

Modelo de Maturidade e de Tomada de Decisão no Contexto da Indústria 4.0: um Estudo de Múltiplos Casos no Setor de Ferramentarias

Luis Fernando Moreira, Catiane Borsatto, Gabriel Vidor

RESUMO

As três revoluções industriais ocasionaram mudanças nos processos produtivos, com marcos históricos decorrentes que ainda vêm sendo analisados posterior a seus acontecimentos. A quarta revolução industrial, intitulada de Indústria 4.0, é pesquisada atualmente em contextos industriais. Partindo desse pressuposto, esse estudo contemplou dois objetivos: i) diagnosticar e medir o nível de maturidade da I4.0 nas ferramentarias e ii) propor uma ferramenta de tomada de decisão a partir de tal diagnóstico, com a hierarquização da implementação das tecnologias habilitadoras da I4.0 para as ferramentarias. Trata-se de um estudo de caráter misto com entrevistas que envolveram indivíduos de dez ferramentarias de Caxias do Sul, delineando um estudo de múltiplos casos. Para a etapa quantitativa, utilizou-se uma escala de seis níveis para medir e diagnosticar I4.0 nas ferramentarias, bem como matriz GUT para hierarquizar as prioridades de implementação da I4.0 para tomada de decisão. Dentre os principais resultados, destaca-se a elaboração de um radar tecnológico das ferramentarias, a partir da média estatística identificada. Para a tomada de decisão, elegeram-se cinco prioridades de implementação, que englobam custos de implementação, custos de adequação das organizações, tecnologia aplicada, recursos humanos, educação e cultura organizacional. Como principal prioridade, tem-se a criação de valor para as ferramentarias, ocorrendo por meio de integração vertical (integração entre diferentes níveis de hierarquias de tecnologias e informação), horizontal (através de redes de valor associando todos os interventores da cadeia de valor) e conexão de ponta a ponta.

Palavras-chave: Maturidade I4.0; Matriz GUT; Ferramentaria; Tomada de decisão.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia tem acarretado transformações nos paradigmas de produção, em que três marcos históricos se tornaram marcantes no que diz respeito a Revoluções Industriais (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Primeira Revolução Industrial (1780) foi estimulada pela concepção dos teares mecânicos orientados por motores a vapor, e culminou na concentração do processo de produção em fábricas; a Segunda Revolução ocorreu cerca de 100 anos depois, e tem como marca a inclusão das linhas de produção e a edificação do Ford T; a Terceira Revolução Industrial calhou no fim da década de 1960, e é caracterizada pela apresentação do primeiro controlador lógico programável, que admite a programação de sistemas digitais (RAO; PRASAD, 2018).

Perante tais desenvolvimentos tecnológicos e de um cenário em que há uma busca cada vez maior por produtos personalizados, maior complexidade, maior qualidade e custos reduzidos; a elevação de um novo modelo de indústria está sendo debatido em todo o mundo sob o tópico de Indústria 4.0 (SCHUH *et al.*, 2014). Estimada por alguns acadêmicos e empresários como a 4ª Revolução Industrial, a Indústria 4.0 é um dos termos empregados para delinear a estratégia de alta tecnologia requerida pelo governo alemão que está sendo praticada pela indústria. Compreende um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet com objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos. As ferramentarias empresas que trabalham sob projetos também sentiram as mudanças da 4ª Revolução Industrial (ABINFER, 2016).

As empresas do segmento de ferramentarias se distinguem como uma fração da indústria metal mecânica e são responsáveis pela concepção e edificação de ferramentais, como moldes e matrizes para a produção em série de todos os tipos de peças. O objetivo do segmento é acolher a demanda de outras indústrias, com pedidos realizados sob encomenda, tendo em vista que levam em média até seis meses para sua fabricação (GERES, 2018).

Partindo desse pressuposto, esse estudo contempla dois objetivos; sendo o primeiro o de diagnosticar e medir o nível de maturidade da I4.0 nas ferramentarias, e em um segundo momento propor uma ferramenta de tomada de decisão a partir de tal diagnóstico, com a hierarquização da implementação das tecnologias habilitadoras da I4.0 para as ferramentarias. Para atingir os objetivos propostos, esse artigo foi estruturado da seguinte forma: a primeira seção apresenta os principais conceitos teóricos sobre Indústria 4.0 e suas tecnologias habilitadoras, contextualizações sobre o segmento de ferramentaria, bem como informações sobre Matriz GUT para tomada de decisão. Na seção seguinte, a abordagem metodológica que serviu de base para responder aos objetivos elencados e, a seguir, foram discutidos os resultados encontrados pelo estudo. Nas considerações finais foram apresentadas as principais conclusões, contribuições e sugestões de pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Indústria 4.0 refere-se ao próximo estágio no desenvolvimento da organização e controle dos processos de manufatura. O termo Indústria 4.0 é derivado de um projeto financiado pelo governo alemão, que teria sido exibido pela primeira vez durante a Feira de Hannover de 2011. O termo foi auferido com admiração pela indústria mundial e se sobrepõe em parte a outros paradigmas como a internet das coisas (IoT) (RODRIGUES; DE QUEIROGA; MILHOSSI, 2022; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Além disso, a expressão Indústria 4.0 delibera a próxima etapa dos sistemas industriais, nos quais processos em rede, automatizados e inteligentes serão flexíveis e autoconfiguráveis, aperfeiçoando a eficiência e possibilitando a criação de novas fontes de receita (IEDI, 2020). Esses processos se desenvolverão por meio de uma combinação de tecnologias habilitadoras digitais e de manufatura, que permitem a integração vertical dos sistemas da organização, integração horizontal em redes colaborativas e soluções ponta a ponta em toda a cadeia de valor (LI *et al.*, 2021).

Diversas tecnologias habilitadoras estão sendo implementadas para combinar os processos automatizados através de sistemas *Cyber Físicos* (CPS) para adaptar as crescentes necessidades dos consumidores nos processos de produção com o aumento da eficiência e adaptabilidade dos padrões atuais do mercado. Essa dinâmica pode ser vista como uma transformação digital para que soluções sejam efetivadas com o maior número de processos de manufatura em um único sistema automatizado e de forma sustentável por meio das tecnologias habilitadoras (SCHUH *et al.*, 2014). O Quadro 1 apresenta as principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e sua aplicação a partir da explanação de alguns autores.

