

# AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE INDÚSTRIA 4.0 EM UMA MULTINACIONAL DE DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM POR MEIO DO MODELO INDUSTRIE 4.0 READINESS – VDMA

1Greyciane Santos Santana

2Thiago Magalhães Amaral

3Pedro Vieira Souza Santos

## RESUMO

**Objetivo do estudo:** Definir o grau de maturidade de uma empresa multinacional produtora de derivados da cana de açúcar através das diretrizes do *Modelo Industrie 4.0 Readiness - VDMA*.

**Metodologia/abordagem:** O método adotado para pesquisa foi o estudo de caso devido à sua habilidade de investigar um fenômeno contextualmente, e teve como meio aplicação de questionário respondido por gerentes da área de produção, TI e finanças. Os dados foram avaliados no próprio sistema do VDMA e no Excel a fim de delimitar as seis dimensões do modelo para a empresa.

**Originalidade/Relevância:** O estudo é relevante por demonstrar o uso do *Modelo Industrie 4.0 Readiness – VDMA* através de adaptações para a realidade da indústria brasileira, servindo de referência para pesquisas futuras e para outras indústrias avaliarem seu grau de maturidade com a metodologia proposta.

**Principais resultados:** A empresa em estudo foi categorizada como nível 3 na avaliação global. Destacou-se nas seis dimensões avaliadas com os Funcionários (nível 4), Operações e Produtos inteligentes (ambos no nível 3), Estratégia e organização e Fábrica inteligente (ambas no nível 2), e Serviços orientados por dados (nível 1).

**Contribuições teóricas:** Adaptação do modelo à realidade das indústrias brasileiras. Vale ressaltar que o modelo alemão foi validado e está sendo utilizado por várias indústrias globalmente.

**Contribuições para a gestão:** É vantajoso estrategicamente para a indústria avaliada, podendo concentrar-se nas dimensões com pontuações mais baixas, como em serviços orientados por dados (nível 3). Este estudo pode servir como padrão para outras empresas do setor.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Nível de maturidade. Tecnologia; Inovação.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Pernambuco, (Brasil). E-mail: [greyciane.santana@discente.univasf.edu.br](mailto:greyciane.santana@discente.univasf.edu.br) Orcid id: <https://orcid.org/0009-0003-0345-1886>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Pernambuco, (Brasil). E-mail: [thiago.magalhaes@univasf.edu.br](mailto:thiago.magalhaes@univasf.edu.br) Orcid id: <http://orcid.org/0000-0001-8682-7794>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Pernambuco, (Brasil). E-mail: [pedrovieirass@hotmail.com](mailto:pedrovieirass@hotmail.com) Orcid id: <http://orcid.org/0000-0001-9802-506X>

# A SSESSMENT OF INDUSTRY 4.0 MATURITY IN A MULTINATIONAL SUGARCANE DERIVATIVES COMPANY: AN APPROACH USING THE INDUSTRY 4.0 READINESS MODEL – VDMA

## ABSTRACT

**Objective of the study:** Define the degree of maturity of a multinational company producing sugar cane derivatives using the guidelines of the Industrie 4.0 Readiness Model - VDMA.

**Methodology/approach:** The method adopted for research was the case study due to its ability to investigate a phenomenon contextually, and was used as a means of applying a questionnaire answered by managers from the production, IT and finance areas. The data was evaluated in the VDMA system itself and in Excel in order to define the six dimensions of the model for the company.

**Originality/Relevance:** The study is relevant for demonstrating the use of the Industrie 4.0 Readiness Model – VDMA through adaptations to the reality of Brazilian industry, serving as a reference for future research and for other industries to assess their level of maturity with the proposed methodology.

**Main results:** The company under study was categorized as level 3 in the global assessment. It stood out in the six dimensions evaluated with Employees (level 4), Smart Operations and Products (both level 3), Strategy and organization and Smart Factory (both level 2), and Data-driven Services (level 1).

**Theoretical contributions:** Adaptation of the model to the reality of Brazilian industries. It is worth mentioning that the German model has been validated and is being used by several industries globally.

**Contributions to management:** It is strategically advantageous for the industry evaluated, being able to focus on dimensions with lower scores, such as data-driven services (level 3). This study can serve as a standard for other companies in the sector.

**Keywords:** Industry 4.0. Maturity level. Technology. Innovation.

FUTURE STUDIES RESEARCH JOURNAL  
**Scientific Editor:** Renata Giovinozzo Spers  
**Evaluation:** Double Blind Review, pelo SEER/OJS  
**Received:** 07/04/2025  
**Accepted:** 08/06/2025

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mundo em contínua evolução, as empresas necessitam descobrir novas abordagens para enfrentar todos os desafios que vêm crescendo constantemente como: complexidade tecnológica, rápido desenvolvimento de produtos e serviços, configuração de tecnologias modulares, cultivo de pessoas digitais, entre outros (Mohelska & Sokolova, 2018; Sjodin, et al., 2018; Machado & Santos, 2020; Santos et al., 2025).

Com esse cenário, a Indústria 4.0 está remodelando os sistemas de produção ao introduzir a automação e digitalização de processos, produtos e modelos de negócios, disseminando o uso de tecnologias em várias esferas da sociedade (Silva & Olave, 2020). Para Santos (2017) e Moura (2020), a liderança em termos de tecnologia é essencial para definir a posição competitiva das empresas, o que mostra a importância de as empresas estarem preparadas para adotarem as práticas da Indústria 4.0 em um ambiente globalizado e tecnologicamente avançado.

