

A RECONFIGURABILIDADE NAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Marina Aparecida Barbosa de Souza¹ (IC), Isabela Maganha (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Barreiras de implementação. Questionário de pesquisa. Reconfigurabilidade. Sistema de produção reconfigurável.

Introdução

A competição econômica global e as rápidas mudanças tecnológicas e sociais impuseram novos desafios econômicos à produção, que impactam as metas e a capacidade de se adaptar às oscilações de mercado.

Os sistemas de produção reconfiguráveis (SPRs), cuja principal característica é a reconfigurabilidade, são uma estratégia que pode auxiliar as indústrias a atingir a eficiência de custos e a mudança rápida de funcionalidade e capacidade, por meio de modularidade, integrabilidade, customização, convertibilidade, escalabilidade e capacidade de diagnóstico.

A customização, a escalabilidade e a convertibilidade podem contribuir para a redução de custos de manutenção, do sistema e de produção, ao passo que a modularidade, a integrabilidade e a capacidade de diagnóstico podem auxiliar na redução do esforço e tempo de reconfiguração (KOREN *et al.*, 1999).

Em termos operacionais/táticos, a reconfigurabilidade pode ser entendida como a capacidade de reorganizar os componentes no chão de fábrica para adaptações às novas demandas ambientais e tecnológicas e, em termos táticos/estratégicos, como um aspecto que trata, em um mercado econômico, o projeto de máquinas e sistemas para produtos personalizados (MAGANHA; SILVA; FERREIRA, 2018).

O objetivo desta pesquisa é estudar o conceito da reconfigurabilidade e identificar o nível de reconfigurabilidade presente nas indústrias brasileiras, bem como as barreiras de implementação.

Para alcançar esses objetivos, foi realizada uma revisão sistemática da literatura em 44 artigos e uma *survey*, cujo questionário foi aplicado em 66 indústrias brasileiras.

Metodologia

Uma revisão da literatura foi realizada para identificar estudos existentes relacionados à reconfigurabilidade. A pesquisa foi conduzida na base de dados *Web of Science*.

O período examinado abrangeu os trabalhos de 1900 até agosto de 2022, referente a todo o período disponível da base de dados. As palavras-chave selecionadas para a busca foram *reconfigurability* no campo título e *manufacturing system* em todos os campos, combinadas com o operador booleano (*AND*).

A busca resultou em 55 artigos. Os critérios de inclusão dos artigos foram: artigos sem duplicidade, redigidos em inglês, com conjunto de palavras-chaves e resumo coerentes com o tema. Os dados foram extraídos da base de dados e tratados em uma planilha do Microsoft Excel®.

Por fim, 44 artigos foram selecionados para a análise completa, que considerou ano de publicação, periódico, objetivos, país de filiação e país estudado, metodologia, características centrais da reconfigurabilidade, níveis onde a reconfigurabilidade é implementada e resultados. A revisão da literatura foi a base para a construção dos conhecimentos sobre a reconfigurabilidade.

Além disso, foi realizada uma *survey*, para explorar a reconfigurabilidade nas indústrias brasileiras. Para tal, o questionário desenvolvido por Maganha, Silva e Ferreira (2018) foi adaptado e disposto no aplicativo de gerenciamento de pesquisas, *Google Forms*.

O questionário é constituído por 4 grupos de perguntas, cuja maioria adota uma escala *Likert* de 7 pontos, sendo 1 para discordo totalmente e 7 para concordo totalmente. Depois, um banco de dados de indústrias transformadoras e extrativas brasileiras foi elaborado para a distribuição do questionário.

Antes da distribuição em massa, um teste piloto foi aplicado em duas indústrias de grande porte, no intuito de averiguar a clareza das perguntas, bem como a necessidade de possíveis alterações.

Como não houve sugestões, iniciou-se a distribuição para 656 indústrias, no período de 02/2022 até 08/2022. A distribuição para 125 indústrias ocorreu via e-mail, que foram extraídos dos *websites* das empresas.