Quadro 1 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

Tecnologia habilitadora	Aplicação	Autor (es)
Robôs Autônomos	Os robôs aumentaram significativamente no ambiente industrial e tornaram-se cada vez mais colaborativos entre os conceitos homem-máquina. Eles são programados para realizar tarefas onerosas que existem, além de riscos operacionais em modos manuais de operação.	Gilchrist (2016)
Big Data	Vários microprocessadores são instalados nas fabricas para capturar um grande volume de dados de produção e de processamento que pode gerenciar e analisar informações de forma	Kang <i>et al.</i> , (2016)

	mais escalável e dinâmica.	
Realidade Aumentada	Permite interações entre o mundo real e o virtual.	Kirner e Kirner (2011)
Sistemas Cyber Físicos	São sistemas computacionais e colaborativos, os quais as operações são monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por núcleos de comunicação e computação.	Sacomano <i>et al.</i> , (2018)
Internet das Coisas	Desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação entre objetos que tem a capacidade de se comunicar entre si por rádio frequência.	Farooq <i>et al.</i> , (2015)
Manufatura Aditiva	Através do conjunto de tecnologias que consiste na fabricação de produtos com a impressão 3D (<i>Computing Aided Design</i> ou CAD), em que a matéria-prima é adicionado camada sobre camada de material, originando o objeto proposto desde a abordagem construtiva do produto.	Almeida (2021)
Cyber Segurança	Protege dados e sistemas das ameaças cibernéticas.	Branquinho <i>et al.</i> , (2022)
Computação na Nuvem	O conceito de nuvem é o recurso que promove o subsídio necessário para alavancar benefícios quanto ao armazenamento das informações em tempo real de vários locais e de forma interativa entre equipamentos e os sistemas de comunicação do ambiente da I4.0 de forma constante.	Haji <i>et al.</i> , (2020)
Simulação	É uma ferramenta para testar se um processo está funcionando corretamente, detectando defeitos e implementando melhorias por meio de um modelo virtual 3D sem afetar o processo físico.	Ferreira <i>et al.</i> , (2022)
Integração Vertical e Horizontal	Integração horizontal está conexa com a conexão entre a fábrica e toda cadeia de valor externa à planta. Enquanto isso, a integração vertical consente que todos os níveis da fábrica permaneçam conectados no chão de fábrica.	Kagermann; Wahlster; Welbig, (2013)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Através da I4.0 e de seus conceitos de aplicação no setor de manufatura, há a possibilidade de alcance acerca de questões desafiadoras, que tratam de propostas de avaliação de métodos, processos e ações para aferir o nível da I4.0, tendo em vista a carência referente a mobilização de esforços para adoção de tecnologias que possam melhorar indicadores relacionados a sustentabilidade em diversos modelos de negócios (SACOMANO *et al.*, 2018).

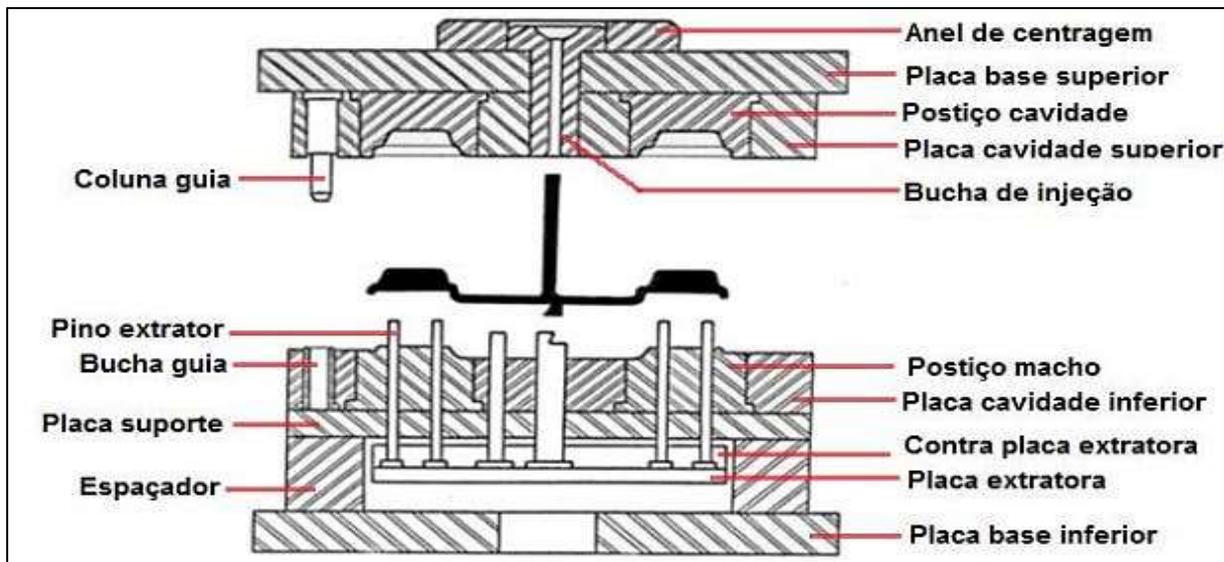
2.2 FERRAMENTARIA CONTEXTUALIZAÇÃO

As ferramentarias nasceram na década de 1940 no Brasil, com evidência para a região de São Paulo, e se fortaleceram a partir de 1950, com a chegada de montadoras automotivas no país; mas foi a partir de 1990 que o setor ferramenteiro começou a ganhar destaque, com a desverticalização do mercado, que derivou na terceirização de fases do processo que não fossem a atividade-fim. Muitos funcionários com conhecimento técnico foram demitidos, e acabaram financiando a compra de máquinas pequenas, prestando serviços industriais complementares, além de fabricar ferramentais para diversas indústrias (KALB; CARELLI, 2015; DOS SANTOS, 2020).

