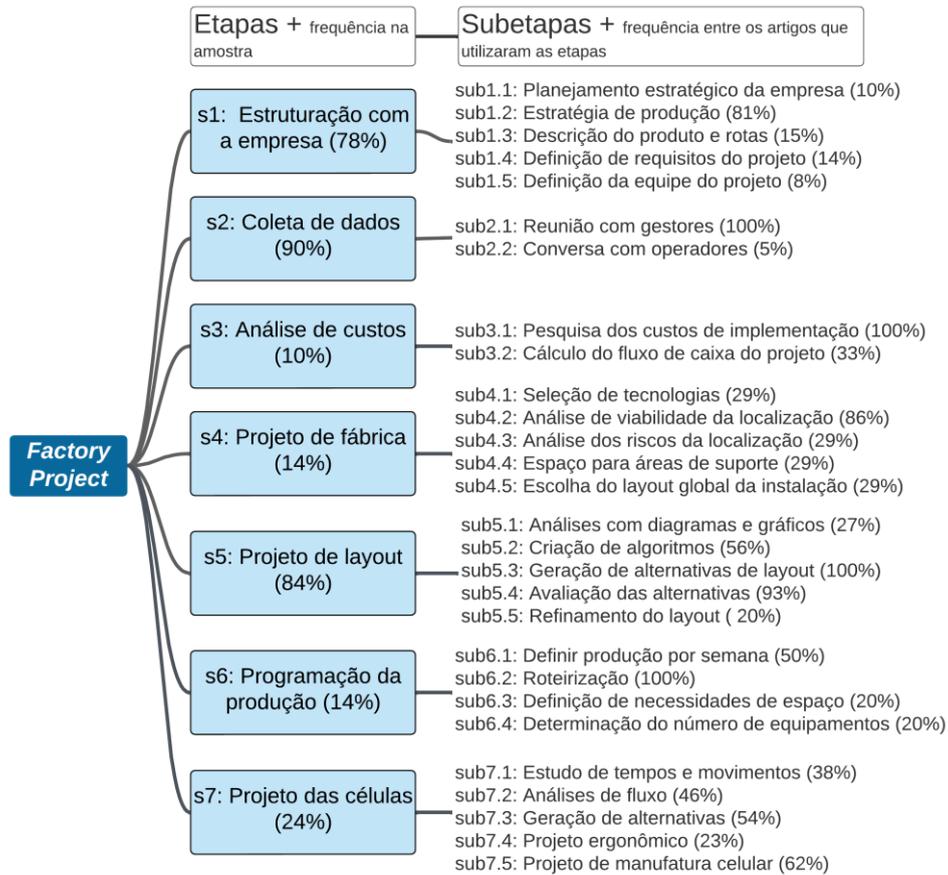
O projeto de fábrica é iniciado com a etapa 1 (“s1”), denominada “Estruturação com a empresa”, momento em que é montada a equipe envolvida no projeto, construído a estratégia da produção, os processos, rotas e componentes dos produtos (como a quantidade de matéria prima de cada um), e a definição de requisitos do projeto. Tal etapa foi utilizada por 78% dos artigos classificados como “práticos”. A etapa 2 (“s2”), “Coleta de dados”, consiste na coleta dos dados da “s1”, e foi utilizada por uma significativa parte dos artigos (90%). A etapa 3 (“s3”), “Análise de custos”, consiste no levantamento dos custos do projeto e cálculo das entradas e saídas, sendo utilizada por apenas 10% dos artigos.

A etapa 4 (“s4”), “Projeto de Fábrica” consiste no nível mais macro do planejamento de layout, onde são definidos a localização do terreno (em casos de nova fábrica), os prédios que serão construídos (que podem ser divididos por setor ou atividade), bem como a disposição deles dentro do terreno. Nela, são analisados os requisitos, que podem ser legais, como periculosidade exigências das instalações, definidos os espaços das áreas de suporte, entre outros.

Tal etapa foi utilizada por 14% dos artigos, dado que muitos focaram na otimização do layout da produção, e não na fábrica como um todo. Em seguida, é determinado o arranjo físico da produção na etapa 5 (“s5”), “Projeto de Layout”, que foi a etapa de design mais utilizada, sendo encontrada em 84% dos artigos. Nela, é realizado o planejamento do projeto, as análises de fluxo de materiais e requisitos do projeto, e gerado as alternativas de layout, que são definidas através de análises analíticas ou tecnológicas (algoritmos). Nas análises são calculadas as distâncias necessárias, e para a escolha da melhor alternativa são ponderados os indicadores dos objetivos da organização (como sustentabilidade, segurança, custo etc.).

