

## **Análise da indústria 4.0 Na perspectiva tecnológica de empacotamento e de corte automático de itens: um mapeamento de tendências**

*Analysis of industry 4.0 From a technological perspective of packing and automatic cutting of items: a mapping of tendencies.*

Christian Gianelli da Silva<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Mestrando em Pesquisa Operacional (UNIFESP/ITA), São José dos Campos-SP.

\*Correspondente: [christiangianelli63@gmail.com](mailto:christiangianelli63@gmail.com)

### **Resumo**

A indústria sofreu, nos últimos anos, uma forte movimentação para aceleração do desenvolvimento tecnológico. Algumas revoluções aconteceram a partir do século XVIII. Atualmente, temos a Indústria 4.0 como grande propulsora da otimização de processos que aumenta a produtividade das organizações ao reduzir custos. Em problemas de empacotamento e corte de itens industriais, deve-se considerar a minimização da perda ociosa de trabalho, evitando o desperdício de material. Para isso, tem-se utilizado tecnologias disruptivas e análises de tendências para uma gestão inovadora e qualidade das operações. Como principais resultados, foi traçada uma análise bibliométrica (qualitativa e quantitativa) acerca dos temas relacionados ao problema. Tudo isso, através de uma busca delimitadora de palavras-chave, mostrando como está o panorama de publicações na área relacionada nos últimos nove anos.

**Palavras-chave:** análise bibliométrica; desenvolvimento industrial; Indústria 4.0; *nesting problems*.

**Abstract**

The industry has undergone a strong movement in recent years to accelerate its technological development. Some revolutions have happened since the 18th century. Nowadays, industry 4.0 is seen as the primary driver of process optimization, which increases organizations' productivity and at the same time reduces their costs. Regarding problems of packing and cutting of industrial items, minimization of idle time should be considered, in order to avoid waste of material. Disruptive technologies and analyses of tendencies for innovative management have been employed to avoid losses. As a result of this, a bibliometric analysis, both qualitative and quantitative, was drawn up concerning themes related to this problem. It employed a bounding search of keywords, evincing the panorama of publications in the area over the last nine years.

**Keywords:** bibliometric analysis; industrial development; Industry 4.0; nesting problems; production planning.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria sofreu grandes avanços tecnológicos durante décadas. Compreender o cenário atual da Indústria 4.0 garante maior competitividade industrial. Na história, a Primeira Revolução Industrial foi caracterizada pela reformulação das máquinas industriais que utilizavam motores a vapor. Tratando-se da Segunda Revolução Industrial, foi demarcada com o desenvolvimento e padronização da produção em massa, possibilitada pela energia elétrica, exploração de novos materiais (aço e sintéticos) e pela utilização de novos tipos de combustíveis.

A Quarta Revolução Industrial pode ser descrita pela aplicação de controladores lógicos programáveis (PLC) no campo da automação, pelo uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e pelo gerenciamento da produção (COUTINHO, 1992; ROJKO, 2017; SACOMANO *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2018).

Entretanto, a utilização privada ainda se encontra em estado delimitado, e podemos observar essa delimitação pela resistência de modificação do espaço industrial e pela verdadeira potencialidade disruptiva da tecnologia como testemunha desse contratempo no setor. Assim, a análise e a observação das tendências das cadeias de manufatura têm impacto nos variados domínios, modificando as práticas convencionais de programação de produção (MATTILA *et al.*, 2016).

Entender como a Indústria 4.0 tem se comportado no cenário da utilização de máquinas automatizadas, tecnologias, planejamentos de produção e técnicas evolutivas, possui potencial de minimizar os problemas encontrados no processo de empacotamento e corte automático de peças.

Apesar de o planejamento da produção ser um parâmetro explorado pela literatura nos últimos anos, apenas recentemente o contexto aplicado conjuntamente com a fabricação aditiva revela um caminho de pesquisa em rápido crescimento.

Sendo assim, este levantamento realça ainda mais a importância do presente artigo, por aplicar um contexto pouco estudado e com defasagem de trabalhos que realizam mapeamento do cenário da Indústria 4.0, relacionados ao processo de empacotamento e corte de itens irregulares.

Portanto, formulamos uma estrutura para mapeamento relacionando as características, técnicas e tecnologias aparentes para o cenário de *nesting* e de programação em fabricação, segundo quatro dimensões: **parte**; **construção**; máquina; e **tecnologia**. Porém, não aplicamos, para esse cenário, as seguintes análises: estrutura social e meio ambiente.

Este artigo está organizado em seis seções. A Seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre desenvolvimento industrial e manufatura. A Seção 3 apresenta a metodologia utilizada para esta pesquisa. A Seção 4 apresenta os resultados do estudo realizado. A Seção 5 aborda uma discussão acerca dos resultados da bibliometria relacionados ao cenário de corte automáticos de peças industriais. Finalmente, as observações conclusivas são fornecidas na Seção 6.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, são apresentados os conceitos da Indústria 4.0 aplicados ao setor de manufatura.