No entanto, essa estratégia não se mostrou eficaz, pois nenhuma resposta foi obtida. Portanto, outra estratégia foi adotada. Os colaboradores das indústrias passaram a

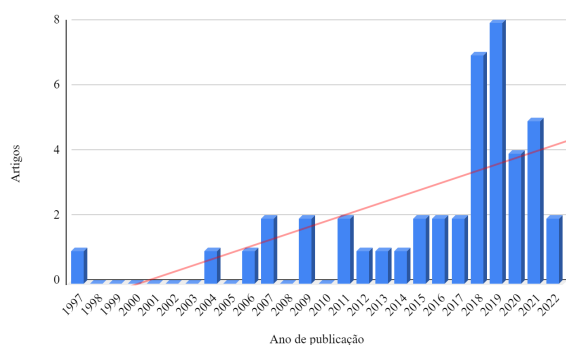
ser contatados pela rede social de negócios (LinkedIn) de forma personalizada.

Assim, 531 indústrias foram contatadas e 66 respostas úteis foram obtidas, o que representa uma taxa de resposta de 10,06%. Os dados coletados foram espelhados e analisados em uma planilha do Microsoft Excel®.

Resultados e discussão

Os artigos incluídos na revisão sistemática da literatura foram publicados entre 1997 e 2022. Há um crescimento significativo no número de trabalhos publicados a partir de 2018, conforme pode ser observado na Figura 1.

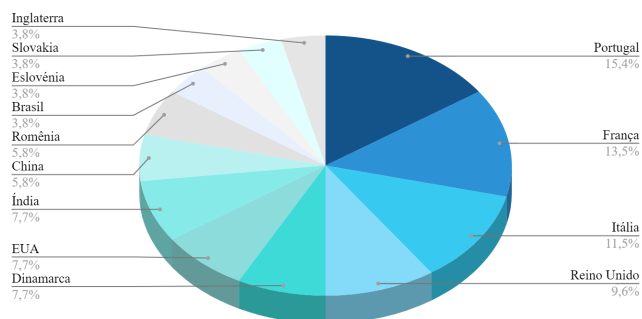
Figura 1 – Distribuição das publicações por ano



Fonte: Elaboração própria (2022)

Todos os artigos foram publicados em revistas e conferências internacionais. A filiação dos autores se concentra em Portugal, França, Itália e Reino Unido. O Brasil integra o *ranking* com 2 filiações de autores, conforme a distribuição na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição de filiação por país



Fonte: Elaboração própria (2022)

Entre os trabalhos, a revisão da literatura é a metodologia mais utilizada (29,5%), seguida pelo estudo de caso (27,3%), modelagem (15,9%), *survey* (13,6%) e metodologia de projeto (13,6%). Entretanto, Portugal,

Dinamarca e Índia são os únicos países que foram estudados. Ainda não há estudos aplicados no Brasil.

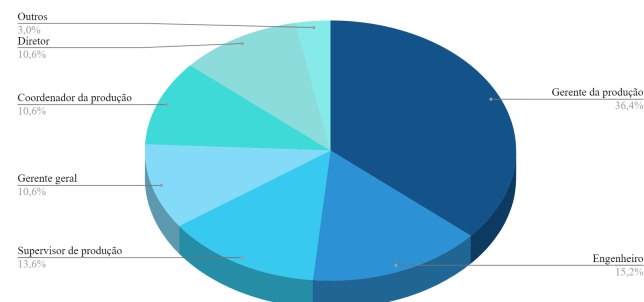
De modo geral, os artigos discutem os conceitos da reconfigurabilidade, as características, os níveis em que a reconfigurabilidade é implementada, as métricas e algumas estruturas de implementação, e relacionam tais aspectos aos impactos no sistema produtivo.

A reconfigurabilidade pode estar presente em vários níveis: sistema, fábrica, célula, equipamento e serviço. Entre as suas características centrais, a modularidade é abordada na maioria dos trabalhos teóricos (32), enquanto a escalabilidade é a menos explorada (6).

No que tange a aplicação do questionário, a amostra é caracterizada por indústrias brasileiras, sendo 92,4% de grande porte (mais de 250 colaboradores), 4,5% de médio porte (entre 50 a 249 colaboradores) e 3,0% de pequeno porte (entre 10 a 49 colaboradores).

Em relação aos cargos dos respondentes, os gerentes de produção representam 36,4%, engenheiros 15,2%, supervisores 13,6% e demais cargos 34,8%, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Cargo dos respondentes



Fonte: Elaboração própria (2022)

As indústrias transformadoras correspondem a 87,9% dos respondentes e as indústrias extrativas a 12,1%. A maioria das indústrias são automotivas (21,2%), seguidas pelas indústrias de máquinas e equipamentos (15,2%), indústrias alimentícias (10,6%) e indústrias extrativas de minerais metálicos (7,6%).