Com a “s5” definida, a etapa 6 (“s6”), “Programação da produção”, que foi utilizada por apenas 14% dos artigos, foca em roteirizar a produção por um período determinado, podendo ser por 1 semana ou 1 mês, para gerar dados úteis para o planejamento de layout, como exigência da capacidade de armazenamento, determinação da unidade de carga (exemplo, quantidade de pallets necessários), e número de equipamentos de transporte (YUDIANTO ET AL, 2020). Por fim, na etapa 7 (“s7”), “Projeto das células” é realizado o projeto das células de trabalho, bem como estudo de tempos e movimentos, levando em conta aspectos ergonômicos e de custos das máquinas e de mão de obra, sendo utilizada por 24% dos estudos. A Figura 8 esquematiza as etapas e subetapas encontradas na literatura, a frequência de autores que utilizaram cada etapa e, entre essas, cada subetapa.

Figura 8 – Etapas e Subetapas de um Projeto de fábrica



Fonte: Autores.

Além disso, na literatura encontra-se uma grande variedade de ferramentas que são utilizadas como apoio às etapas apresentadas anteriormente. Nas etapas “s1” e “s2” foram realizadas reuniões em todos os estudos. Em “s1”, destaca-se também as reuniões com especialistas, que aumentam o embasamento e solidez do Projeto. As equações e tabelas também foram significativamente utilizadas em “s3”, junto com técnicas contábeis, realizadas por contadores e profissionais financeiros. Em “s4”, há uma grande variedade de possíveis ferramentas a serem implementadas. Entre elas, destacam-se os gráficos de afinidade entre instalações, que mostra as instalações que devem ou não ficar próximas a outras, o uso de equações, para ponderar critérios e estimar os tamanhos dos espaços, e a análise PHA, que aciona um congelamento na iteração dos desenhos do processo para que os principais estudos sejam concluídos e atualizados. As etapas “s5” e “s7” foram as que apresentaram maior uso de ferramentas tecnológicas.

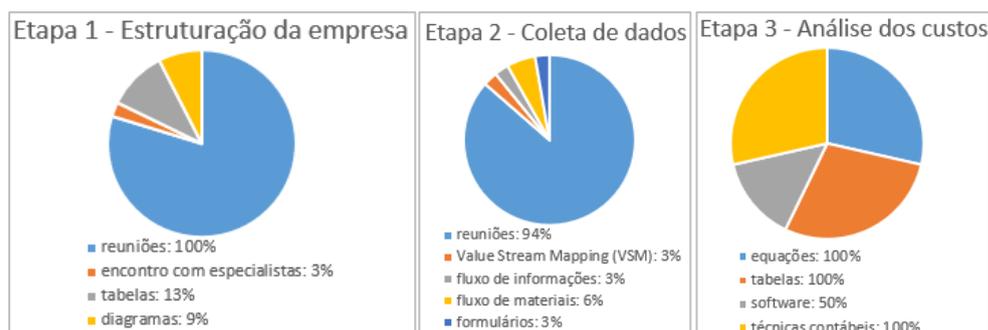
Os algoritmos, que segundo Jiang e Nee (2013) consistem na formulação matemática do problema de layout para resolvê-los, foram os mais utilizados, sendo encontrados em 74% dos estudos que apresentaram “s5” e 47% dos estudos de “s7”.

Outra ferramenta tecnológica encontrada na etapa “s5” é a simulação, que ajuda a criar e alterar o design de layout de forma virtual, sem os custos de implementação física e mudança de máquinas (ZUBAIDI ET ALL, 2021). Além disso, há a realidade virtual e aumentada que foram mais utilizadas na “s7”, dado que ajuda a simular/melhorar processos, como de montagem manual (Nee et all, 2012).

Mesmo com o uso e eficácia das ferramentas tecnológicas, ainda se encontra um significativo uso de ferramentas tradicionais, principalmente em “s5”, dado que são de mais fácil aplicação se comparadas às tecnológicas, e baixos custos de implementação. Na “s5” destacam-se o SLP (Systematic layout planning), metodologia que engloba ferramentas analíticas como fluxogramas e gráficos de acordo com Carlo et all (2013), e o diagrama de interrelações.

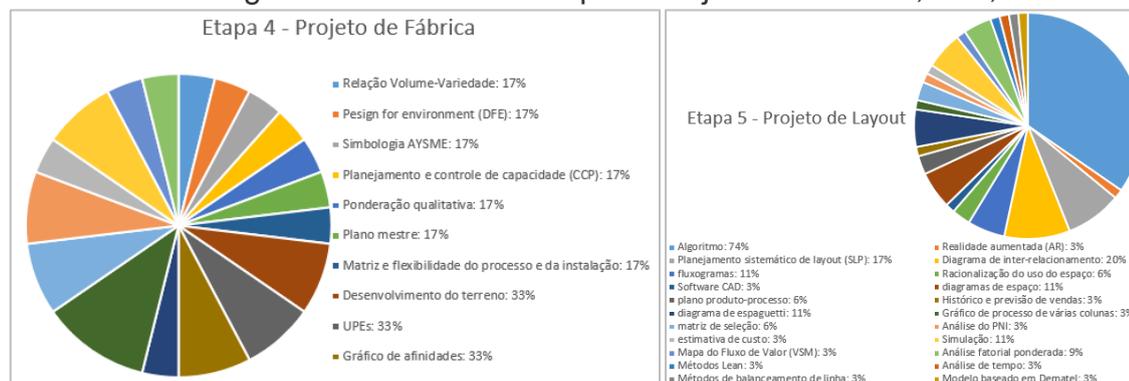
Em “s7” há uma grande frequência do MTM (methods and time measurement), que segundo Araújo et all (2017) consiste na medição de tempos e análise de métodos de trabalho buscando eliminar perdas, e o production flow analysys (PFA), que auxilia o uso do MTM. Por fim, em “s6” nos artigos foram utilizadas equações e tabelas, implementadas no Excel, para roteirizar a produção, podendo ser utilizado softwares de integração com outros setores. Outras ferramentas utilizadas na amostra e a porcentagem de artigos de cada etapa que as utilizaram se encontram nas Figuras 9, 10 e 11.