## 2.1 Desenvolvimento industrial

O conceito da Indústria 4.0 ganhou notoriedade no ano de 2011 e, atualmente, tem se popularizado como ferramenta para utilização ampla da tendência de modificação do espaço industrial, utilizando automação de processos manuais, sendo associada a possíveis revoluções que permitam aceleração do espaço em curto período de tempo.

Nesse contexto, a Indústria 4.0 concentra o foco na criação de produtos, processos e procedimentos inteligentes para que máquinas e recursos se comuniquem facilmente. A base da Indústria 4.0 consiste na somatória de sistemas *Cyber-Physical Systems* (CPS), na Internet das Coisas (IoT) e na Internet dos Serviços (IoS). Esses “conceitos” possuem correlação de funcionamento, já que o CPS se comunica com IoT e IoS, garantindo que o conceito de “fábrica inteligente” mantenha sua qualidade, baseada na ideia de um sistema de produção descentralizado no qual “seres humanos, máquinas e recursos se comunicam entre si de forma tão natural quanto numa rede social” (RANGEL *et al.*, 2019).

Um setor industrial inteligente é capaz de gerenciar células de manufatura complexas, que satisfazem a demanda de acordo com o espaço amostral solicitado pelo cliente, para entrega do produto final. Os dados de entrada são continuamente rastreados e compartilhados com outras células no ambiente. A visibilidade do status de aquisição e do estoque de matéria-prima em tempo real garante maior eficiência na precisão da execução da Ordem de Serviço (OS).

Uma fábrica inteligente melhora não apenas os processos de produção existentes, mas inclui todas as operações ao longo da fabricação do produto até sua entrega.

Embora a globalização disponibilize oportunidades de melhores condições de aquisição de produção, ela também torna a indústria, de forma geral, mais competitiva. Por exemplo, as empresas buscam a necessidade de se manterem atualizadas em seus processos de fabricação para garantir seu espaço no mercado de trabalho, entre elas:

- **Aumento da produtividade;**
- **Flexibilidade de produção;**
- **Eficiência em ciclos de produção.**

O objetivo geral da Indústria 4.0 é explorar a integração de processos técnicos, processos de negócio, mapeamento digital e virtualização do mundo real como oportunidade de criar produtos inteligentes (SANTOS *et al.*, 2019).

### 2.1.1 Manufatura

Sistemas flexíveis de manufatura (do inglês, *Flexible Manufacturing Systems* – FMS) são sistemas com alto grau de blocos de execução automatizados e informação da produção, em que máquinas automáticas são interligadas por sistemas de comunicação de dados e materiais, sendo todas as decisões tomadas por um computador central ou rede compartilhada. Essa denominação provém da capacidade de adotar a manufatura com flexibilidade, visando economicamente à produção de lotes. Trata-se de um conceito inovador utilizado em vários países da Europa, nos Estados Unidos e no Japão.

Porém, existem limitações, em geral, no quesito resultados, que não correspondem às expectativas, em decorrência da dificuldade de serem arranjados, em um sistema único, vários subsistemas complexos, como robôs e máquinas de controle numéricos etc.

Por outro lado, a vantagem competitiva oferecida, em tese, por esse conceito de FMS, é enorme. Será inevitável, para as empresas, não considerar essa adoção (BORENSTEIN; BECKER 1994; GODINHO-FILHO; FER-NANDES, 2004; MATIAS, 2022).

A programação em fabricação aditiva engloba, numa perspectiva, o problema da programação em lotes, corte e empacotamento de itens irregulares (peças). Esses tipos de problemas podem ser descritos da seguinte forma: vários itens de tamanhos menores são selecionados (todos ou parte deles) e agrupados em subconjuntos, que por sua vez são alocados a objetos maiores, sendo que os itens ficam inteiramente contidos no interior do objeto maior e sem sobreposição. A otimização do problema é definida segundo uma função objetivo ou multiobjetivo.

Em processo de corte automático de peças, inicia-se com a aquisição da matéria-prima em função da OS estipulada pelo cliente. Após o recebimento da OS, a matéria-prima segue para os profissionais responsáveis por empacotar as peças utilizando softwares e sistema *nesting*.

Em seguida, as peças são cortadas por uma máquina que engloba programação para controle numérico computadorizado (NC), de modelos bidimensionais, para a geração do código em linguagem G disponibilizado pelo software CAD (*Computer-Aided Design*), que aciona máquinas controladas numericamente por computador (CNC).