As empresas do ramo se distinguem como uma fração da indústria metal mecânica, responsáveis pela concepção e edificação de ferramentais, como moldes e matrizes para a produção em série de todos os tipos de peças, com o objetivo de acolher a demanda de outras indústrias, sendo o pedido feito sob encomenda. Estes ferramentais levam, em média, até seis meses para permanecerem prontos (GERES, 2018). Ferramentarias tem como objetivo a construção de moldes e matrizes e possuem processos de orçamento do molde ou ferramenta; engenharia via CAD/CAM; usinagem convencional e CNC; eletroerosão convencional CNC e montagem e teste do ferramental. Um ferramental pode ter vários componentes, conforme XXII Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Programa de Pós-Graduação em Administração | 3

demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura básica de um molde de injeção

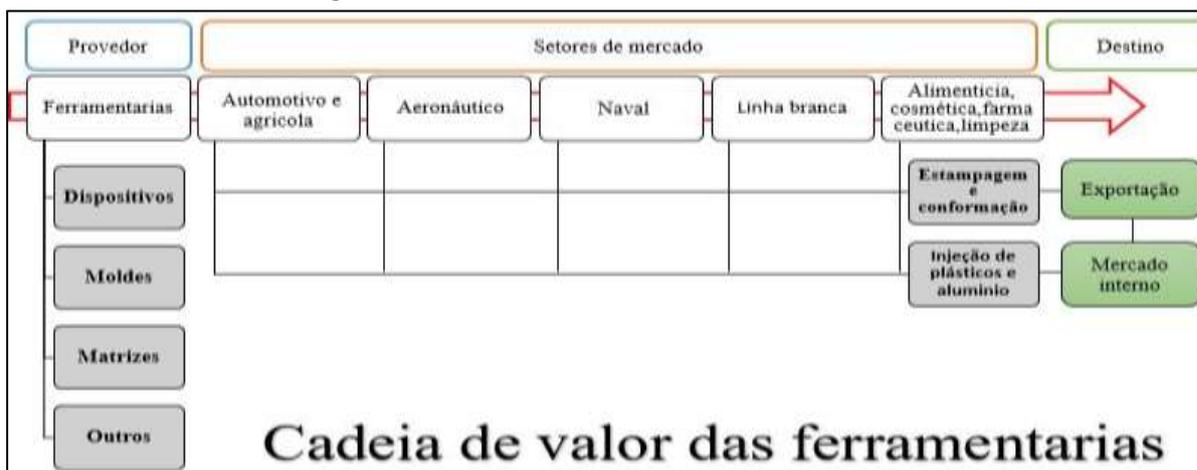


Fonte: Provenza (1993).

De acordo com a ABINFER (2016), entre os anos de 2011 e 2015, dos ferramentais construídos para a indústria do plástico, 77,45% foram para o processo de injeção, 9,93% para o processo de sopro, 4,11% para o processo de extrusão, 3,95% para o processo de termoformagem, 2,91% para o processo de rotomoldagem e 1,65% para os demais processos.

Ademais, a gestão estratégica da cadeia de valor de uma ferramentaria é bem segmentada, em que a competição não ocorre apenas entre empresas, mas abrange também cadeias de segmento (QUEIROZ; PORTELA, 2021). A cadeia de valor de uma ferramentaria e sua segmentação pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Cadeia de valor de uma ferramentaria



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

De acordo com De Aguiar (2022), o destino das empresas está nas mãos de seus clientes e por este motivo, as empresas novas ou incumbentes que quiserem comandar o mercado, precisarão focar seus esforços em entender a cadeia de valor do cliente e alterar seus modelos de negócios de acordo com as demandas desses, procurando suprimir etapas que extinguem valor e desenvolvendo e aperfeiçoando aquelas que criam valor, como é o caso das

ferramentarias (DOS SANTOS, 2020).

Alguns tópicos elencados pelo *website* Fit Tecnologia (2021) acerca do perfil do segmento de ferramentarias no Brasil, foram descritos na sequência:

- No Brasil, o número médio de empresas é de 2.000 ferramentarias;
- Cerca de 90% das ferramentarias têm abaixo de 20 profissionais;
- ABINFER é a associação de fabricantes de moldes brasileira;
- As ferramentarias estão restritas nas regiões sudeste e sul do Brasil, tendo como evidência os seguintes Estados: SP, SC e RS. MG, PR e RJ;
- O segmento é diversificado e complexo;
- Alto custo da mão de obra especializada e falta capacitação;
- Utilização da Rede SENAI para capacitação;
- Apesar de ter em alguns casos produção artesanal, apresenta boa qualidade;
- O *lead time*, o prazo de entrega é longo, comparado aos concorrentes;
- Falta maturidade na aplicação de algumas tecnologias aplicadas ao setor;
- Não tem uma política governamental específica para o setor;
- O Brasil importa cerca de 50% das necessidades de moldes;
- Os maiores concorrentes são as ferramentarias asiáticas.

Cabe destacar ainda, que “em 90% dos casos as empresas que carecem de moldes e matrizes de alta tecnologia, com sofisticados sistemas de injeção e projeto arranjam aquisição de produtos importados”; e além das questões técnicas e tecnológicas, “o custo e o prazo de entrega dos moldes são os principais diferenciais estratégicos” ofertados por empresas do segmento ferramenteiro estrangeiro (FIT TECNOLOGIA, 2021).

2.3 MATRIZ GUT PARA TOMADA DE DECISÃO

A Matriz GUT é considerada um mecanismo fundamental para a preparação estratégica, porque, pelos seus efeitos, promove o suporte para a elaboração de estratégias (CARVALHO; SENNA, 2015). De acordo com Grimaldi e Mancuso (1994), a matriz GUT é projetada para guiar decisões que possuem várias condições. Ela prioriza os problemas a serem solucionados em três critérios: gravidade, urgência e tendência (GUT).

Segundo Pinto *et al.* (2022), a Matriz GUT é uma das ferramentas gerenciais que auxilia o momento de determinar a prioridade de cada atividade, quando há uma grande variedade delas. A matriz tem esse nome por considerar a Gravidade, Urgência e Tendência de cada atividade, da qual a Gravidade refere à relutância do problema em um determinado ambiente, pessoas ou atrasos que podem surgir ao longo do processo. Urgência refere-se ao nível de prioridade que o problema deve ser resolvido, enquanto a Tendência apenas leva em consideração o quanto o problema pode crescer - essa etapa avalia o crescimento, amenização ou desaparecimento de um determinado problema.