Figura 9 – Ferramentas para Projeto de Fábrica, “s1”, “s2”, “s3”



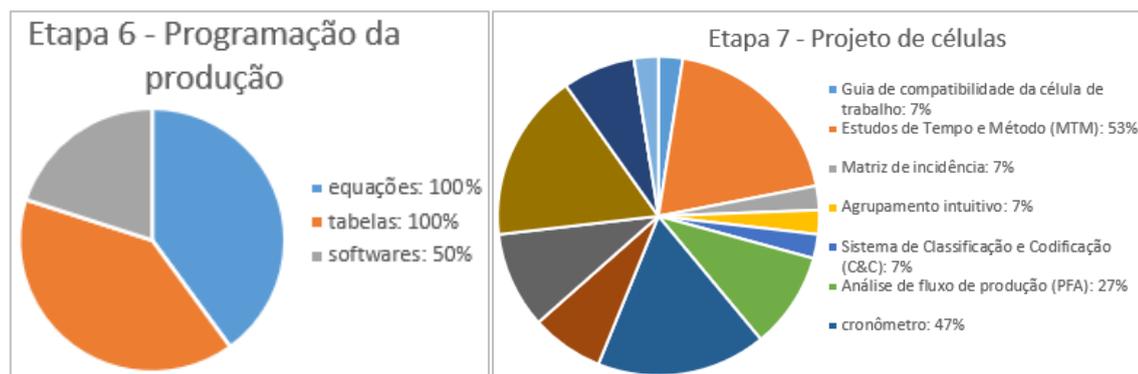
Fonte: Autores.

Figura 10 – Ferramentas para Projeto de Fábrica, “s4”, “s5”



Fonte: Autores.

Figura 11 – Ferramentas para Projeto de Fábrica, “s6”, “s7”



Fonte: Autores.

Com isso, foram encontradas as principais etapas, subetapas e ferramentas utilizadas no Projeto de Fábrica sugeridas pela literatura.

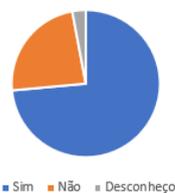
4.3 Análise prática

Na análise da prática do Projeto de Fábrica foram extraídas as principais etapas, subetapas, ferramentas e observações de empresas do polo automotivo de Curitiba e região, por meio de 34 formulários respondidos e 2 visitas técnicas. As respostas dos formulários e das visitas técnicas se encontram a seguir.

Conforme as Figuras 12 e 13, a maioria das empresas, sendo 73,5% da amostra, possuem um método de gerenciamento de Projeto de Fábrica, bem como uma equipe dedicada ao gerenciamento contínuo do Projeto. Isso mostra que as empresas entendem a importância do Projeto de Fábrica para as suas operações, e que estão abertas a melhorias contínuas em seu gerenciamento.

Figura 12 – Organizações que utilizam modelos de Projeto de Fábrica

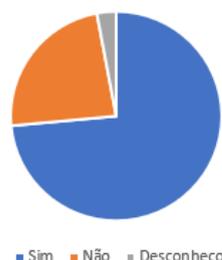
1. Sua empresa possui um método de gerenciamento de layout de fábrica conforme o apresentado no início da seção ou semelhante, com etapas a serem conduzidas?



Fonte: Autores.

Figura 13 – Equipe de Projeto de Fábrica

2- Sua empresa possui um time responsável por gerenciar e otimizar o layout da organização de forma contínua?



Fonte: Autores.

Em seguida, foram encontradas as etapas, subetapas e ferramentas mais utilizadas pelas empresas da amostra. Em “s5”, uma observação importante é que no projeto de layout, vale deixar uma área livre para montagem dos equipamentos, que pode ser utilizada também para movimentação de máquinas em momentos de maior volume de produção. Além disso, foram encontradas 3 etapas não contempladas na literatura. Na etapa “validação do projeto, conhecido como “período de testes”, utiliza-se simulações ou mudanças físicas, para verificar se o projeto pode ser implementado ou não. Em seguida, é realizado o “start of production”, onde é medida a maturidade do projeto. Por fim, algumas empresas (2,9%) rodam o ciclo PDCA.