Nesse sentido, a adoção dessas tecnologias, por parte das empresas no Brasil, resulta em benefícios fundamentais, tais como: aprimoramento da eficiência e qualidade, redução nos prazos de produção, capacidade de realizar produção em massa personalizada, dinamicidade dos processos de engenharia e comercialização, inovação em modelos de negócios com abordagens diferenciadas para agregar valor, simplificação do processo de tomada de decisão, abertura de novas perspectivas para *startups*, etc. (Albertin, et al., 2017; Santos et al., 2021).

Sob uma abordagem estratégica, é amplamente reconhecida na literatura que as Revoluções Industriais vêm gerando várias repercussões nos modelos de negócios, e isso tem despertado uma atenção cada vez maior por parte de acadêmicos e pesquisadores nos últimos tempos (Erdogan, et al., 2017; Mohelska & Sokolova, 2018; Stachová, et al., 2019). Diante desse cenário, segundo Antunes (2019), as empresas brasileiras estão explorando formas de incorporar conceitos e práticas relacionados aos seus processos de produção para atender à crescente demanda dos clientes e do mercado por essas inovações.

Conforme Moura (2020), empresas de pesquisa e consultorias conduzem estudos detalhados para compreender os impactos iminentes e, sobretudo, como orientar as empresas para enfrentar essa nova era. Nem todas as indústrias estão preparadas para adotar plenamente as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (Basseto, 2019). Um exemplo disso, é a pesquisa global realizada com executivos e gestores pela MIT Sloan Management Review e pela Deloitte, onde 90% dos entrevistados afirmaram que suas empresas serão afetadas de maneira ampla ou moderada pelas tendências digitais (Kane, et al., 2016). No entanto, somente

44% alegam que suas organizações estão em uma preparação adequada para viver essa nova fase (Kane, et al.,2016).

Sob estas condições, é necessário encontrar uma maneira de avaliar em qual estágio cada indústria se encontra no que diz respeito às diretrizes da Indústria 4.0 (Basseto, 2019). Os modelos de maturidade são ferramentas que se configuram como instrumentos que possibilitam a análise da indústria, fazendo uso de modelos matemáticos, ferramentas descritivas e comparativas (Azevedo & Santiago, 2019).

Um dos modelos que está disponível na literatura é o *Industrie 4.0 Readiness* criado pela *Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau* (VDMA), empregado para analisar o grau de maturidade da empresa em relação às diretrizes da Indústria 4.0 utilizando seis dimensões de análise, sendo elas: estratégia e organização, fábrica inteligente, operações inteligentes, produtos inteligentes, serviços orientados a dados e empregados, abrangendo 18 áreas para avaliar a preparação em seis níveis distintos (Moura, 2020). Estudos envolvendo aplicação de métodos VDMA para avaliação da maturidade de empresas podem ser encontrados em: Silva (2020) e Stojkovic (2023). Outros estudos que utilizam esse modelo como base de pesquisa para criação de novos modelos e análise comparativa podem ser achados em: Nick et al. (2019), Santos (2018) e Axmann & Harmoko (2020). É importante ressaltar que o conceito de Indústria 4.0 vem sendo adotado por outros setores além da manufatura como a agricultura e serviços, os quais também requerem a avaliação do seu grau de maturidade (Fernandes, 2020).

Foi constatado que a empresa objeto desta pesquisa encontrava-se em um cenário de incerteza quanto à sua posição em relação à implementação das tecnologias associadas à Indústria 4.0, uma lacuna que potencialmente comprometeria sua competitividade e estratégia. Além disso, havia uma falta de clareza sobre como ela se posicionava em relação às demais empresas do setor. Diante disso, o presente trabalho possui como objetivo central definir o grau de maturidade de uma empresa multinacional produtora de derivados da cana de açúcar através das diretrizes do Modelo *Industrie 4.0 Readiness - VDMA*.

Espera-se também que este trabalho possa comparar o grau de maturidade da empresa em relação às empresas similares na Alemanha. A empresa comercializa produtos como etanol, açúcar, combustíveis e bioenergia e é uma das empresas de energia mais competitiva do mundo, com sede no estado de São Paulo atuando também em outros países, como Argentina e Paraguai. Considerado um dos maiores grupos empresariais privados do Brasil, a organização possui mais de 30 mil colaboradores, produzindo anualmente cerca de 2,5 bilhões de litros de etanol e aproximadamente 73 milhões de toneladas de açúcar.