Mas, mesmo com a ajuda das tecnologias da Indústria 4.0, a indústria enfrenta grande dificuldade de reduzir o desperdício de matéria-prima nesse processo. Isso ocorre pelo fato de que se exigem modelos computacionais (heurísticas eficientes) e um sistema integrado para o processamento das informações e a execução das atividades.

Por último, é inevitável realizar um mapeamento e analisar diversos cenários que implementaram, de forma consistente, tecnologias advindas da Indústria 4.0 para a evolução do processo, o aumento da produtividade e a segurança operacional (AVNAIM; BSIS-SONNAT, 1987; GAVANKAR; BEDWORTH, 1991). A seguir, consulte a metodologia aplicada na presente pesquisa.

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi conduzida uma pesquisa conhecida como bibliometria, que utiliza análise estatística quantitativa para descrever padrões de publicações e sínteses diversas sobre o conteúdo dos documentos.

Isso significa que disponibiliza um panorama sistêmico sobre a pesquisa, que permite avaliar e checar tendências sobre o tema. As bases de dados escolhidas para pesquisar as *strings*, foram três; *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*. As seleções iniciais dos artigos ocorreram com a somatória das características de busca independentes das três bases de dados.

No início da busca, foram selecionados 2.350 documentos. Após isso, foi analisado o contexto proposto da investigação e correlação com os resultados prévios, minimizando a quantidade para 80 documentos.

A partir dessa etapa, o autor realizou a mineração dos artigos de forma cognitiva, levando em conta sua experiência técnica relacionada ao cenário, restando 36 documentos. Esses 36 documentos foram analisados e houve a eliminação dos artigos relacionados com desenvolvimento de algoritmos. Restaram, assim, 30 artigos para análise no *VOSview*, conforme protocolo de pesquisa abaixo:

Quadro 1 - Protocolo de pesquisa

<b>Objetivo</b>	Analisar o cenário atual técnico/científico no desenvolvimento da manufatura aplicada a empacotamento e corte de itens (peças).
<b>Questão de pesquisa</b>	Qual a atual dinâmica do setor frente às tecnologias da Indústria 4.0 nos últimos anos?
<b>Idioma de pesquisa</b>	Inglês.
<b>Base de dados</b>	Web of Science, Scopus e Google Scholar.
<b>String de pesquisa</b>	("CAD, CAM, CNC" OR "Cutting steel parts" OR "Cutting machine" OR "Industry 4.0" OR "Automatic machine" OR "Computer methods") AND ("Production planning" OR "Nesting" OR "Packing").
<b>Critério de inclusão</b>	Trabalhos que abordem métodos de nesting, tecnologias de corte, manufatura, máquinas, sistemas automáticos e células robotizadas.
<b>Critério de exclusão</b>	Desenvolvimento de algoritmos e sua performance.
<b>Processo de seleção</b>	A string proposta devolve os trabalhos que são analisados de acordo com os critérios estabelecidos. Do processo mencionado, resultam os documentos que serão explorados na íntegra.

Fonte: Do autor (2021)

Nesse sentido, a observação dos dados se deu por meio das abordagens quantitativa e qualitativa, de forma correlacionada. Essa análise se faz interessante quando é necessário explorar uma questão para compreendê-la profundamente ou entender o contexto dos participantes da pesquisa.

## 4. RESULTADOS

Os parâmetros para se chegar ao resultado de 30 documentos foram: **adequação ao protocolo de pesquisa, título do artigo, termos, citações globais, número de trabalhos por autor, ano de publicação e estrutura do documento**. Foi possível identificar os autores que mais publicaram no período de 2014 a 2022 (ver Tabela 1 e Figura 1); a quantidade de artigos publicados em função dos últimos nove anos; e o maior número de publicações, nos anos de 2019 e 2020 (ver Figura 2).

Tabela 1 - Autores que mais publicaram durante o período amostral selecionado e suas características

AUTORES	QUANTIDADE DE DOCUMENTOS	ANOS DE PUBLICAÇÃO	CITAÇÕES
Li <i>et al.</i>	2	2019 e 2020	37
Petunin <i>et al.</i>	2	2016 e 2019	50
Simeone <i>et al.</i>	2	2020 e 2021	30

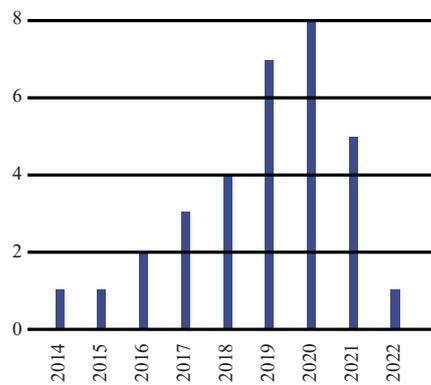
Fonte: Do autor (2021)

Figura 1 - Autores e os respectivos documentos

Autores	Documento
Li <i>et al.</i>	"Automatic generation of auxiliary cutting paths based on sheet material semantic information."
Li <i>et al.</i>	"A dynamic order acceptance and scheduling approach for additive manufacturing on-demand production."
Petunin <i>et al.</i>	"Optimization models of tool path problem for CNC sheet metal cutting machines."
Petunin <i>et al.</i>	"Methods of cutting cost minimizing in problem of tool route optimization for CNC laser machines."
Simeone <i>et al.</i>	"Resource efficiency enhancement in sheet metal cutting industrial networks through cloud manufacturing."
Simeone <i>et al.</i>	"Intelligent decision-making support system for manufacturing solution recommendation in a cloud framework."