A estratégia de produção *make to stock* predomina em 39,4% das indústrias, *make to order* em 33,3%, *engineering to order* e *assembly to order* em 13,6% cada.

De acordo com as características do *layout* de produção, a maioria das indústrias adotam o *layout* por processo (59,1%), células de fabricação (21,2%) e por produto (19,7%).

Em relação à configuração do *layout*, foi solicitado aos respondentes que avaliassem as mudanças anuais na configuração. As respostas indicam que as indústrias não alteram o *layout* frequentemente.

No que se refere às características da cadeia de suprimentos, foi solicitado aos respondentes que avaliassem o quanto concordavam com as afirmações descritas na Tabela 1, que também apresenta os resultados obtidos.

Tabela 1 – Características da cadeia de suprimentos

Questão	Média	Desvio padrão
As necessidades de materiais (volume e mix) variam drasticamente de semana para semana	3,27	1,79
A demanda varia drasticamente de semana para semana	3,17	1,92
O mix de produtos fabricados varia consideravelmente de semana para semana	3,17	1,70
Os meus produtos são caracterizados por muitas alterações técnicas	3,01	1,88
O volume total de produção varia drasticamente de semana para semana	2,78	1,77
Os meus fornecedores efetuam frequentemente alterações técnicas nas peças/componentes que entregam à minha fábrica	2,50	1,66

Fonte: Elaboração própria (2022)

A maioria das indústrias apresenta pouca variação nas necessidades de materiais, na demanda semanal, no mix de produtos e no volume total de produção. Entretanto, dentre essas características, as necessidades de materiais estão sujeitas à maior variação.

Os produtos não são caracterizados por muitas modificações técnicas e os fornecedores não necessitam alterar os produtos fornecidos.

No que tange às estratégias para o projeto de *layouts*, foi solicitado aos respondentes que avaliassem o quanto consideravam importante as afirmações dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Configuração do *layout*

Questão	Média	Desvio padrão
Taxas de produção	5,44	1,68
Lead time	5,05	1,87
Custos de transporte de materiais	4,83	1,93
Estoque de produtos intermediários	4,74	1,92

Fonte: Elaboração própria (2022)

A taxa de produção, o *lead time*, os custos de transporte de materiais e os estoques de produtos intermediários são importantes para as indústrias, sendo a taxa de produção considerada a mais importante.

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos em relação ao nível de implementação de cada característica central e da reconfigurabilidade nas indústrias brasileiras.

Tabela 3 – Nível de reconfigurabilidade presente nas indústrias brasileiras

Características centrais	Média	Desvio padrão
Customização	4,77	1,73
Capacidade de diagnóstico	4,29	1,91
Convertibilidade	4,10	1,89
Escalabilidade	4,10	1,72
Integrabilidade	3,83	1,78
Modularidade	3,17	1,95
Reconfigurabilidade	4,04	1,83

Fonte: Elaboração própria (2022)

A customização parece ser a característica mais implementada. Isso significa que as indústrias são capazes de ajustar a demanda às necessidades de produção de uma família de produtos. Entretanto, possuem dificuldade para personalizar as funções dos seus sistemas de controle.

A capacidade de diagnóstico é a segunda característica mais implementada, indicando que as indústrias são capazes de detectar defeitos de qualidade em tempo real, apesar de não conseguirem identificar a origem de falhas ou de problemas da qualidade automaticamente.

A convertibilidade e a escalabilidade aparecem empatadas na terceira posição. É mais difícil implementar a convertibilidade e a escalabilidade nas indústrias, pois o processo envolve alterar as operações de um produto para novos produtos da mesma família ou família de produtos diferentes, além de adicionar novos equipamentos em qualquer etapa do processo produtivo, sem interromper a produção por longos períodos.

A integrabilidade é pouco implementada nas indústrias, que apresentam dificuldade para desenvolver um sistema integrado de controle capaz de operar e coordenar os seus equipamentos.

A modularidade é a característica menos implementada. As indústrias indicaram não possuir equipamentos modulares, que podem ser adicionados ou removidos com facilidade.