É importante mencionar que esta pesquisa se justifica pelo fato de não haver um modelo nacional que faça este comparativo. Além disso, é importante destacar que este trabalho poderá servir de modelo para outras indústrias que queiram avaliar o seu grau de maturidade. Além disso, a contribuição científica do trabalho está pautada no fornecimento de referência para discussão e ampliação do tema; sobretudo do ponto de vista da aplicação do modelo VDMA. Essa modelagem foi escolhida para realizar a análise de maturidade da empresa estudada, pois é uma abordagem que pesa a realidade das empresas, tem acesso facilitado pela plataforma *on-line* e possibilita a comparação com as empresas do mesmo setor, além de já existirem resultados das empresas alemãs, o que auxilia a comparar o grau de maturidade da empresa com outras do mesmo setor.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Conceito e benefícios da Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 designa a transformação digital na manufatura, simbolizando uma nova era de inovação na industrialização. Ele surgiu do ambiente industrial alemão e com empresas disruptivas e novos negócios na internet, em seguida, estendeu-se para o mundo convencional, englobando cidades, prédios e fábricas (Moura, 2020). O que mais caracteriza este termo é que Sistemas Ciberfísicos presentes na Indústria 4.0 englobam máquinas inteligentes, instalações de produção e sistemas de armazenamento ao trocarem informações autonomamente, desencadeando ações e controlando-se independentemente, oferecendo melhorias importante para todos os processos industriais (Moura, 2020; Oliveira et al., 2024). Além disso, esses sistemas devem abranger áreas como fabricação, gestão da cadeia de suprimentos, engenharia, utilização de materiais, e administração do ciclo de vida (Luenendonk, 2019 *apud* Moura, 2020, p. 50).

Ademais, segundo Geissbauer, et al. (2016), todos os dados gerados dentro dos processos operacionais, gestão da qualidade, assim como o planejamento operacional encontram-se acessíveis de imediato, respaldados por realidade aumentada e otimizados em uma rede interligada. A integração horizontal na era 4.0 engloba mais do que apenas as operações internas, passando pelos fornecedores até chegar aos consumidores, além de todo o restante da cadeia de valor.



Segundo Santos et al. (2018), os principais benefícios da Indústria 4.0, assim como toda nova tecnologia implementada são: produtividade e Utilização de Recursos, representado pela interconexão de máquinas, produtos e sistemas produtivos desempenha um papel crucial na otimização do aproveitamento de recursos; crescimento da Receita, baseado no crescimento da demanda dos consumidores por personalização dos produtos, juntamente com o crescente aumento da demanda por fabricantes de equipamentos aprimorados e o uso de dados combinados; empregabilidade: considerando as habilidades diversas e alguns trabalhadores menos qualificados que podem ser substituídos por máquinas; e investimento, pautado na previsão de que a adoção da Indústria 4.0 resulte em significativos investimentos, impulsionando, por conseguinte, a economia.

Nesse contexto, o conceito de Indústria 4.0 é estimulado por nove tecnologias digitais, também conhecidas como habilitadoras da Indústria 4.0. Estas tecnologias incluem robótica avançada, Internet das Coisas (IoT), manufatura aditiva, realidade aumentada, simulação, integração horizontal e vertical, segurança cibernética, computação em nuvem, além de *Big Data* e *Analytics* (Rübmann, et al., 2015). Maiores estudos sobre as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem ser encontradas em: Rübmann, et al. (2015); Inoue et al. (2019); Winkelhaus e Grosse (2020); Javaid et al. (2020); Biard e Nour (2021); Barros et al. (2021); Santos (2021) e Silva (2022).



**Figura 1:** Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

Fonte: Almeida (2019)

### 2.3 Modelos de Maturidade

De acordo com Schumacher et al. (2016), os modelos de maturidade são empregados como instrumentos para analisar e comparar o estágio de uma organização ou processo em relação ao seu estado atual no que diz respeito à maturidade em tecnologias e conceitos da Indústria 4.0. Com fundamentação em normas preestabelecidas, um Modelo de Maturidade (MM) pode ilustrar como as capacidades de uma organização progridem de maneira gradual ao longo de um percurso de maturidade esperado, desejado ou lógico. A avaliação do nível de maturidade pode ser conduzida tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa, seja de forma discreta ou contínua (Hein-Pensel, et al., 2023).

Deve-se destacar que existem vários Modelos de Maturidade, destacando-se por suas diferenças em níveis de maturidade, dimensões, foco, aplicabilidade, *benchmarking*, usabilidade, análise de *gaps* e disponibilidade de questionário. Diante disso, nas Tabelas 1 e 2, está descrita uma análise comparativa dos modelos identificados na revisão literária por Druczkoski (2020).

**Tabela 1.** Análise comparativa dos Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 (Parte 1)

| <b>Autores</b>                 | Schumacher et al. (2016)                   | Lichtblau et al. (2015)                    | Geissbauer et al. PwC (2016)                           | Gok alp et al. (2017) | Jung et al. (2016)    |
|--------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Nome do modelo</b>          | Industry 4.0 Maturity Model                | IMPULS – industrie 4.0- readiness - VDMA   | Blueprint for digital success                          | Industry 4.0-MM       | SMSRL                 |
| <b>Níveis de Maturidade</b>    | níveis do 1 ao 5                           | 6 níveis do 0 ao 5                         | Inexistente                                            | 6 níveis do 0 ao 5    | Porcentagem, 0 a 100% |
| <b>Dimensões</b>               | 9                                          | 6 com 18 sub-dimensões                     | 7                                                      | 5                     | 4                     |
| <b>Foco</b>                    | Geral                                      | Industrial                                 | Geral                                                  | Geral                 | Geral                 |
| <b>Aplicação</b>               | Autoavaliação                              | Autoavaliação                              | Autoavaliação auxiliada                                | Não informada         | Não informada         |
| <b>Facilidade de uso</b>       | Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0 | Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0 | Nenhum conhecimento requerido (auxílio de consultores) | Não informada         | Não informada         |
| <b>Benchmarking</b>            | Não                                        | Sim, relatório gerado automaticamente      | Sim, com o auxílio de consultores                      | Não informado         | Não informado         |
| <b>Análise de Gaps</b>         | Não informado                              | Sim, relatório gerado automaticamente      | Sim, com o auxílio de consultores                      | Não informado         | Não informado         |
| <b>Questionário disponível</b> | Somente exemplo                            | Sim                                        | Não                                                    | Não                   | Não                   |