Fonte: Do autor (2021)

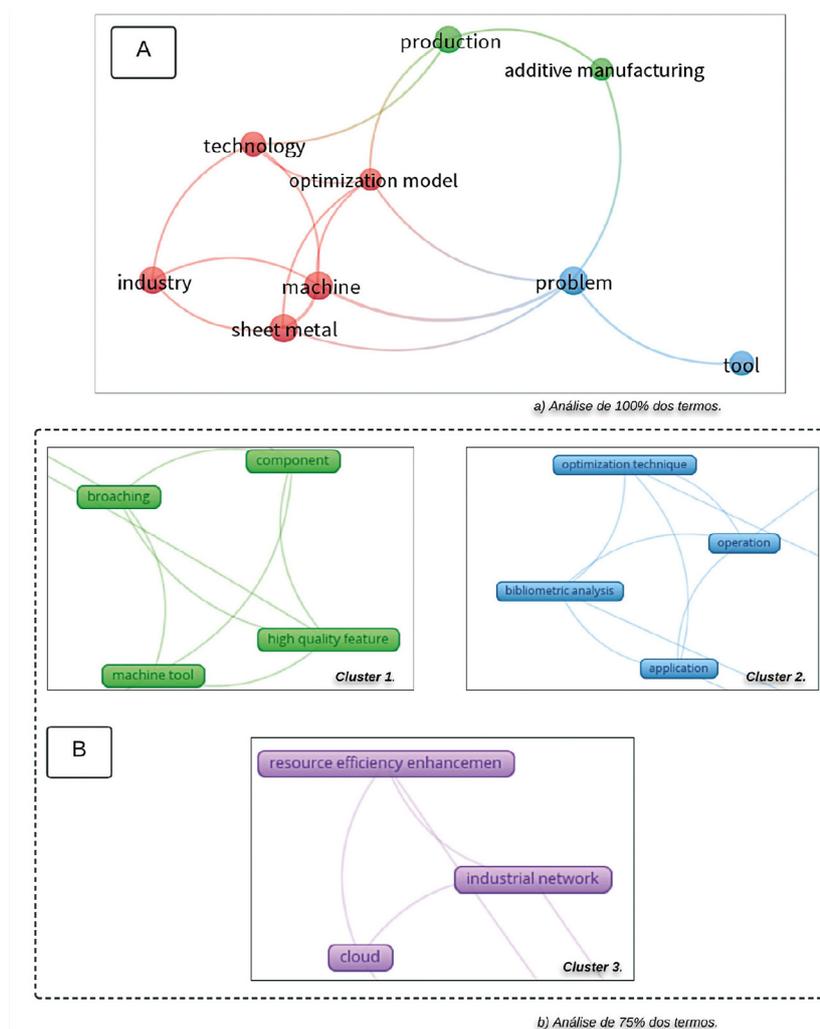
Figura 2 - Quantidade de artigos publicados nos últimos nove anos



Fonte: Do autor (2021)