Os fatores são pontuados de 1 a 5: 5 representa um peso maior e 1 representa um peso menor, variando de acordo com a questão. Após a classificação é feita a multiplicação (G x U x T), e o resultado com o maior valor terá prioridade, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores da matriz GUT

NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
1	Sem gravidade: danos leves, os quais podem ser desconsiderados;	Pode esperar: não há pressa em resolver o problema;	Não irá mudar: nada irá acontecer;

2	Pouco grave: danos mínimos;	Pouco urgente: são urgentes, mas podem esperar um pouco;	Irá piorar a longo prazo: a situação irá se agravar lentamente;
3	Grave: danos regulares;	Urgente: precisam ser tratados o mais rápido possível;	Irá piorar a médio prazo: a situação irá se agravar um pouco mais rápido;
4	Muito grave: grandes danos, porém reversíveis;	Muito urgente: é urgente, quanto mais cedo melhor;	Irá piorar a curto prazo: a situação pode piorar em um curto período;
5	Extremamente grave: danos gravíssimos que podem até se tornar irreversíveis	Imediatamente: não pode esperar, precisa ser resolvido de imediato.	Irá piorar rapidamente: é imprescindível agir agora antes que seja tarde demais.

Fonte: Adaptado de Grimaldi e Mancuso (1994).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a estruturação do *design* da pesquisa, foi empregado o método misto, também conceituado na literatura como multimétodo, convergência, integração e combinação, aplicando coleta de dados associada às duas formas (quantitativa e qualitativa). Dentro de cada paradigma, as metodologias podem ser empregadas de forma mista, e o pesquisador pode combinar com responsabilidade tais abordagens (CRESWELL; CRESWELL, 2017). Nas seções destinadas à especificação das fases qualitativa e quantitativa do estudo, estes métodos serão detalhados de acordo com o contexto de pesquisa proposto. O estudo se caracteriza por múltiplos casos, que consiste em um relatório dos casos únicos, geralmente concisos em sessões (YIN, 2015).

3.1 UNIVERSO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na cidade de Caxias do Sul, que abrange de 50 a 70 ferramentarias ativas (ABINFER, 2016; FIT TECNOLOGIA, 2021). Foram contatadas 25 empresas do ramo de ferramentaria, havendo retorno de 10 empresas com interesse em participar da pesquisa: 1. Microninox; 2. Inova Matrizes; 3. Gama Matrizes; 4. Metak; 5. VW Tools; 6. Braslux; 7. Massochini Moldes e Matrizes; 8. Matrizes Valmasser; 9. Matrizes Belga; 10. Aeromatrizes.

3.2 ETAPA QUALITATIVA

A pesquisa qualitativa objetiva perceber, descrever e explicar os fenômenos sociais de diferentes modos: analisando experiências de indivíduos ou grupos, observando interações e comunicações que estejam evoluindo e investigando documentos ou traços semelhantes de experiências e integrações (GODOY, 1995). A etapa qualitativa contou com a utilização de um roteiro de entrevistas semiestruturado, contendo 13 questões, aplicado aos representantes de cada empresa, no período de dezembro de 2020 a maio de 2021. Com autorização dos entrevistados, tornou-se possível a gravação da entrevista que ocorreu por meio da plataforma *on-line* Google Meet, permitindo uma análise adequada dos dados. A partir disso, a coleta e análise dos dados contou com o auxílio dos *softwares* Word e Excel.

3.3 ETAPA QUANTITATIVA

A abordagem quantitativa decorreu da etapa qualitativa e contou com o auxílio de uma escala desenvolvida por Schneider (2019), em que o autor avaliou a maturidade da Indústria 4.0 no segmento metal mecânico. De acordo com Richardson (1989), este método caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas. A

Inicialmente foi elaborado um quadro com as escalas, baseado no modelo de Schneider (2019) representado na Figura 3.

Figura 3 – Modelo proposto por Schneider (2019)

		Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0					
		Níveis					
		0	1	2	3	4	5
P i l a r e s t e c n o l ó g i c o s	Sistemas Ciber Físicos	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Integração Vertical e Horizontal	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Internet das Coisas	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Robôs Autônomos	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Simulação	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Big Data	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Computação na Nuvem	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Manufatura Aditiva	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Segurança Digital	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Realidade Aumentada	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado

Fonte: Schneider (2019).

Os níveis de maturidade abrangem uma escala de 0 a 5 distribuídos de acordo com o pilar tecnológico. O valor 0 equivale a nenhuma aplicação na ferramentaria, o valor 1 equivale a usabilidade de forma mais esporádica, o valor 2 é a usabilidade e o emprego em determinadas ocasiões, o valor 3 indica um valor de usabilidade mediano, o valor 4 a usabilidade é mais frequente ou quase total e o valor 5 representa a usabilidade total do emprego da tecnologia. A partir das entrevistas realizadas na etapa qualitativa preencheu-se o questionário com as respostas dos respondentes e realizou-se a avaliação da maturidade nas empresas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PERFIL DOS ENTREVISTADOS

Inicialmente, analisou-se o cargo de cada respondente, em que 70% atuam como colaboradores, 20% proprietários e 10% supervisores. Em relação ao tempo de experiência no setor de ferramentaria, 60 % têm até 5 anos de experiência na área, 20% de 6 a 10 anos, 10% de 11 a 15 anos e 10 % acima de 21 anos, retornando em uma amostra de participantes bem heterogênea relacionada a experiência de trabalho. A Tabela 1 resume o perfil dos respondentes, bem como o tempo de entrevista para cada participante. O tempo total de entrevistas foi de quatro horas e dezoito minutos.

Tabela 1 – Perfil dos respondentes

Código	Atuação	Empresa	Tempo de entrevista
E1	Colaborador	Microinox	00:21:00
E2	Colaborador	Inova matrizes	00:18:00
E3	Supervisor	Gama matrizes	00:20:00
E4	Proprietário	Metak	00:25:00
E5	Proprietário	Vw Tools	00:15:00
E6	Colaborador	Braslux	00:32:00
E7	Colaborador	Massochini Moldes e Matrizes	00:32:00

E8	Colaborador	Matrizes Valmasser	00:33:00
E9	Colaborador	Matrizes Belga	00:30:00
E10	Colaborador	Aeromatrizes	00:32:00
Tempo total de entrevistas			04:18:00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