Fonte: Druczkoski (2020)

**Tabela 2.** Análise comparativa dos Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 (Parte 2)

| <b>Autores</b>                 | Rockwell Automation (2014)                             | Schuh et al. (2017)                        | Akdil et al. (2018)                                    | IAPMEI (2019)                              |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Nome do modelo</b>          | The connected enterprise maturity model                | Industrie 4.0 maturity index               | Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy | Shift to 4.0                               |
| <b>Níveis de Maturidade</b>    | Não informado                                          | 6 estágios de desenvolvimento              | 4 níveis do 0 a 4                                      | 6 níveis do 0 ao 5                         |
| <b>Dimensões</b>               | 4                                                      | 4 áreas principais                         | 3                                                      | 6 com 18 sub-dimensões                     |
| <b>Foco</b>                    | Geral                                                  | Geral                                      | Geral                                                  | Geral                                      |
| <b>Aplicação</b>               | Auxiliada                                              | Autoavaliação                              | Não informada                                          | Autoavaliação, possível consultoria        |
| <b>Facilidade de uso</b>       | Nenhum conhecimento requerido (auxílio de consultores) | Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.1 | Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.2             | Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.3 |
| <b>Benchmarking</b>            | Sim, com o auxílio de consultores                      | Não                                        | Não informado                                          | Sim, relatório gerado automaticamente      |
| <b>Análise de Gaps</b>         | Sim, com o auxílio de consultores                      | Sim, autoavaliação                         | Não informado                                          | Sim, relatório gerado automaticamente      |
| <b>Questionário disponível</b> | Não                                                    | Não                                        | Sim                                                    | Sim                                        |

Fonte: Druczkoski (2020)

Ao analisar os dados das Tabelas 1 e 2, é evidente que cada modelo apresenta suas especificidades. Por exemplo, a maioria deles é projetada para autoavaliação, dispensando a necessidade de assistência para a realização do teste, exceto o *The Connected Enterprise Maturity Model*, criado em 2014, que requer tal assistência. Além disso, a maioria dos modelos pressupõe conhecimentos básicos, no mínimo, sobre a Indústria 4.0, implicando que a aplicação eficaz do teste não se limita à sua execução, mas também exige uma compreensão considerável do tema. Além do mais, a maior parte dos modelos apresenta uma abordagem mais ampla, sendo aplicáveis em empresas de diversos segmentos. A Tabela 1 mostra também a vantagem do modelo *Industrie 4.0 Readiness - VDMA* selecionado para este trabalho, como por exemplo, a geração automática de relatório para análise de *bechmarking* e *GAPs*, a necessidade de conhecimentos básicos sobre a Indústria 4.0 e a disponibilidade de um questionário na web para facilitar o preenchimento por parte os stakeholders.

## 2.4 Industrie 4.0 readiness - VDMA

A VDMA desenvolveu o Modelo de *Maturidade Industrie 4.0 Readiness*, juntamente com a Universidade de Aachen e a IW Consult, subsidiária do Instituto de Investigação Econômica de Colônia. Este modelo é empregado para avaliar a prontidão na transição para a



Indústria 4.0 e possui seis dimensões, compreendendo 18 campos que indicam o grau de maturidade em seis níveis distintos. Como pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Dimensões e critérios do modelo de avaliação de maturidade na Indústria 4.0 da VDMA.

| Dimensões                            | Critérios                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Estratégia e organização</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Situação de implementação da estratégia para a Indústria 4.0</li> <li>• Operacionalização e revisão de estratégia pelo uso de um sistema de indicadores</li> <li>• Investimentos relacionados com a Indústria 4.0</li> <li>• Uso de tecnologia e gestão da inovação</li> </ul> |
| <b>Fábrica inteligente</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem digital</li> <li>• Infraestrutura de equipamentos</li> <li>• Uso de dados</li> <li>• Sistemas de TI</li> </ul>                                                                                                                                                       |
| <b>Operações inteligentes</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compartilhamento de informações</li> <li>• Uso da nuvem</li> <li>• Segurança de TI</li> <li>• Processos autônomos</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| <b>Produtos inteligentes</b>         | A preparação em relação a Produtos inteligentes é determinada observando as funcionalidades adicionais de TIC nos produtos e também à medida que os dados da fase de uso são analisados                                                                                                                                 |
| <b>Serviços orientados por dados</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidade de serviços orientados por dados</li> <li>• Participação das receitas derivadas de serviços acionados por dados</li> <li>• Compartilhamento de dados usados</li> </ul>                                                                                         |
| <b>Empregados</b>                    | A preparação na dimensão dos Empregados é determinada pela análise das habilidades dos empregados em várias áreas e pelos esforços da empresa para adquirir novas habilidades.                                                                                                                                          |