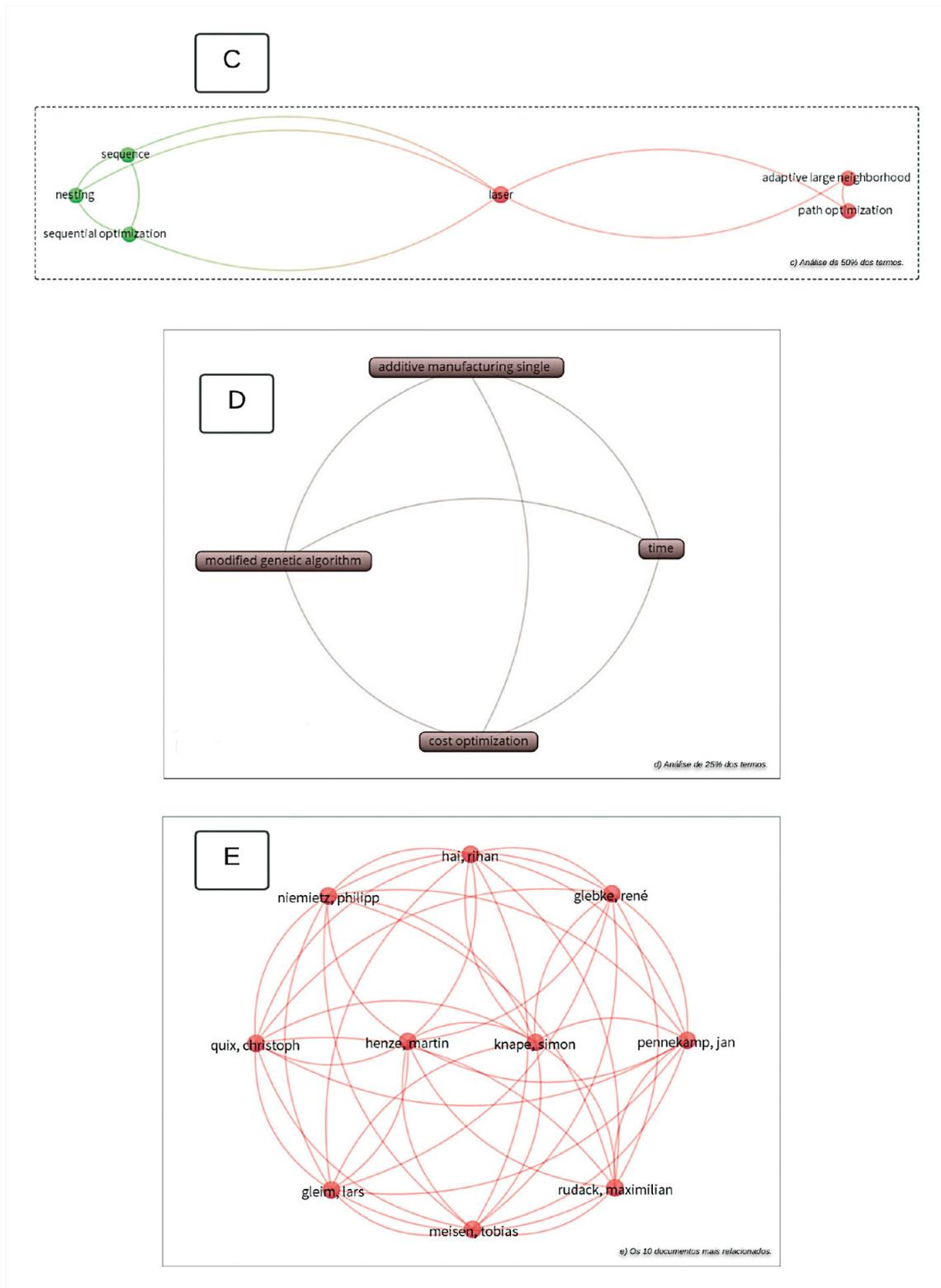
Em continuidade das análises, chegamos aos seguintes resultados: utilizando 100% dos termos (113 termos), identificamos os que apareceram ao menos três vezes nos documentos (ver Figura 3 (a)). Na Figura 3 (b), obtivemos os *clusters* de maior relevância utilizando 75% dos termos e identificamos os termos que ocorreram uma única vez. A terceira análise ocorreu utilizando 50% dos termos que também apareceram somente uma vez (ver Figura 4 (c)). A quarta análise tratou da utilização de 25% dos termos que, novamente, apareceram somente uma vez (ver Figura 4 (d)). Por fim, checamos ao *cluster* dos autores com maior fator de correlação de acordo com os termos (ver Figura 4 (e)).

Figura 3 - a) Análise de 100% dos termos; b) Análise de 75% dos termos (*cluster 1*, *cluster 2* e *cluster 3*)



Fonte: Do autor (2021)

Figura 4 - c) Análise de 50% dos termos; d) Análise de 25% dos termos; e) Cluster dos autores com maior fator de correlação de acordo com os termos



Fonte: Do autor (2021)

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O primeiro resultado traz uma análise quantitativa dos autores que mais publicaram. Como saída, obtivemos o número de 6 artigos, que serão analisados em conjunto com o *cluster* dos autores com maior fator de correlação. O segundo resultado trata do maior número de publicações sobre o tema. E nesse sentido, formulamos a seguinte hipótese:

- As publicações ocorreram em maior número no início do período de pandemia de Covid-19 causada pelo coronavírus. Porém, não foi possível identificar se esse aumento possui relação com a utilização do modelo home office ou se houve desenvolvimento natural e estrutural no setor nesse período.