Como é visto na Figura 14, a maior parte das empresas aplicam o Projeto de Layout (70,6%), a Programação da Produção (76,5%) e a Análise de Custos (61,8%), essas duas últimas com uma frequência significativamente maior do que as que foram encontradas na literatura. Uma provável razão disso é o fato destacado pelas empresas, de que na prática a maior parte dos Projetos de Fábrica se iniciam a partir de um “fator motivador”, este que vem na maioria das vezes da programação da produção, a partir de mudanças de lotes, de produtos, falhas nas máquinas, manutenções, entre outros, que torna necessário a mudança do layout da produção de forma contínua. Além disso, a maior restrição do Projeto de Fábrica para as empresas é os custos do projeto.

Figura 14 – Etapas de Projeto de Fábrica utilizadas na prática

Etapa	Nome	Quantidade	%
1	Estruturação da empresa	20	58.8
2	Coleta de dados	21	61.8
3	Análise de custos	20	58.8
4	Projeto de fábrica	24	70.6
5	Projeto de layout	26	76.5
6	Programação da produção	17	50
7	Projeto de células	21	61.8
8	Diretriz de planejamento	1	2.9
9	Análise da cadeia de valor e fluxo de informações	1	2.9

Fonte: Autores.

Além disso, pela Figura 15 percebe-se que as ferramentas utilizadas na prática se assemelham muito às propostas na literatura. Como apontado anteriormente, Baio Junior e Carrer (2022) apontam que mesmo com o crescimento da Indústria 4.0 ao redor do mundo, essa ainda não é uma realidade para a maioria das empresas no Brasil, fato percebido na amostra que utilizou majoritariamente o uso de ferramentas qualitativas, entre elas, destaca-se a análise da cadeia de valor e o uso de ferramentas de melhoria contínua, como ferramentas do Lean e o ciclo PDCA, que contribuem tanto para o gerenciamento de layout, quando para o gerenciamento das operações, por permitirem identificar desperdícios e oportunidades de melhoria.

Figura 15 – Ferramentas de Projeto de Fábrica utilizadas na prática

Etapa	Nome	Quantidade	%
1	Reuniões	26	76.5
2	Encontros com especialistas	20	58.8
3	Diagramas	23	67.6
4	Ferramentas quantitativas	17	50
5	Balanceamento de linha	20	58.8
6	Ferramentas de melhoria de processos	22	64.7
7	SLP	9	26.5
8	Ferramentas de tomada de decisão	7	20.6
9	Não usa ferramentas de layout	3	8.7
10	Ferramentas próprias	1	2.9
11	Mudanças definidas por superiores	1	2.9

Fonte: Autores.

Dessa forma, a partir dos resultados encontrados na literatura e na prática, se torna possível a elaboração do modelo de Projeto de Fábrica, descrito a seguir.

4.4 Discussão: Modelo proposto de Projeto de Fábrica

A fim de compilar os resultados encontrados nas 88 fontes de dados, sendo elas os 52 artigos, as 34 respostas do formulário e as 2 visitas técnicas, torna-se possível a elaboração de um modelo de Projeto de Fábrica com base na teoria e na prática, apresentado na Figura 16, e composto por 10 etapas.

A etapa 1 dá início ao Projeto de Fábrica, por isso, a empresa, seus objetivos e processos devem ser estruturados e alinhados à equipe do projeto, bem como seus requisitos, identificando normas nacionais e internacionais relacionadas à construção e ao setor (ANDERSON AND HODGE, 2017). Burggräf et al (2020) sugerem alianças com especialistas de universidades a fim de aumentar o know-how do projeto, pois geralmente não há especialistas no assunto por não haver um departamento específico do projeto de fábrica nas empresas, e sim gerentes de projeto que se responsabilizam pelo projeto como segundo plano. Com isso, torna-se possível aliar o conhecimento teórico de universidades com o prático de gerentes da organização.

Na etapa 2 são coletados dados como as premissas do projeto, a avaliação do processo e do fluxo de valor, avaliação da logística e é realizado o reconhecimento e articulação do problema, através de ferramentas como Mapa do Estado Atual (VSM), fluxo de informações e fluxo de materiais. Uma dificuldade que foi identificada nas fontes de dados foi que pode haver falta de dados armazenados nos sistemas informatizados da empresa, por isso a importância da empresa se estruturar para o projeto em “s1”. Dessa forma, há a possibilidade de ser necessário coletar dados manualmente (como coletar dados de almoxarifado, manutenção e estoque para ter acesso a todas as informações da etapa 1).

A etapa 3 ocorre tanto no início do projeto, levantando uma estimativa de custos do projeto e limitações financeiras, quanto no final, calculando o valor presente das entradas e saídas para comparar alternativas e analisar a viabilidade financeira do projeto (YUDIANTO ET AL, 2020).