Por isso, pode-se concluir que as indústrias brasileiras

apresentam um nível de baixo a moderado de reconfigurabilidade implementada em seus sistemas produtivos. Assim, elas deveriam explorar esse potencial e adotar as características menos implementadas, de acordo com as suas necessidades específicas.

Os respondentes também foram questionados a respeito das barreiras tecnológicas, organizacionais e ambientais para a implementação da reconfigurabilidade.

As barreiras tecnológicas incluem as dificuldades relacionadas a ter um sistema de produção que facilita a tomada de decisão sobre seleção de máquinas e processos.

Os resultados revelam que mudar a configuração do sistema de controle e possuir ferramentas com custos mais elevados que as máquinas são as principais barreiras tecnológicas enfrentadas pela maioria das indústrias.

As barreiras organizacionais englobam a variedade de matéria-prima; determinar mudanças de longo prazo; falta de uma visão ampla da produção, que considera reconfigurações humanas, lógicas e físicas na fase inicial de implementação do projeto da fábrica; falta de uma perspectiva holística no processo de projeto do sistema de produção; resistência à mudança; dificuldade em identificar o momento de implementar a reconfigurabilidade; falta de conhecimento para implementar a reconfigurabilidade; dificuldade de identificar requisitos de longo prazo para o sistema de produção, em termos de alterações na demanda e na variedade de produtos.

Entre as barreiras organizacionais, a maioria das indústrias destacou a perspectiva holística do processo de projeto do sistema de produção e a variedade de matéria-prima, devido ao elevado número de produtos individualizados.

As barreiras de ambiente consideram a falta de visão de longo prazo sobre os investimentos; a dificuldade em lidar com os desafios do ambiente global; a indisponibilidade para arcar com o investimento inicial acerca da implementação da reconfigurabilidade; a dificuldade em introduzir novos equipamentos de produção; e a incapacidade de lidar com incertezas.

Os resultados indicam que o investimento para a implementação da reconfigurabilidade não é um problema.

Conclusões

Esta pesquisa estudou a reconfigurabilidade, por meio de uma revisão sistemática da literatura e aplicação de um questionário em 66 indústrias brasileiras.

A reconfigurabilidade é a principal característica dos SPRs, que pode promover redução de custos, integração

de novas tecnologias e processos de fabricação em sistemas existentes, redução no tempo de lançamento de novos produtos, aumento da capacidade de resposta e da flexibilidade, melhoria contínua na qualidade de processos e produtos, entre outros.

Os resultados indicam que as indústrias brasileiras possuem um nível de baixo a moderado de reconfigurabilidade implementada.

As características centrais: modularidade, integrabilidade, customização, convertibilidade, escalabilidade e capacidade de diagnóstico também possuem níveis de implementação de baixo a moderado, sendo a customização a característica mais implementada e a modularidade a menos implementada. É importante conhecer o nível de implementação de cada característica central para identificar como cada uma pode ser aprimorada, de modo a auxiliar os gestores na definição de estratégias para aumentar a reconfigurabilidade de seus sistemas de produção, de acordo com as suas necessidades.

Em relação às barreiras de implementação, as barreiras tecnológicas e organizacionais são consideradas mais relevantes para as indústrias.

Quanto às limitações do estudo, refletem os artigos selecionados na revisão e os respondentes do questionário refletem a sua percepção.

O questionário pode ser aplicado em outras empresas, a fim de obter mais respostas e confirmar os resultados obtidos.

Agradecimento

Agradeço a Deus, pela sabedoria, força e oportunidade. A professora orientadora, Isabela Maganha, e a Denize Gualberto, pelo trabalho em equipe e aos representantes das indústrias, pela prontidão e apoio. Agradeço também ao órgão de fomento da bolsa, FAPEMIG, Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, pelo financiamento e oportunidade, e o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

Referências

KOREN, Y.; HEISEL, U.; JOVANE, F.; MORIWAKI, T.; PRITSCHOW, G.; ULSOY, G.; van BRUSSEL, H. Reconfigurable manufacturing systems. *CIRP Annals*, v. 48, p. 527-540, 1999.

MAGANHA, Isabela; SILVA, Cristovao; FERREIRA, Luis Miguel DF. Understanding reconfigurability of manufacturing systems: An empirical analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 48, p. 120-130, 2018.