As análises bibliométricas realizadas foram baseadas na técnica de utilização de percentis. Portanto, os *clusters* apresentados na Figura 3 e 4 mostram 100%, 75%, 50% e 25% dos termos e suas correlações. Um percentil indica o valor de redução no qual uma dada porcentagem cai em um grupo de observações. Por exemplo, 25% dos termos possuem apenas 4 termos correlacionados e com um fator de impacto próximo a 0, enquanto 50% dos termos possuem um número maior que 4 de termos correlacionados e 2 *clusters*, e 75% possuem valor menor de correlação entre os termos principais obtidos na porcentagem de 100%. Esses são chamados de 25º percentil (ou 1º quartil); a média; e o 75º percentil (ou 3º quartil). Abaixo, temos o resultado das análises dos termos relacionados:

1. **Production;** *additive manufacturing; broaching, component, high quality feature; machine tool.*
2. **Problem;** *tool: application, bibliometric analysis, operation; optimization technique.*
3. **Tecnology;** *optimization; machine; sheet metal; industry: adaptive large neighborhood, laser; path optimization.*

Nota-se que os resultados apresentados no *cluster* 3 possuem correlação com a somatória do *cluster* 1 e 2; *cloud, industrial network e resource efficiency enhancement*. A seguir, faremos uma análise detalhada do mapeamento das tendências da Indústria 4.0 através dos resultados obtidos nesta seção. Com esta análise, pretende-se responder à questão de pesquisa e disponibilizar as características atuais relacionadas ao problema apresentado.

### 5.1 Mapeamento de tendências

O trabalho de Li *et al.* (2019) apresenta o problema de aceitação e programação de pedidos na produção sob demanda com utilização de impressão 3D. Fornece uma abordagem para que os fabricantes tomem decisões simultâneas sobre programação de pedidos dinâmicos, para maximizar o lucro médio por unidade de tempo. Esse problema é *fortemente NP-difícil* e extremamente complicado, incluindo *bin packing*, processamento em lote, programação dinâmica e tomada de decisão. Propõe uma estratégia para resolver o problema de desempenho de diferentes conjuntos através de um estudo experimental utilizando aprendizado de máquina (AM). Em sequência, utiliza um novo método para geração automática de caminho de corte baseado na semântica das peças (informação

da área reservada e descarte de matéria-prima). Através da informação semântica do material bruto, os caminhos auxiliares de corte são automaticamente inseridos em cada contorno na área disponível. A detecção de colisão e ajustes são necessários para garantir que os caminhos de corte auxiliares estejam completamente posicionados dentro da área selecionada (LI *et al.*, 2020).

No cenário da otimização, Petunin e Stylios (2016) estudam o problema do caminho da ferramenta para equipamentos CNC de corte de chapas metálicas: incluindo laser, plasma e jato de água. Em sua abordagem, desenvolve sistemas CAD/CAM para agrupamento de peças e corte. O segundo trabalho selecionado do autor aborda o problema de otimização do roteamento de ferramentas de corte. O corte, tempo e custo são critérios de otimização da função objetivo, tendendo a um mínimo. Esse método é classificado em três classes principais: padrão de corte, multicontorno e multissegmento. A técnica de corte multicontorno é de maior interesse devido aos valores de redução significativos de números de perfurações e comprimento do movimento da ferramenta de corte. Por fim, propõe a construção automática de uma rota de ferramenta de corte desenvolvida para CAM “SIRIUS” (PETUNIN *et al.*, 2020).