Em seguida, na etapa 4 é estudado a viabilidade da localização, seus riscos e o layout geral da instalação com atenção ao espaço das áreas de suporte, refinamento do Projeto e Construção da fábrica. Vaughen et al (2017) apontam que nessa etapa deve se considerar pontos como infraestrutura, topografia, condições climáticas, segurança, meio ambiente, ambiente, acessos a respostas de emergência e transporte. Além disso, pode ser realizada após a etapa 3, como se encontra na Figura 16, após “s7” ou ao final do projeto. Em seguida, é realizado o estudo do layout da produção em “s5”, que só pode ser realizado se houver uma análise da cadeia de valor e do fluxo de informação. Para as etapas 4 e 5, Vaughen et al (2017) recomendam utilizar normas legais para calcular a distância.

Para isso, segue os principais passos: 1) identificar os problemas que podem afetar o layout, como processos com riscos de fogo, explosões e toxicidade, cheiro, barulho, luz; 2) determinar as consequências internas e externas desses perigos (para as pessoas, propriedade de ambiente); 3) determinar as distancias de uma consequência de incêndio, de explosão, de toxicidade e outras; 4) se as distancias forem aceitáveis dentro do modelo, otimizar todas as distancias entre os blocos de processos para ajudar a reduzir o risco operacional (Bruce K. Vaughen et al). Além disso, para a análise de alternativas os autores apontam é feita a avaliação de possíveis impactos em problemas de localização e layout de processos novos, temporários ou expandidos em uma instalação existente. As possíveis mudanças que devem ser previstas são mudanças na vizinhança, expansões da fábrica, respostas a emergências ou acessibilidade de segurança, novas operações ou na acessibilidade de manutenção.

A etapa 6, onde é programada a produção por um tempo específico, possui grande importância para a etapa 7, que consiste no layout da célula de trabalho. Além disso, Yudianto et al (2020) consideram pontos definidos em “s6”, como a taxa média de produção diária, para definir a quantidade de funcionários necessários, determinar os equipamentos, gerar alternativas e ponderar as melhores. Com base na experiência adquirida durante o projeto piloto, um programa de melhoria complexo (incluindo processos adicionais, áreas de produção etc.) deve ser definido. Os objetivos, as direções e as áreas de investigação devem ser identificadas (KOVÁCS, 2020). Tal etapa deve ser realizada com atenção, dado que segundo Bichescu e Raturi (2015) um forte preditor de fechamento de fábricas é o declínio do desempenho da indústria, representada, por exemplo, por deteriorações nos níveis médios de giro de estoque, métrica estimada na etapa 6.

Por fim, na etapa 8 (Validação do projeto) são realizados testes para verificar a eficácia do projeto de fábrica, que podem ser realizados virtualmente (simulação) ou fisicamente, e na etapa 9 (Início da Produção) é medida a maturidade por meio de um checklist onde verifica-se se todas as premissas foram atendidas e se o projeto de layout foi implementado seguindo os padrões de produção em série já estabelecidos pela empresa. Em seguida, na etapa 10 o ciclo do PDCA roda e a melhoria contínua é implementada no projeto.

Figura 16 – Modelo de Projeto de Fábrica

Etapa	Nome	Literatura	Prática	Modelo
1	Estruturação da empresa	X	X	X
2	Coleta de dados	X	X	X
3	Análise de custos	X	X	X
4	Projeto de fábrica	X	X	X
5	Projeto de layout	X	X	X
6	Programação da produção	X	X	X
7	Projeto de células	X	X	X
8	Validação do Projeto		X	X
9	Início da produção		X	X
10	Ciclo PDCA e melhoria contínua		X	X

Fonte: Autores.

Quanto às ferramentas utilizadas como apoio ao processo de elaboração do Projeto de Fábrica, há uma grande variedade e opções tanto analíticas, como tecnológicas. Entre elas, destacam-se os fluxogramas, tabelas, softwares de plantas e simulações, e métodos Lean para melhoria contínua e redução de desperdícios no Projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu o objetivo de propor um modelo de projeto de fábrica sob as perspectivas das empresas fornecedoras do setor automobilístico, após a análise do contexto das pequenas e grandes empresas no Brasil frente ao cenário da Indústria 4.0. Para atingi-lo foi realizada 2 revisões sistemáticas da literatura a partir de 3 buscas, totalizando 52 artigos, bem como alcançadas 34 respostas no formulário pré-estabelecido e realizadas 2 visitas técnicas. Entre os principais resultados, tem-se que:

- O Projeto de Fábrica é uma atividade contínua e dinâmica, podendo agregar competitividade as organizações;
- Tanto na literatura quanto na prática, esta de empresas do setor automobilístico de Curitiba e região (PR – Brasil), mesmo com o avanço da indústria 4.0 e suas tecnologias de apoio, ainda se destaca o uso de ferramentas analíticas, como diagramas e Lean Manufacturing;
- Etapas complexas como “projeto de layout” e “projeto das células” são as que mais utilizam ferramentas tecnológicas, como algoritmos, simulação, realidade virtual e aumentada etc.;

Dessa forma, destaca-se a relevância da pesquisa para a academia, dado que compilou artigos e formulários respondidos por empresas para analisar as principais etapas, subetapas e ferramentas para um Projeto de Fábrica. Com isso, o estudo propôs um modelo de Projeto de Fábrica considerando os dois cenários, literatura e prática.