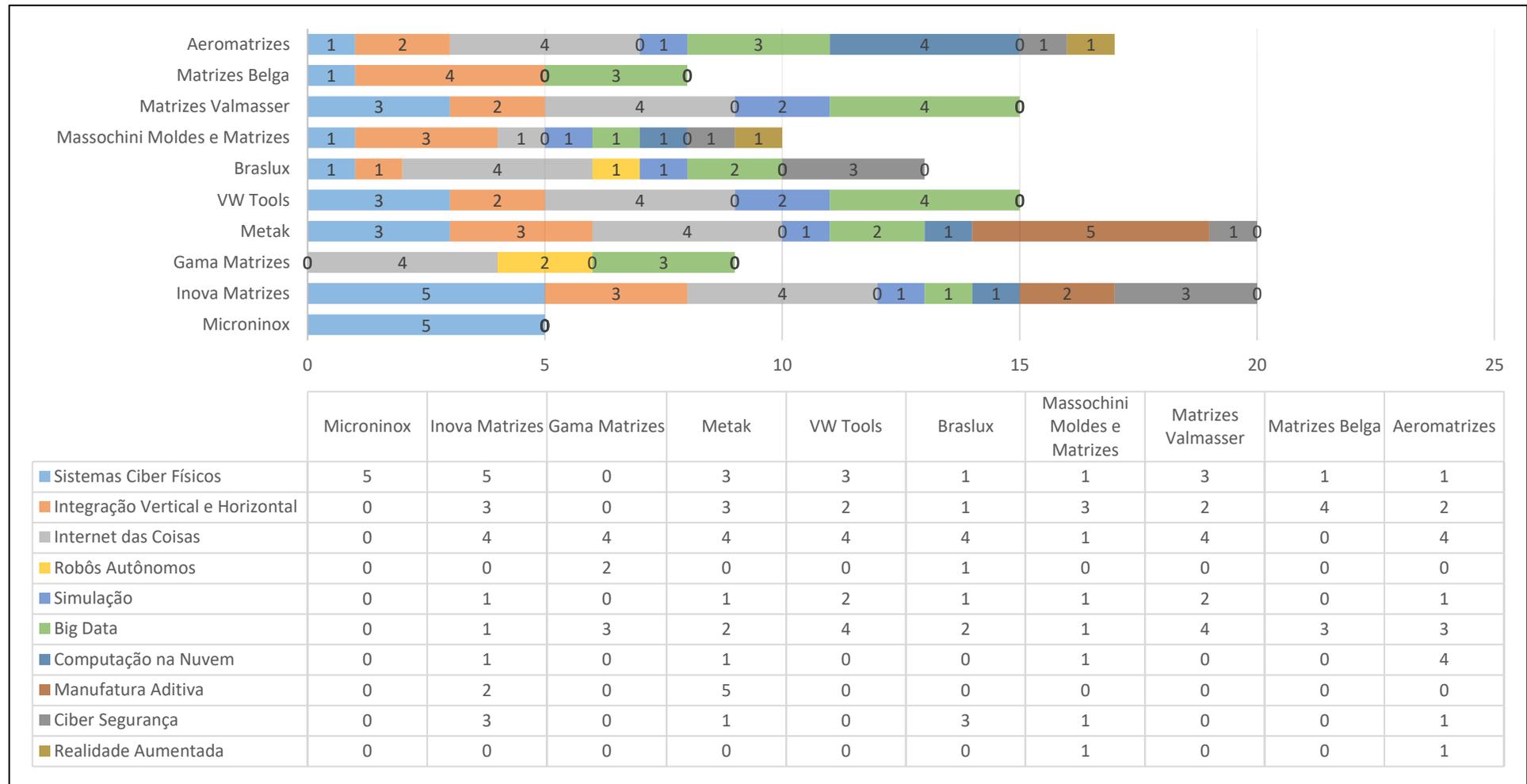
4.2 ANÁLISE DA MATURIDADE DA I4.0

A digitalização das ferramentarias tem como objetivo permitir aos parceiros ao longo da cadeia de valor melhorar produtos e ou serviços, reduzir custos, gerir as operações de forma mais competente graças à monitorização do desempenho da produção e melhorar a concorrência (acesso a dados e informações úteis e melhor resposta às necessidades do mercado) (DE AGUIAR, 2022).

Para tal, é necessário sensibilizar as ferramentarias para as oportunidades oferecidas pelo paradigma da Indústria 4.0 e sobre o inconfundível valor adicionado que essa cooperação pode abonar em condições de fronteiras dinâmicas e em ambientes de complexibilidade crescente. Por exemplo, a fim de manterem-se ligadas à cadeia de valor e preservar a sua competitividade, as ferramentarias podem seguir o exemplo das grandes empresas e grupos multinacionais e adotar as suas tecnologias e formas de trabalhar (QUEIROZ; PORTELA, 2021).

Ademais, dificuldades na aquisição da tecnologia necessária, investimentos em desenvolvimento e na atração de pessoal especializado em TI podem ser sobrepujadas através de uma estratégia multifacetada. A abordagem do armazenamento em nuvem por exemplo, facilita o acesso as ferramentarias a serviços digitais inovadores sem exigir elevados investimentos em infraestruturas ou licenças dispendiosas (FIT TECNOLOGIA, 2021). A análise da maturidade da Indústria 4.0 para as 10 empresas foi realizada através de um comparativo entre os pilares tecnológicos e as ferramentarias participantes do estudo, apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Comparativo das ferramentarias com as tecnologias habilitadoras da I4.0



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A partir da Figura 4, observa-se que a empresa Microinox apresentou: a escala 5 (otimizado) para sistemas *Cyber* físicos e 0 para os outros pilares tecnológicos. A empresa Inova Matrizes informou: 5 (otimizado) para sistemas *Cyber* físicos, 3 (estabelecido) para integração vertical e horizontal, 4 (previsível) para IoT, 1 (realizado) para simulação, 1 (realizado) para *big data*, 1 (realizado) para computação em nuvem, 2 (gerenciado) para manufatura aditiva, 3 (estabelecido) para *Cyber* segurança.

Já a empresa Gama Matrizes informou: 4 (previsível) para IoT, 2 (gerenciado) para robôs autônomos, 3 (estabelecido) para *big data*. Metak teve 3 (estabelecido) para sistemas *Cyber* físicos, 3 (estabelecido) para integração vertical e horizontal, 4 (gerenciado) para IoT, 1 (realizado) para simulação, 2 (gerenciado) para a *big data*, 1 (realizado) para computação em nuvem, 5 (otimizado) para manufatura aditiva e 1 (realizado) para *Cyber* segurança.