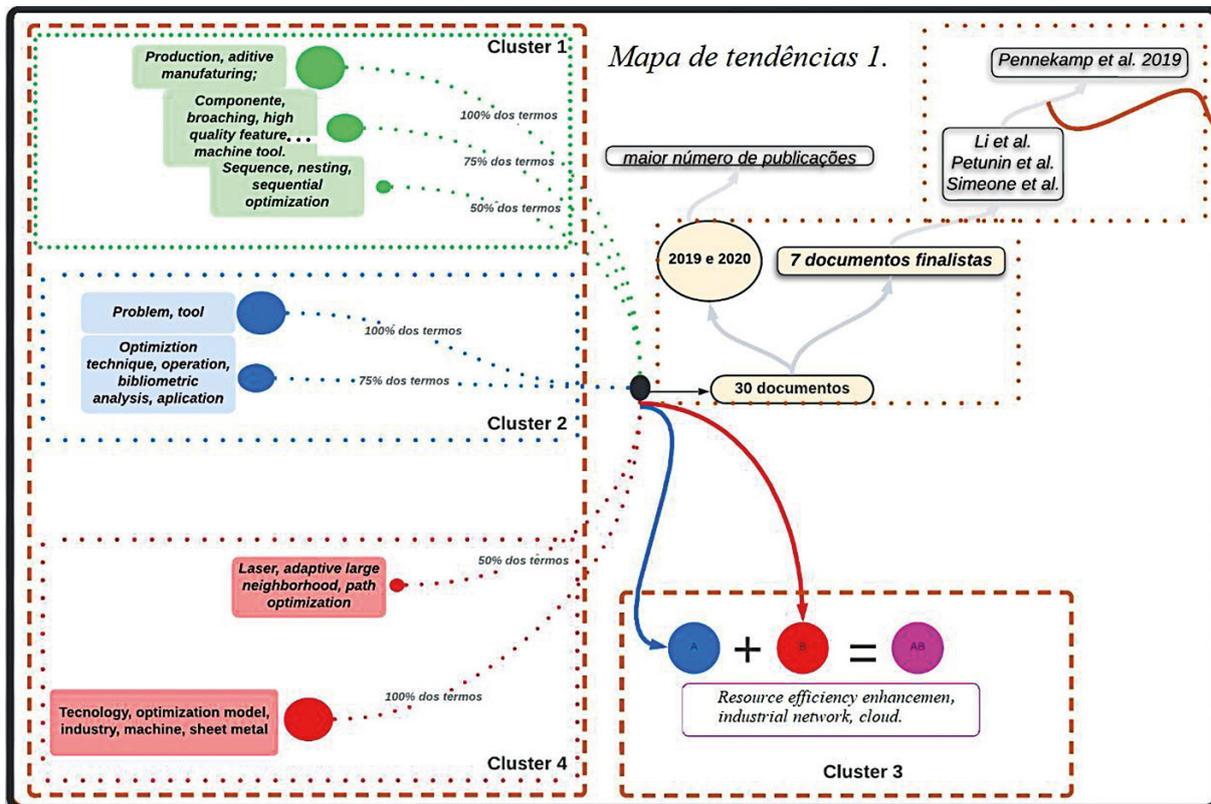
Na indústria manufatureira moderna, a eficiência dos recursos é afetada negativamente pelas altas flutuações de demandas dentro do mercado global. Uma plataforma inteligente de manufatura em nuvem visa a aumentar a eficiência de recursos, produtividade, em uma rede de fabricação inteligente combinando dinamicamente ofertas e solicitações de serviços de fabricação através do amplo compartilhamento e entrega sob demanda de computação distribuída, software e fabricação.

A plataforma *cloud* atua como referência ao setor de corte de chapa e inclui vários módulos. Um banco de dados é empenhado para entrada e armazenamento de dados de usuários. Para isso, Simeone *et al.* (2020) demonstram a implementação da plataforma de manufatura em nuvem proposta em um cenário de rede e apresentam um estudo de caso incluindo várias instâncias de clientes e fornecedores, mostrando as múltiplas soluções de fabricação propostas pela plataforma e as vantagens em termos de melhoria da eficiência dos recursos industriais. Ainda nesse contexto, com o aumento do tamanho da rede de manufatura em escala global, o elevado número de soluções de manufatura oferecidas via plataforma em nuvem para clientes conectados pode aumentar a complexidade da tomada de decisões. Com o objetivo de validar a proposta sistema inteligente de apoio à tomada de decisão, um estudo de caso é simulado dentro da estrutura de uma plataforma de fabricação em nuvem, oferecendo compartilhamento dinâmico de soluções de fabricação de corte de chapas metálicas. A capacidade do sistema é discutida em termos de desempenho de AM, bem como aplicabilidade industrial e probabilidade de seleção do usuário (SIMEONE *et al.*, 2021).

Correlacionando as tendências acima com os 10 autores selecionados de acordo com os termos analisados no documento, Pennekamp *et al.* (2019), indicados pela análise bibliométrica, nos fornecem a visão de novos níveis de colaboração entre empresas manufatureiras em toda a cadeia de suprimentos, permitindo um compartilhamento e análise de dados refinados entre diferentes stakeholders de forma automatizada.

A seguir, temos a síntese de todo o mapeamento e respectivas tendências encontradas neste estudo (ver Figura 5).

Figura 5 - Mapa de tendências (análise quantitativa e qualitativa)



Fonte: Do autor (2021)

## 6. CONCLUSÃO

Após aplicação do método de busca e revisão sistemática de literatura, obtiveram-se 30 documentos, dos quais 7 apresentaram maior relação teórica e prática com o tema de empacotamento e corte de itens industriais. A análise aprofundada considerou as perspectivas segundo quatro dimensões: **parte, construção, máquina e tecnologia**, sendo que os estudos apresentaram correlação com utilização de sistemas colaborativos.

Foi constatado que existem técnicas e avanços no setor ainda pouco explorados pela indústria brasileira. Por ser considerado um tema ainda pouco discutido, existe escassez de estudos relacionados ao desenvolvimento e modificação do espaço. Normalmente, encontra-se na literatura trabalhos que desenvolvem heurísticas eficientes.

As publicações ocorreram em maior número no início do período da pandemia de Covid-19 causada pelo coronavírus. Porém, não foi possível identificar se esse aumento possui relação com a utilização frequente do modelo home office ou se houve desenvolvimento natural, econômico e estrutural no setor.