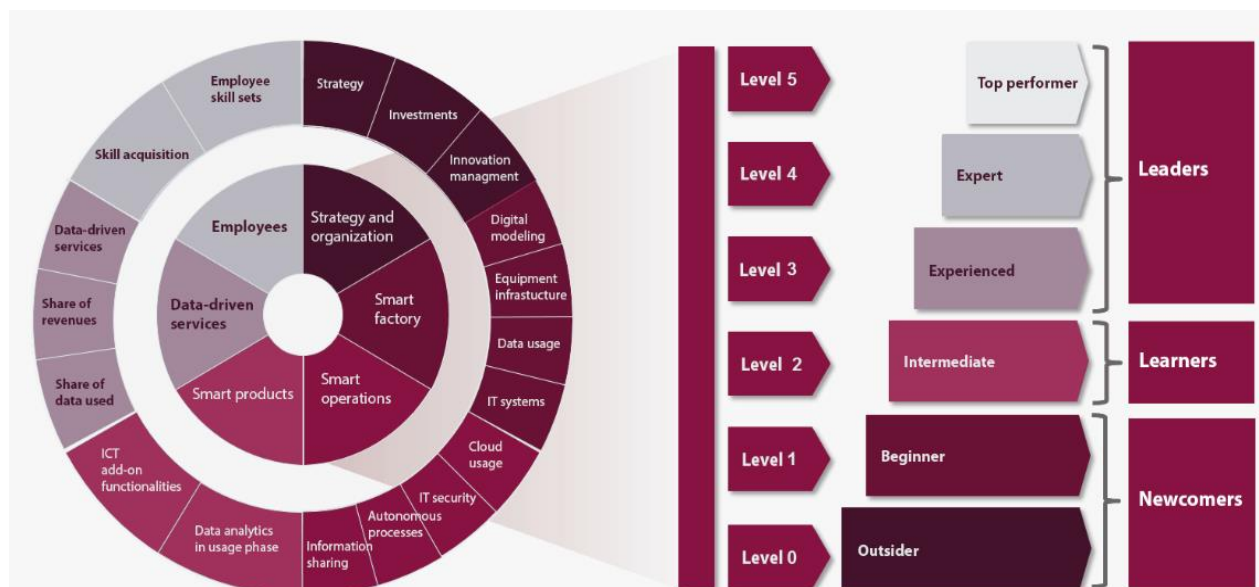
Fonte: (VDMA apud Moura, 2020).

Esse modelo tem como base quatro fundamentos: o primeiro é a integração horizontal, que seria a habilidade de se adaptar às novas situações, além da otimização do processo de produção; o segundo integração vertical utiliza os Sistemas Ciberfísicos para facilitar a comunicação das pessoas, máquinas e recursos de forma digital; o terceiro são os produtos inteligentes, que possuem dados da sua produção, conseguindo transmitir e coletar informações desde a fase e fabricação até o uso; e o quarto fundamento são os seres humanos como os impulsionadores do valor agregado, onde o foco é o cliente e o colaborador (Moura, 2020).

### 2.4.1 Níveis do modelo VDMA

O modelo possui uma escala de 0 a 5, onde indica o nível em que a empresa está em relação às diretrizes da Indústria 4.0, como pode ser observado na Figura 2.

**Figura 2:** Níveis dentro da escala de 0 a 5 do modelo VDMA.



Fonte: IMPULS (2023).

Fenerich e Feitosa (2021) descreveram de forma mais detalhada os seis níveis que caracterizam a maturidade da empresa onde:

- **Nível 0:** A empresa está fora do processo, nesse estágio ela não atende a nenhum dos requisitos. Esse estágio é designado para empresas que não têm conhecimento ou consideram a Indústria 4.0 como algo irrelevante.
- **Nível 1:** Na fase inicial, a empresa participa da Indústria 4.0 por meio de iniciativas piloto, nos quais alguns processos produtivos recebem suporte de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), sistemas integrados e compartilhamento de informações de forma restrita.
- **Nível 2:** Num estágio intermediário, as empresas já integram a Indústria 4.0 em sua estratégia, aportando investimentos, utilizando indicadores para monitorar o status de implementação, coletando dados da produção, desenvolvendo as habilidades de alguns funcionários e introduzindo os primeiros produtos com incorporação de TIC.
- **Nível 3:** Empresas consideradas experientes possuem uma estratégia já estabelecida, investem de acordo com a gestão da inovação, contam com processos de produção apoiados por TIC, coleta automatizada de dados nas principais áreas, implantação de medidas de segurança da informação, possuem produtos com diversas funcionalidades de TIC, oferta inicial de serviços orientados por dados e uma atenção voltada para o aprimoramento das habilidades dos funcionários.

- Nível 4: Na categoria de especialistas, encontram-se as empresas que supervisionam de perto a estratégia, efetuam investimentos em gestão da inovação entre departamentos, integram funcionalidades baseadas em TIC, viabilizando a comunicação efetiva com os clientes, realizam a coleta e análise de dados sobre a utilização dos produtos e apresentam um nível de maturidade propício para a expansão na era da Indústria 4.0.
- Nível 5: Em um nível de alto desempenho, encontramos empresas com uma estratégia plenamente executada. A infraestrutura de TIC sustenta processos de produção autônomos, e os dados coletados são aplicados no desenvolvimento de produtos, manutenção remota e suporte às vendas. Essas empresas possuem capacidades técnicas consolidadas e habilidades bem estabelecidas.