A empresa VW Tools obteve o valor 3 (estabelecido) para sistemas *Cyber* físicos, 2 (gerenciado) para integração vertical e horizontal, 4 (previsível) para IoT, 2 (gerenciado) para simulação e 4 (previsível) para *big data*. Braslux apresentou 1 (realizado) para sistemas *Cyber* físicos e integração vertical e horizontal, 4 (previsível) para IoT, 1 (realizado) para robôs autônomos e simulação, 2 (gerenciado) para *big data* e 3 (estabelecido) para *Cyber* segurança.

Massochini Moldes e Matrizes alcançou como diagnóstico: 1 (realizado) para sistemas *Cyber* físicos, 3 (estabelecido) para integração vertical e horizontal, 1 (realizado) para IoT, simulação, *big data*, computação em nuvem, *Cyber* segurança, realidade aumentada. Matrizes Valmasser apresentou: 3 (estabelecido) para sistemas *Cyber* físicos, 2 (gerenciado) para integração vertical e horizontal e simulação, 4 (previsível) para IoT e *big data*.

Matrizes Belga obteve o seguinte diagnóstico: 1 (realizado) para sistemas *Cyber* físicos, 4 (previsível) para integração vertical e horizontal e 3 (estabelecido) para *big data*. Aeromatrizes apresentou: 1 (realizado) em sistemas *Cyber* físicos, *Cyber* segurança, realidade aumentada, e simulação, 2 (gerenciado) para integração vertical e horizontal, 4 (previsível) para IoT e computação em nuvem, e 3 (estabelecido) para *big data*.

Apresentado o diagnóstico das 10 ferramentarias partiu-se para análise estatística descritiva para obter a média, valores máximos e mínimos bem como o desvio padrão da amostragem coletada para traçar o radar tecnológico da Indústria 4.0 para as ferramentarias de Caxias do Sul (CRESWELL; CRESWELL, 2017; RICHARDSON, 1989).

Figura 5 – Estatísticas descritivas dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0

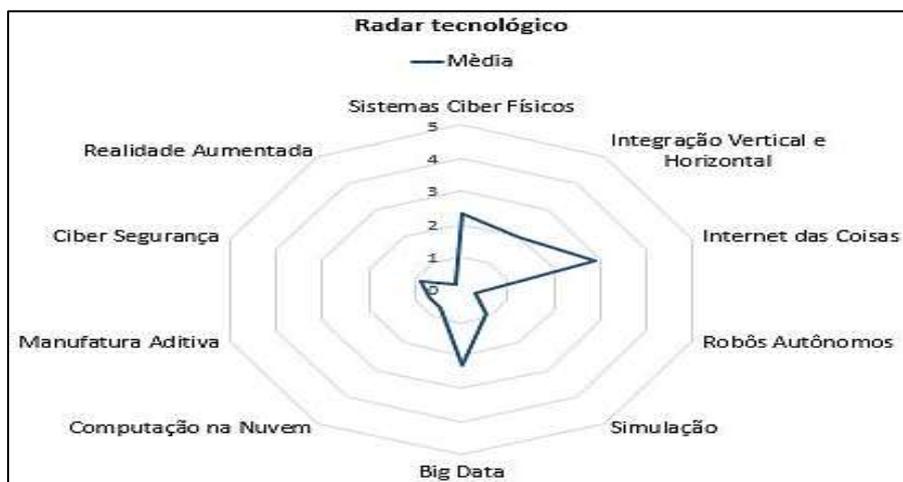
	N	Média	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria		Curtose	
							Assimetria	Erro-padrão	Curtose	Erro-padrão
Sistemas ciber físicos	10	2.300	1.767	3.122	0	5	0.489	0.687	-1.061	1.33
Integração vertical e horizontal	10	2.000	1.333	1.778	0	4	-0.352	0.687	-0.748	1.33
IoT	10	2.900	1.792	3.211	0	4	-1.118	0.687	-0.852	1.33
Robôs autônomos	10	0.300	0.675	0.456	0	2	2.277	0.687	4.765	1.33
Simulação	10	0.900	0.738	0.544	0	2	0.166	0.687	-0.734	1.33
Big data	10	2.300	1.337	1.789	0	4	-0.334	0.687	-0.852	1.33
Computação em nuvem	10	0.700	1.252	1.567	0	4	2.405	0.687	6.336	1.33
Manufatura aditiva	10	0.700	1.636	2.678	0	5	2.503	0.687	6.212	1.33
Ciber segurança	10	0.900	1.197	1.433	0	3	1.204	0.687	0.141	1.33
Realidade aumentada	10	0.200	0.422	0.178	0	1	1.779	0.687	1.406	1.33

Fonte: Jamovi (2022).

Para construção do radar tecnológico, optou-se por trabalhar com a média, conforme destacado na Figura 5. A média é calculada somando-se todos os valores de um conjunto de dados e dividindo-se pelo número de elementos deste conjunto (RICHARDSON, 1989). A

Figura 6 apresenta o radar tecnológico da Indústria 4.0 diagnosticado nas 10 ferramentarias de Caxias do Sul participantes do estudo.

Figura 5 – Radar tecnológico da maturidade I4.0 nas ferramentarias



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para um diagnóstico mais apurado, verifica-se que os sistemas *Cyber* físicos (SACOMANO *et al.*, 2018) obteve uma média de 2.3, que dentro do radar tecnológico se traduz como um recurso (gerenciado), a integração vertical e horizontal (KAGERMANN; WAHLSTER; WELBIG, 2013) com a média de 2.0 (gerenciado); IoT (FAROOQ *et al.*, 2015) com média de 2.9 (estabelecido); robôs autônomos (GILCHRIST, 2016), média 0.3 (inexistente); simulação (FERREIRA *et al.*, 2022) com média de 0.9 (realizado); *big data* (KANG *et al.*, 2016) com média de 2.3 (gerenciado); computação em nuvem (HAJI *et al.*, 2020) com uma média de 0.7 (realizado); manufatura aditiva (ALMEIDA, 2021) média de 0.7 (realizado); *Cyber* segurança (BRANQUINHO *et al.*, 2022) média de 0.9 (realizado); realidade aumentada (KIRNER; KIRNER, 2011) com média de 0.2 (inexistente).