A comprovação dos benefícios da adoção dessas tecnologias correlacionadas com a atual necessidade pode ser encontrada em Pennekamp *et al.* (2019). Alguns trabalhos finalistas estudados apontam para a necessidade de otimização de problemas do caminho da ferramenta de corte, roteamento e geração automática (PETUNIN; STYLIOS, 2016). Nota-se que esse ramo tem sido muito explorado pela indústria de corte de peças em aço.

Porém, os trabalhos de maior impacto e correlacionados com o protocolo de pesquisa foram Simeone *et al.* (2020) e Simeone *et al.* (2021), em que propuseram novos métodos eficientes de implementação da plataforma de manufatura em nuvem e apresentaram um estudo de caso incluindo várias instâncias de clientes e fornecedores, mostrando as múltiplas soluções e vantagens em termos de melhoria da eficiência dos recursos.

Além disso, foi construído um mapa de tendências utilizando uma nova abordagem baseada em estatística. Essa abordagem colabora para extrair características profundas que possam contribuir para a descoberta de novos trabalhos científicos, de forma minuciosa. Como fruto desta pesquisa, foram selecionados dois artigos que serão considerados nos testes computacionais na dissertação do presente autor.

Por fim, sugerem-se pesquisas que envolvam tecnologia *cloud*, manufatura em nuvem, computação distribuída, informações semânticas e aprendizado de máquina – tudo isso correlacionado com o desenvolvimento de maquinários e sistemas de empacotamento de itens irregulares, utilizando células CAD, CAM e CNC.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido no ano de 2021 com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

AVNAIM, F.; BSISSONNAT, J. Simultaneous containment of several polygons. **Proceedings of the Third Annual Symposium on Computational Geometry**, pp. 242-247, 1987.

BORENSTEIN, D.; BECKER, J. L. Simflex: um avaliador de sistemas flexíveis de manufatura. **Revista de Administração**, v. 29, n. 2, pp. 77-84, 1994.

COUTINHO, L. A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. **Economia e Sociedade**, v. 1, n. 1, pp. 69-87, 1992.

GAVANKAR, P.; BEDWORTH, D. Stacked tolerance analysis and allocation using assembly models. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 2, n. 6, pp. 365-377, 1991.

GODINHO-FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, pp. 1-19, 2004.

LI, J.; ZHU, H.; ZHANG, T.; HE, L.; GUAN, Y.; ZHANG, H. Automatic generation of auxiliary cutting paths based on sheet material semantic information. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 106, n. 9, pp. 3787-3797, 2020.

LI, Q.; ZHANG, D.; WAN, S.; KUCUKKOC, I. A dynamic order acceptance and scheduling approach for additive manufacturing

on demand production. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 9, pp. 3711-3729, 2019.

MATIAS, G. L. **Implementação de um laboratório de manufatura aditiva para redução dos custos de manutenção em indústrias de alimentos e bebidas**. 2022. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

MATTILA, J.; SEPPALA, T.; HOLMS-TROM, J. Product centric information management: A case study of a shared platform with blockchain technology. **Proceedings of the Industry Studies Association Conference**, Minneapolis, MN, USA, 2016.

PENNEKAMP, J *et al.* Towards an infrastructure enabling the internet of production. **Proceedings of the International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)**, pp. 31-37, IEEE, 2019.

PETUNIN, A. A.; TAVAEVA, A. F.; POLISHCHUK, E. G. Methods of Cutting Cost Minimizing in Problem of Tool Route Optimization for CNC Laser Machines. *In*: RADIONOV, A. A. *et al.* (Eds.) **Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)**, Volume II. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2020. pp. 447-455.

PETUNIN, A. A.; STYLIOS, C. Optimization models of tool path problem for CNC sheet metal cutting machines. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, pp. 23-28, 2016.

RANGEL, Y.; SENNA, P.; SANTOS, I.; LIMA, G. Análise bibliométrica da indústria 4.0: traçando tendências para o futuro. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 39., 2019, Santos, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: Abepro, 2019.

ROJKO, A. Industry 4.0 concept: Background and overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, v. 11, n. 5, 2017.

SACOMANO, J. B. *et al.* (Orgs). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, pp. 111-124, 2018.

SANTOS, J. L. dos; MOURA, R. A. de *et al.* Interação humano-máquina no sistema produtivo da indústria 4.0 visando aumentar a produtividade e reduzir lesões por esforços repetitivos. **CIMATech**, v. 1, n. 6, pp. 217-227, 2019.

SIMEONE, A.; DENG, B.; CAGGIANO, A. Resource efficiency enhancement in sheet metal cutting industrial networks through cloud manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 107, n. 3, pp. 1345-1365, 2020.

SIMEONE, A.; ZENG, Y.; CAGGIANO, A. Intelligent decision-making support system for manufacturing solution recommendation in a cloud framework. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 112, n. 3, pp. 1035-1050, 2021.