Além disso, os resultados que foram construídos a partir do setor automobilístico podem ser aplicados também por empresas de outros setores, se adaptando a empresas de diferentes realidades e auxiliando a sociedade e a indústria a gerenciarem seus Projetos de Fábrica. Para futuras pesquisas, sugere-se aplicar o modelo desenvolvido no presente artigo, para complementar e contribuir para o tema de Projeto de Fábrica e Layout.

ELABORATION OF A FACTORY PROJECT MODEL FROM THE PERSPECTIVES OF THE AUTOMOBILE INDUSTRY IN BRAZIL

ABSTRACT: The Factory Project consists of the planning of production systems ranging from the macro level, such as the location of the land, to the micro level, with the definition of the work cell space. It is a complex task that must consider different criteria, such as low cost, high productivity and high security. With Industry 4.0, several methodologies and tools were developed to contribute to the elaboration of a factory project, especially in the major manufacturers of the automotive sector, which have been converging with other technological fields, such as artificial intelligence. However, studies show that digitization and automation are not yet a reality for most Brazilian companies. This study aims to propose a factory design model that meets the perspectives of companies supplying the automotive sector, after analyzing the context of small and large companies in Brazil in relation to Industry 4.0. Using the Design Science Research (DSR) methodology, two systematic reviews of the literature were carried out and data collected through questionnaires, interviews and visits to companies that supply the automotive sector in Curitiba and region. As a result, a model was created that meets the needs of small and medium-sized companies, with steps and tools that can be adapted to different realities, enabling them to reduce waste, and increase productivity and competitiveness.

KEYWORDS: Factory Project; Facility Design; Layout; Work stations.

Originals recebidos em: 08/06/2023
Aceito para publicação em: 24/09/2024

REFERÊNCIAS

- AL-HAWARI, T.; MUMANI, A.; MOMANI, A. Application of the Analytic Network Process to facility layout selection, **Journal of Manufacturing Systems**, Volume 33, Issue 4, 2014.
- AL-SALEH, K. S.; Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques, **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, v. 23, n. 1, p. 33-41, 2011.
- AL-ZUBAIDI, S. Q. D., FANTONI, G., FAILLI, F., Analysis of drivers for solving facility layout problems: A literature review, **Journal of Industrial Information Integration**, v 21, 2021.
- ALSYOUF, I.; AL-ARAIHAH, O.; TATES, M.; CIGANOVIC, R. A multi-criteria decision-making framework for assessing the quality and cost of facility layout alternatives: a case study, 2011.
- ANDERSON, T. H.; HODGE, P. R. A method to utilize facility siting techniques in the early phases of capital projects to reduce risks and safety spending, **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Volume 49, Part B, 2017.
- AZADEH, A.; HAGHIGHI, S. M.; ASADZADEH, S.M.; A novel algorithm for layout optimization of injection process with random demands and sequence dependent setup times, **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 2, p. 287-302, 2014.
- AZADEH, A.; MOGHADDAM, M.; ASADZADEH, S.M.; NEGAHBAN, A.; An integrated fuzzy simulation-fuzzy data envelopment analysis algorithm for job-shop layout optimization: The case of injection process with ambiguous data, **European Journal of Operational Research**, v. 214, n. 3, p. 768-779, 2011.
- BAIO JUNIOR, A. A., & CARRER, M. J. Adoption of Industry 4.0 technologies: an analysis of small and medium-sized companies in the state of São Paulo, Brazil. **Gestão & Produção**, 29, e122, 2022.
- BATTINI, D.; FACCIO, M.; PERSONA, A; SGARBOSSA, F.; New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design, **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 41, n. 1, p. 30-42, 2011.
- BICHESCU, B.; RATURU, A. The antecedents and consequences of plant closing announcements, **International Journal of Production Economics**, Volume 168, 2015.
- BURGGRÄF, P., ADLON, T., HAHN, V., & SCHULZ-ISENBECK, T. Fields of action towards automated facility layout design and optimization in factory planning – A systematic literature review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 35, 864-871. 2021.
- BURGGRÄF, P.; DANNAPFEL, M.; SCHNEIDERMAN, D.; ESFAHANI, M. E.; Networkbased factory planning for small and medium-sized enterprises, **Production Planning & Control**, 33:12, 1173-1181, 2022.
- CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M.; PALUMBO, M.; SALINI, P.; Safety-based process plant layout using genetic algorithm, **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 34, p. 139-150, 2015.
- CHEMIM, L. S.; SOTSEK, N. C.; KLEINA, M. Layout optimization methods and tools: A systematic literature review. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.l.], v. 16, n. 4, p. 59, 2021.
- DE CARLO, F.; ARLEO, M. A.; BORGIA, O.; TUCCI, M.; Layout Design for a Low Capacity Manufacturing Line: A Case Study, **International Journal of Engineering Business Management**, 2013.
- CHE, A.; ZHANG, Y.; FENG, J.; Bi-objective optimization for multi-floor facility layout problem with fixed inner configuration and room adjacency constraints, **Computers & Industrial Engineering**, 2017.