4.3 HIERARQUIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS HABILITADORA DA I4.0 NAS FERRAMENTARIAS

Para a tomada de decisão em relação ao ranqueamento da tecnologia habilitadora para implementação por parte das ferramentarias, utilizou-se a ferramenta Matriz GUT. Como critérios de ranqueamento, analisou-se questões relacionadas aos custos de implementação, custos de adequação da organização, tecnologia aplica, recursos humanos, educação e cultura organizacional (ABINFER, 2016; DOS SANTOS, 2020; DE AGUIAR, 2022).

A Tabela 2 apresenta os resultados do ranqueamento de hierarquização para implementação das tecnologias habilitadoras, vislumbrando o menor impacto financeiro, menor custo de implementação e menor aplicação de recursos humanos e tecnológicos.

Tabela 2 – Matriz GUT para priorização de implementação das tecnologias habilitadoras

<i>Tecnologia habilitadora</i>	Gravidade	Urgência	Tendência	Prioridade
1. Integração Vertical e Horizontal	4	4	4	64
2. Simulação	3	4	4	48
3. Computação na Nuvem	3	4	3	36
4. Cyber Segurança	3	3	3	27

5. Sistemas Cyber Físicos	3	2	3	18
6. Internet das Coisas	2	3	3	18
7. Manufatura Aditiva	2	3	3	18
8. Big Data	2	2	2	8
9. Realidade Aumentada	2	2	2	8
10. Robôs Autônomos	1	1	2	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A prioridade 1, integração vertical e horizontal com um *score* de 64, visa trabalhar as integrações verticais como: 1 – Nível de campo (Chão de fábrica); 2 – Nível de controle (Regularização); 3 – Nível de produção (O que necessita ser monitorado e controlado); 4 – Nível de Operações (Planejamento Produção) e 5 – Nível Planejamento Empresarial (Gerenciamento e processamento de pedidos). A horizontalização abrange trabalhar os formadores internos e externos de serviços e de materiais (KAGERMANN; WAHLSTER; WELBIG, 2013).

A Prioridade 2, com simulação resultante em *score* 48, representa que o uso de modelagem de simulação em ferramentarias está bem estabelecido, a simulação ajuda a reduzir custos, reduzir os ciclos de desenvolvimento, aumentar a qualidade dos produtos e facilitação do gerenciamento da informação, minimizando os erros de processos e projetos (DOS SANTOS, 2020; FERREIRA *et al.*, 2022).

A Prioridade 3, computação na nuvem, apresentou um *score* de 36, oportunizando algumas vantagens para as ferramentarias que utilizarem tal tecnologia: 1. flexibilidade e fácil compartilhamento de dados, uma vez que a nuvem não é uma localização física, várias pessoas podem acessar os mesmos arquivos de vários locais, desde que sejam permitidos; 2. a nuvem oferece melhor controle de operações e rastreamento rápido de requisitos; 3. a empresa está recebendo rentabilidade, explicado por meio da rentabilidade dos serviços de suporte (suporte e suporte técnico para problemas técnicos) e servidores (HAJI *et al.*, 2020).

A Prioridade 4, *Cyber* segurança, retornou um *score* de 27. Tal prioridade é importante para as ferramentarias por conta dos inúmeros projetos executados, então é uma definição mais adequada para a área industrial: proteção de redes, dispositivos, processos operacionais e pessoas, contra o acesso não autorizado ou uso criminoso, e a garantia de operações seguras contínuas. Três pilares podem ser destacados a partir do uso dessa tecnologia: 1. confidencialidade, resguardar o conteúdo da informação, admitindo o acesso apenas por pessoas aprovadas; 2. Integridade, avaliar que a informação continuou inalterada desde sua origem até o seu destino e 3. Disponibilidade, fazer com que as pessoas contenham acesso à informação na mesma ocasião que desejarem consultá-la (BRANQUINHO *et al.*, 2022).

A Prioridade 5 obteve um *score* de 18. Os sistemas *Cyber* físicos são concebidos como uma arquitetura orientada em serviços baseados em nuvem. A IoT conecta todos esses dispositivos ou máquinas a uma rede de internet, possibilitando o intercâmbio de informações em tempo real, gerando uma grande massa de dados que devem ser tratados. Com a ajuda do *big data* e computação na nuvem, é possível atingir a coleta, armazenagem e estimativa dos dados de diversas fontes e clientes para amparar a tomada de decisões, otimização de operações, administração de energia e melhoramento do desempenho do sistema (KANG *et al.*, 2016; FAROOQ *et al.*, 2015). Com a manufatura aditiva, pode-se realizar a prototipação de produtos e de peças para manutenção de máquinas, facilitando as estratégias da ferramentaria.

Finalmente, observou-se que a realidade aumentada é pouco difundida e aplicada nas ferramentarias, bem como a utilização de robôs, tendo em vista que cada matriz ou ferramenta é um projeto único e não seriado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Quarta Revolução Industrial vem sendo estudada como um tema emergente em vários países e diversos setores industriais. Trata-se de uma revolução dos processos de manufatura, tendo por base, entre outras tecnologias, os Sistemas *Cyber* físicos e a Internet das Coisas. O primeiro objetivo do estudo [diagnosticar e medir o nível de maturidade da I4.0 nas ferramentarias] foi alcançado por meio do emprego de múltiplos métodos [qualitativo e quantitativo] com dez ferramentarias localizadas na cidade de Caxias do Sul, possibilitando o delineamento de um estudo de múltiplos casos. A partir do cálculo da escala de maturidade por média, tornou-se possível a elaboração de um radar tecnológico da maturidade da I4.0 das ferramentarias.

O segundo objetivo elencado, propor uma ferramenta de tomada de decisão a partir do diagnóstico, e hierarquizar a implementação das tecnologias habilitadoras da I4.0 para as ferramentarias, tornou-se possível a partir do auxílio da matriz GUT, uma das ferramentas mais utilizadas na área de gestão. A partir dessa ferramenta hierarquizou-se 5 prioridades para nortear as ferramentarias, visando fatores como: custos de implementação, custos de adequação da organização, tecnologia aplica, recursos humanos, educação e cultura organizacional.

Pode-se afirmar que a criação de valor para as ferramentarias ocorrerá através da integração vertical (integração entre diferentes níveis de hierarquias de tecnologias e informação), horizontal (através de redes de valor associando todos os intervenientes da cadeia de valor) e conexão de ponta a ponta (possibilitada através da integração vertical e horizontal). No entanto, gerou-se a discussão sobre as demais tecnologias da I4.0, que também obtiveram destaque na análise, sendo elas: Simulação, Segurança Cibernética, Computação na nuvem e *Cyber* segurança. Isto evidencia que há oportunidades a serem analisadas pelas ferramentarias nas tecnologias habilitadoras, tais como a realidade aumentada e a utilização de robôs autônomos.