Isso posto, de acordo com Moura (2020), os seis níveis podem ser categorizados em três grupos distintos: *Newcomers* (nível 0 ou *outsider* e 1 ou *beginner*), *Learners* (nível 2 ou *intermediate*) e *Leaders* (nível 3 ou *experienced*, 4 ou *expert* e 5 ou *top performer*), cada um representando diferentes tipos de empresas. Essa categorização facilita a síntese dos resultados.

### 3. METODOLOGIA

Essa pesquisa aborda um caso de estudo. É importante destacar que essa abordagem é apropriada para pesquisas que buscam compreender um fenômeno ou evento social a fim de identificar e examinar várias dimensões para desenvolver uma teoria substancial que esclareça o contexto investigado. Este método de pesquisa é uma das estratégias mais frequentemente empregadas em diversas áreas, incluindo gestão, ciência política, psicologia e sociologia (Yin, 2018).

Sendo assim, esta pesquisa tem natureza aplicada pelo fato de possuir uma finalidade imediata com o objetivo de definir o grau de maturidade de uma empresa baseado em um modelo teórico existente e validado (Modelo *Industrie 4.0 Readiness – VDMA*); é uma pesquisa descritiva por descrever não só o nível de maturidade, mas também as seis dimensões considerando as 18 sub-dimensões; possui como meio um estudo de caso em uma única empresa e tem abordagem quali-quantitativa por tratar de dados qualitativos e quantitativos como base na aplicação do questionário traduzido, adaptado e disponível no Apêndice 1.

Os dados foram coletados seguindo a ordem estruturada, baseando-se nos pilares: Perguntas gerais sobre sua empresa; Estratégia e organização; Fábrica inteligente; Operações inteligentes; Produtos inteligentes; Serviços baseados em dados; Funcionários; Grupos de

comparação. Foram 34 questões, expostas no Apêndice 1, aplicadas aos profissionais da área selecionados com base na experiência e contato com a área. Os dados foram submetidos ao Google Docs e comparados com o referencial alemão. Ademais, foi feita uma análise no *software* Microsoft Excel para geração dos gráficos, juntamente com a análise estatística.

É importante mencionar que foi necessário selecionar a categoria do modelo da VDMA, optando-se pela área da manufatura, visto que a empresa possuía mais de 500 funcionários e receita a partir de 500 milhões de euros. A seleção desta categoria é importante para a comparação com outras empresas do mesmo nicho.

Esta pesquisa está dividida em sete etapas, sendo elas: 1. Definição do tema, problema e objetivos; 2. Estudo da literatura focado nas diretrizes, benefícios e modelos de maturidade relacionados a Indústria 4.0; 3. Seleção do modelo de maturidade a ser aplicado na empresa; 4. Aplicação do questionário com três gerentes com mais de dois anos no cargo e responsáveis pelas áreas relacionadas às seis dimensões, sendo elas: produção, TI e finanças; 5. Análise dos dados a partir do sistema da VDMA e do Excel para geração dos gráficos; 6. Discussão dos dados principalmente comparando com outros estudos na área; e por último, 7. As considerações finais. O fluxograma com as etapas da pesquisa é mostrado na Figura 3.

**Figura 3.** Fluxograma do método utilizado.



**Fonte:** Os autores (2025)

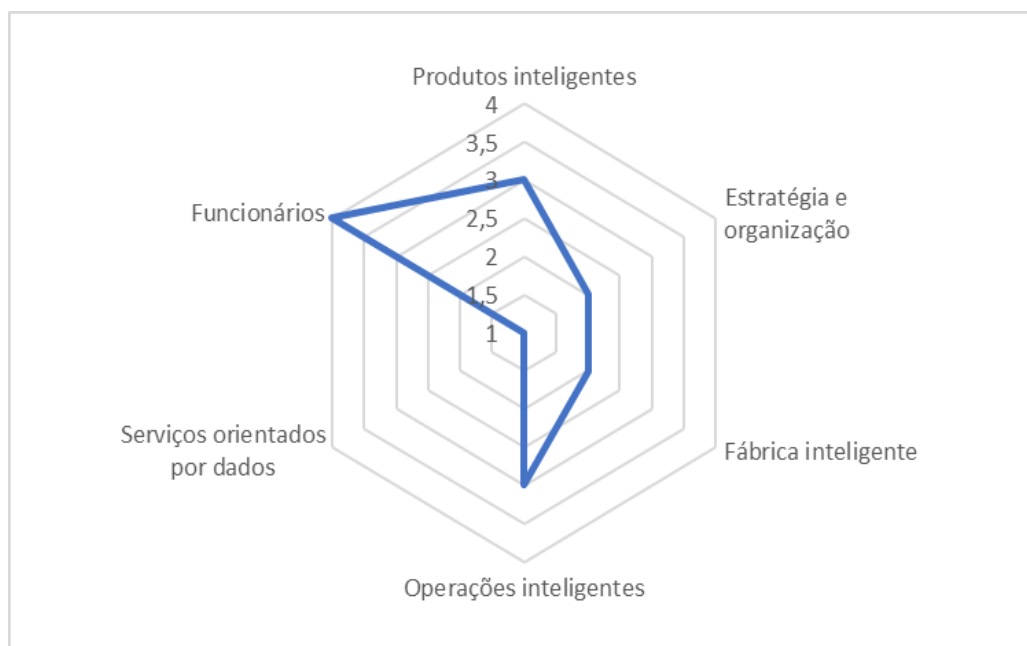
Os dados que são empregados como referência para fins de comparação com os resultados desta pesquisa foram coletados em uma pesquisa realizada em 2015 pelo Instituto de Pesquisa Econômica da Colônia Consult GmbH (*IW Consult*), comissionada pela Fundação IMPULS. Após a conclusão do questionário, as seis dimensões foram avaliadas com base nos dados do estudo IMPULS e ponderadas de acordo com o seguinte critério e pesos: Estratégia e organização (0,254), Produtos inteligentes (0,185), Funcionários (0,179), Fábrica inteligente (0,143), Serviços baseados em dados (0,138) e Operações inteligentes (0,102). Dessa forma, a média global ponderada foi calculado como mostra a Eq. (1):