CHEN, D.; HEYER, S.; SELIGER, G.; Kjellberg, T.; Integrating sustainability within the factory planning process, **CIRP Annals**, Volume 61, Issue 1, 2012.

D'ANTONIO, G.; SAJA, A.; ASCHERI, A.; MASCOLO, J.; CHIABERT, P.; An integrated mathematical model for the optimization of hybrid product-process layouts, **Journal of Manufacturing Systems**, 2018.

DATTA, D.; AMARAL, A. R.S.; FIGUEIRA, J. R.; Single row facility layout problem using a permutation-based genetic algorithm, **European Journal of Operational Research**, v. 213, n. 2, p. 388-394, 2011.

DURAN, C; CETINDERE, A; AKSU, Y E; Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company, **Procedia Economics and Finance**, v. 26, p. 109-113, 2015.

FRIEDRICH, C.; KLAUSNITZER, A.; LASCH, R.; Integrated slicing tree approach for solving the facility layout problem with input and output locations based on contour distance, **European Journal of Operational Research**, v. 270, n. 3, p. 837-851, 2018.

GARCIA-HERNANDEZ, L., ARAUZO-AZOFRA, A., SALAS-MORERA, L., PIERREVAL, H., & CORCHADO, E. Facility layout design using a multi-objective interactive genetic algorithm to support the DM. **Expert Systems**, 30(2), 109-125., 2013.

GRESS, E. S. H.; MORA, J. C. S. T.; ROMERO, N. H.; MARÍN, J. M.; EULOGIO, P. L.; PEREA, J. O. The solution of the concurrent layout scheduling problem in the job-shop environment through a local neighborhood search algorithm, **Expert Systems with Applications**, V. 144, 2020.

GUAN, C.; ZHANG, Z.; LIU, S.; GONG, J.; Multi-objective particle swarm optimization for multi-workshop facility layout problem, **Journal of Manufacturing Systems**, v. 53, p. 32-48, 2019.

HANAMANT, K.; TUSHAR, S.; ANIKET, K.; MAHESH, H.; VINOD, M. Time and Motion Study for Reducing Cycle Time of Planetary Carrier. **International Journal for Scientific Research & Development**, v. 5, n. 4, p. 2321–613, 2017.

HERNANDEZ, L. G.; HERNANDEZ, J.A. G.; MORERA, L. S.; MUÑOZ, C. C.; ALGHAMDI, N.S.; DE OLIVEIRA, J. V.; SANZ, S. S. Addressing Unequal Area Facility Layout Problems with the Coral Reef Optimization algorithm with Substrate Layers, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Volume 93, 2020.

HO, N.; NGOOI, S-D; CHUI, C-K; Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication, **Journal of Manufacturing Systems**, v. 50, p. 163-179, 2019.

HOSSEINI-NASAB, H., FEREIDOUNI, S., FATEMI GHOMI, S.M.T. et al. Classification of facility layout problems: a review study. **Int J Adv Manuf Technol** 94, 957–977, 2018.

JAISWAL, A.; SANE, S. M.; KARANDIKAR, V. Improving Productivity in a Paint Industry using Industrial Engineering Tools and Techniques. **International Journal of Advance Industrial Engineering**. 2016.

JANKOVITS, I; LUO, C; ANJOS, M F.; VANNELLI, A; A convex optimisation framework for the unequal-areas facility layout problem, **European Journal of Operational Research**, v. 214, n. 2, p. 199-215, 2011.

JIANG, S.; NEE, A.Y.C.; A novel facility layout planning and optimization methodology, **CIRP Annals**, v. 62, n. 1, p. 483-486, 2013.

KOVÁCS, G. Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction, **International Journal of Production Research**, 58:10, 2916-2936, 2020.

KUNZ, A.; ZANK, M.; NESCHER, T.; WEGENER, K.; Virtual Reality Based Time and Motion Study with Support for Real Walking, **Procedia CIRP**, v. 57, p. 303-308, 2016.

LAMBA, K., KUMAR, R., MISHRA, S. et al. Sustainable dynamic cellular facility layout: a solution approach using simulated annealing-based meta-heuristic. **Ann Oper Res** 290, 5–26, 2020.

LIN, QL., LIU, HC., WANG, DJ. et al. Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospitals. **J Intell Manuf** 26, 87–95, 2015.