A principal limitação da pesquisa foi em relação ao estudo de múltiplos casos, que envolveu apenas dez empresas do segmento de ferramentarias, devido ao contexto pandêmico, e a limitação de possibilidade de entrevistas em modo presencial nas empresas estudadas. Para estudos futuros, sugere-se a realização da mesma análise, que possa ser conduzida em outras ferramentarias de diferentes regiões do Brasil, com o objetivo de comparar os resultados alcançados, principalmente porque ainda não está suficientemente conhecido os casos reais de maturidade da I4.0 no segmento de ferramentarias.

REFERÊNCIAS

ABINFER. **Associação Brasileira Da Indústria De Ferramentais**. Relatório 2011-2015. Revista Ferramental, Joinville, v. 64, n. 1, p. 11-16, mar./abr. 2016. Bimestral. Disponível em: https://issuu.com/revistaferramental8/docs/n___64. Acesso em: 25 jun. 2022.

ALMEIDA, Júlia Fornaziero de. **Adoção de Manufatura Aditiva (MA) para Metais em Empresas: identificação de barreiras e proposta de roteiro para implementação**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18156/tde-23082021-180414/en.php>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

BRANQUINHO, T et al. **Segurança Cibernética Industrial: As infraestruturas críticas mundiais correm perigo. Aprenda a proteger redes e sistemas de controle com uma**

metodologia comprovada na prática. Alta Books, 2022.

CARVALHO, Claudia Pinto de; SENNA, Nathalia Neves B. Planejamento estratégico. Estudo de caso no mercado de farmácia de manipulação. **XXXV ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Fortaleza-CE, Brasil, v. 13, 2015.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. **Sage publications**, 2017.

DE AGUIAR, Túllio Vieira. Cadeias globais de valor e desenvolvimento econômico na América Latina Global value chains and economic development in Latin America. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 21910-21929, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-406>

DOS SANTOS, Luiz Carlos. **Ferramentaria: A importância de gestão, estratégia e pessoas na construção do futuro.** Canal 6 Editora, 2020.

FAROOQ, M. Umar et al. A review on internet of things (IoT). **International journal of computer applications**, v. 113, n. 1, p. 1-7, 2015. <https://doi.org/10.5120/19787-1571>

FERREIRA, Angel Rodrigues et al. Revisão da literatura: uso do conceito BIM em projetos do setor elétrico nos cenários (Inter) Nacional. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e37211629144-e37211629144, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29144>

FIT TECNOLOGIA. **Comparativo das Ferramentarias: Brasil x Alemanha x Portugal x EUA.** 2021. Disponível em: <https://fit-tecnologia.com.br/comparativo-de-ferramentarias-mundo/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

GERES, Mauro. A cidade dos moldes: em Joinville, onde se encontra a maior concentração setorial do país, as empresas enfrentam o desafio da atualização tecnológica para serem globalmente competitivas. **Indústria e Competitividade**, [s. l], v. 1, n. 16, p. 18-25, jul. 2018.

GILCHRIST, Alasdair. Introducing Industry 4.0. In: **Industry 4.0.** Apress, Berkeley, CA, p. 195- 215, 2016. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4_13

GRIMALDI, Roberto; MANCUSO, José Humberto. Qualidade total. **Folha de SP e Sebrae, 6º e 7º fascículos**, 1994.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, p. 57-63, 1995.

HAJI, Lailan M. et al., Impact of cloud computing and internet of things on the future internet. **Technology Reports of Kansai University**, v. 62, n. 5, p. 2179-2190, 2020.

IEDI. **Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o futuro.** 2020. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html. Acesso em: 01 jul. 2022.

KAGERMANN, Henning.; WAHLSTER, Wolfgang.; HELBIG, Johannes. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: securing the future of German

manufacturing industry. [S.l.]: **National Academy of Science and Engineering**, 2013.

KALB, Christiane Heloisa; CARELLI, Mariluci Neis. Narrativas sobre o patrimônio industrial: ferramentarias de moldes e matrizes em Joinville/SC. *História: Questões & Debates*. v. 62, n. 1, p. 193-218, jul. 2015. <https://doi.org/10.5380/his.v62i1.37926>

KANG, Hyoung Seok et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>

KIRNER, Cláudio; KIRNER, Tereza Gonçalves. Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. *Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências*. v. 1, p. 10-25, 2011.

LI, Ming et al. Blockchain-based digital twin sharing platform for reconfigurable socialized manufacturing resource integration. *International Journal of Production Economics*, v. 240, p. 108223, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108223>

PINTO, Elaine de Oliveira et al. A preliminary study of environmental risks through the gut matrix: application in an industrial kitchen. *Food Science and Technology*, v. 42, 2022. <https://doi.org/10.1590/fst.12622>

PROVENZA, Francesco. **Moldes de injeção**. São Paulo: Pro-tec, 1993.

QUEIROZ, Rafael Machado; PORTELA, Clara Fagundes. Uma análise estratégica da interseção entre a metodologia EVA (Economic Value Added) e cadeia de valor: revisão bibliográfica. *REGEN Revista de Gestão, Economia e Negócios*, v. 2, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.5935/2674-7928/LOGS.v2n1p85-100>

RAO, Sriganesh K.; PRASAD, Ramjee. Impact of 5G technologies on industry 4.0. *Wireless personal communications*, v. 100, n. 1, p. 145-159, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5615-7>

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1989.

RODRIGUES, Luciene Cavalcanti; DE QUEIROGA, Ana Paula Garrido; MILHOSSI, José Fernando. Indústria 4.0 e a transformação digital Industry 4.0 and digital transformation. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 2, p. 14093-14101, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-369>

SACOMANO, José Benedito et al. **Indústria 4.0**. Editora Blucher, 2018.

SCHNEIDER, Jaime. **Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em um ambiente da indústria 4.0**. 2019. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/4877>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SCHUH, Günther et al. Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. *Procedia Cirp*, v. 19, p. 51-56, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Tradução: Daniel Bueno. Porto Alegre: Penso, 2016.