$$Média\ global = (Ax0,254) + (Bx0,185) + (Cx0,179) + (Dx0,143) + (Ex0,138) + (Fx0,102) \quad (1)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta os níveis de maturidade nas seis dimensões da Indústria 4.0 da empresa estudada. Um gráfico de radar foi empregado para proporcionar uma representação visual sintética do panorama geral.

**Figura 4.** Pontuações de prontidão nas seis dimensões da Indústria 4.0.



Fonte: Os autores (2025).

A empresa objeto de estudo foi classificada no nível 3 na avaliação geral, e empresas categorizadas neste nível são reconhecidas como experientes, demonstram ter uma estratégia

consolidada, além de investirem em inovação. Além disso, utilizam TIC em seus processos de produção, realizam coleta automatizada de dados em áreas-chave, adotam medidas de segurança da informação, oferecem serviços iniciais orientados por dados e priorizam o desenvolvimento das competências dos colaboradores.

Ao analisar a Figura 4, pode-se perceber que a dimensão Funcionários obteve a pontuação mais elevada (nível 4), seguida de Operações inteligentes (nível 3) e Produtos inteligentes (nível 3). As dimensões de Fábrica inteligente (nível 2) e Estratégia e organização (nível 2) aparecem em seguida, enquanto a dimensão de Serviços orientados por dados registrou a pontuação mais baixa (nível 1). Essas seis dimensões são descritas com detalhes nas seções seguintes.

## 4.1 Dimensões

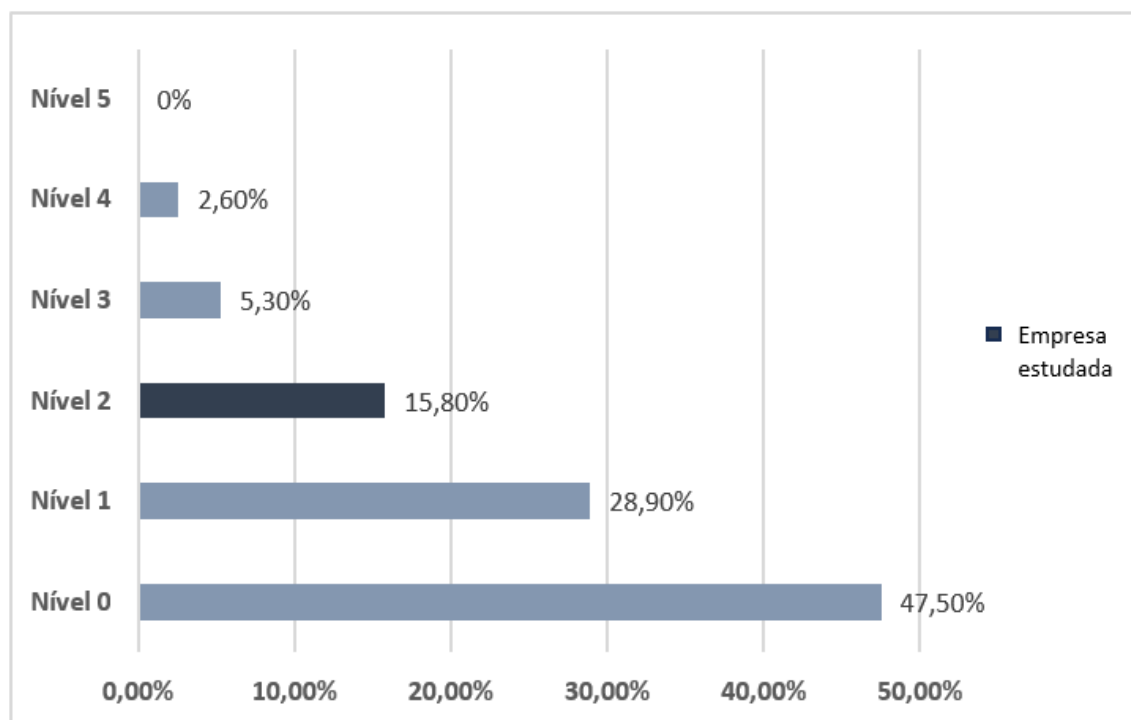
### 4.1.1 Estratégia e organização

Na métrica de Estratégia e Organização, a empresa alcançou o nível 2. O resultado, além de fornecer uma avaliação do nível de maturidade da empresa em relação à Indústria 4.0, também sugere *benchmarks* ao comparar com resultados de empresas do mesmo segmento. Ressalta-se que 15,8% das empresas do mesmo setor também obtiveram essa classificação, como exhibe a Figura 5. Esse resultado demonstra que a empresa está à frente de 76,4% dos concorrentes no mesmo setor, visto que eles ainda estão no nível 0 ou 1. A Figura 5 também mostra que existem possibilidades de melhoria para alcançar os próximos níveis. Destaca-se também que nenhuma empresa avaliada por este modelo alcançou o nível 5 para esta dimensão.