LINDSKOG, E. VALLHAGEN, J., JOHANSSON, B.; Production system redesign using realistic visualisation, **International Journal of Production Research**, 55:3, 858-869, 2017.

LACERDA, D.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**. 20. 741-761, 2012.

LIU, J; LIU, J.; YAN, X.; PENG, B.; A heuristic algorithm combining Pareto optimization and niche technology for multi-objective unequal area facility layout problem, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 89, 2020.

MANZINI, M.; UNGLERT, J.; GYULAI, D.; COLLEDANI, M.; JAUREGUI-BECKER, J. M.; MONOSTORI, L.; URGO, M.; An integrated framework for design, management and operation of reconfigurable assembly systems, **Omega**, v. 78, p. 69-84, 2018.

MATAI, R.; SINGH, S. P.; MITTAL, M.L. Modified simulated annealing based approach for multi objective facility layout problem. **International Journal of Production Research**. 2013.

MOURTZIS, D.; ANGELOPOULOS, J.; DIMITRAKOPOULOS, G.; Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.0 engineers, **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 361-366, 2020.

NEE, A.Y.C.; ONG, S.K.; CHRYSOLOURIS, G.; MOURTZIS, D.; Augmented reality applications in design and manufacturing, **CIRP Annals**, v. 61, n. 2, p. 657-679, 2012.

NEUMANN, C., & SCALICE, R. K. Projeto de fábrica e layout. Rio de Janeiro: **Elsevier.**, 2015.

SÜßE M., PUTZ, M., Generative design in factory layout planning, **Procedia CIRP**, v 99, 2021.

ROBERTO, M.; ARAÚJO, A.; VARELA, L. R., MACHADO, J.; MENDONÇA, J. P.; Methods time measurement on the optimization of a productive process: A case study, **4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)**, 2017.

RODRIGUEZ, A. R. S. C., OLIVEIRA, P. V. D. An extension of systematic layout planning by using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods: a case study, **European Journal of Industrial Engineering**, v 16, n 1, 2021.

ROH, T., YOON, B. Discovering technology and science innovation opportunity based on sentence generation algorithm, **Journal of Informetrics**, v. 17, i. 2, 2023.

SAMARGHANDI, H. e ESHGHI, K. An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem, **European Journal of Operational Research**, v. 205, n. 1, p. 98 – 105, 2010.

SAMARGHANDI, H.; TAABAYAN, P.; JAHANTIGH, F. F.; A particle swarm optimization for the single row facility layout problem, **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 529-534, 2010.

SINGH; A. PAL; YILMA, M.; Production Floor Layout Using Systematic Layout Planning in Can Manufacturing Company; **International Conference on Control, Decision and Information Technologies**, 2013.

SENAI/PR. Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031. Disponível em: <https://rotasestrategicas.org.br/rotas-estrategicas/>. Curitiba: Senai/PR. 2020. 100 p. : il. ; 21 x 28 cm. (**Roadmap Automotivo e Autopeças, v.5**). ISBN 978.85.5520.044-1. <acesso em 12 de janeiro de 2023>

SOTSEK, N. C.; VIVAN, M. F.; OLIVEIRA, A. R.. Time and motion study in the industry 4.0 era: A systematic review of the literature. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.l.], v. 17, n. 3, p. 01, 2022.

SUHARDI, B. AND JUWITA, E., ASTUTI, R. D. Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach. **Cogent Engineering**, v. 6, 2019.

TAYAL, A.; SOLANKI, A. S.; SINGH, P.; Integrated framework for identifying sustainable manufacturing layouts based on big data, machine learning, meta-heuristic and data envelopment analysis, **Sustainable Cities and Society**, v. 62, 2020.

VAUGHEN, B.K., TIMM, M., CONNOLLEY, D. AND COWLEY, C. CCPS project 246: Second edition of the guidelines for siting and layout of facilities. **Proc. Safety Prog.**, 37: 311321., 2018.

VENCHEH, A. H., & MOHAMADGHASEMI, A. An integrated AHP–NLP methodology for facility layout design. **Journal of Manufacturing Systems**, 51(7), 2155-2173. 2013.

WANG, C. H., LIN, Y. H., LIN, C. L., CHUNG, C. H., LEE, M. T. DEMATEL-based model to improve the performance in a matrix organization. **Expert Systems with Applications**, V. 39, n 5, p 4978-4986, 2012.

YUDIANTO, A., TAN, H. QU, Z., XUE, Q. Feasibility Study of a Facility to Produce Injection Molded Parts for Automotive Industry. **International Journal of Production Management and Engineering**, 8(1):45, 2020.

ZHANG, X., NISHI, T., TURNER, S. D. O., OGA, K., LI, X. An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: **Modeling and solution approaches**. **Omega**, v. 68, p 85-94, 2017.

ZÚÑIGA, E. R., GARCÍA, E. F., MORIS, M. U., FATHI, M., SYBERFELDT, A. Holistic simulation-based optimisation methodology for facility layout design with consideration to production and logistics constraints. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 235, 14. 2021.