No que diz respeito à Estratégia e organização, o modelo indicou que a empresa em estudo possui iniciativas departamentais implementadas. No entanto, essas iniciativas ainda carecem de relevância estratégica substancial. Assim, é essencial elaborar uma estratégia viável para a adoção da Indústria 4.0 em todos os setores da organização. A pesquisa também mostrou que há ausência de indicadores estabelecidos para avaliar o progresso da implementação, e que seria sensato implementar um sistema de gestão de indicadores dedicados ao monitoramento das estratégias voltadas à adoção das diretrizes da Indústria 4.0.



**Figura 5.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Estratégia e Organização.



Fonte: Os autores (2025)

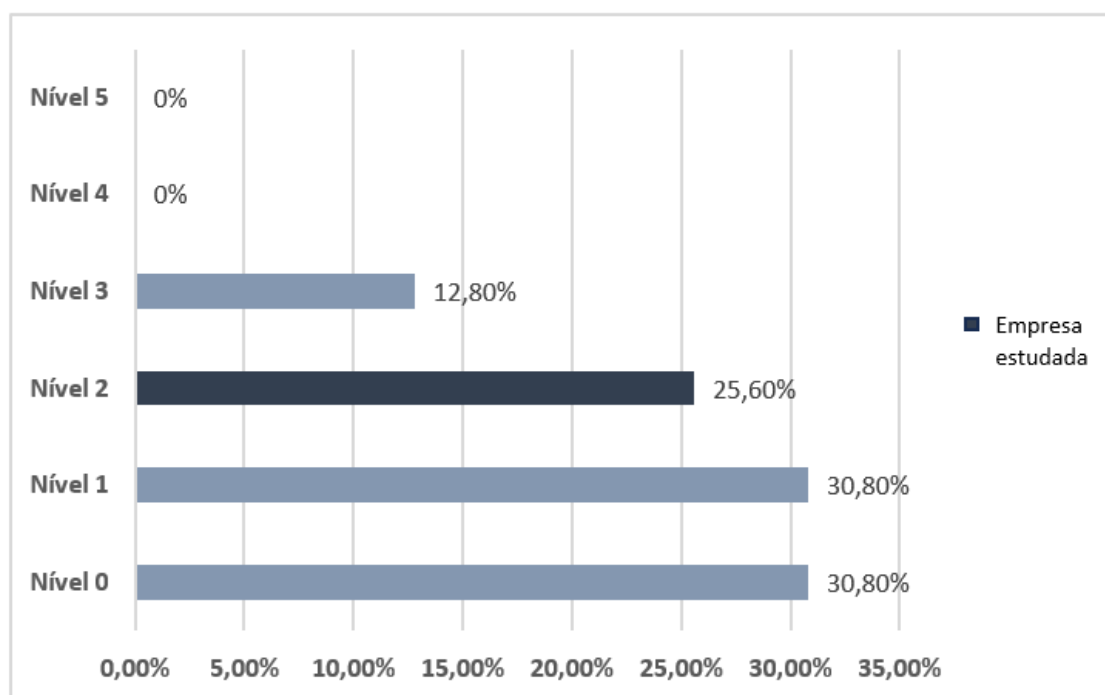
A empresa demonstrou um compromisso financeiro significativo, com investimentos em pelo menos cinco áreas, o que evidencia a alocação de recursos financeiros relevantes para impulsionar o nível de maturidade. Nesse sentido, é aconselhável que esse sistema seja gradualmente estendido para abranger outras áreas, com a finalidade de integrar todos os setores relevantes.

#### 4.1.2 Fábrica inteligente

A dimensão Fábrica inteligente atingiu o nível 2. No grupo utilizado para comparação, 25,6% das empresas também atingiram esse nível, como pode ser visto na Figura 6. Em pesquisa similar, Hajoary (2023) analisou os níveis de maturidade em relação às seis dimensões avaliadas pelo Modelo *IMPULS - Indústria 4.0 Readiness - VDMA*, em uma das maiores empresas siderúrgicas presente em mais de cem países. Diante dos resultados constatou-se que a dimensão que está associada à Fábrica inteligente não chegou a alcançar o nível 2 de maturidade. Esse resultado demonstra que a empresa objeto desta pesquisa está à frente da analisada por Hajoary (2023).

O resultado desta dimensão mostra que a empresa está à frente de 61,6% dos concorrentes no mesmo setor, visto que eles ainda estão no nível 0 ou 1. Destaca-se também que nenhuma empresa avaliada por este modelo alcançou o nível 4 ou 5 na mesma dimensão. Deve-se destacar que esse resultado concorda com os apontamentos de Basseto (2019), nos quais é citado o fato de que nem todas as indústrias estão prontas ou dispostas para adotar plenamente as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

**Figura 6.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Fábrica inteligente.



Fonte: Os autores (2025)

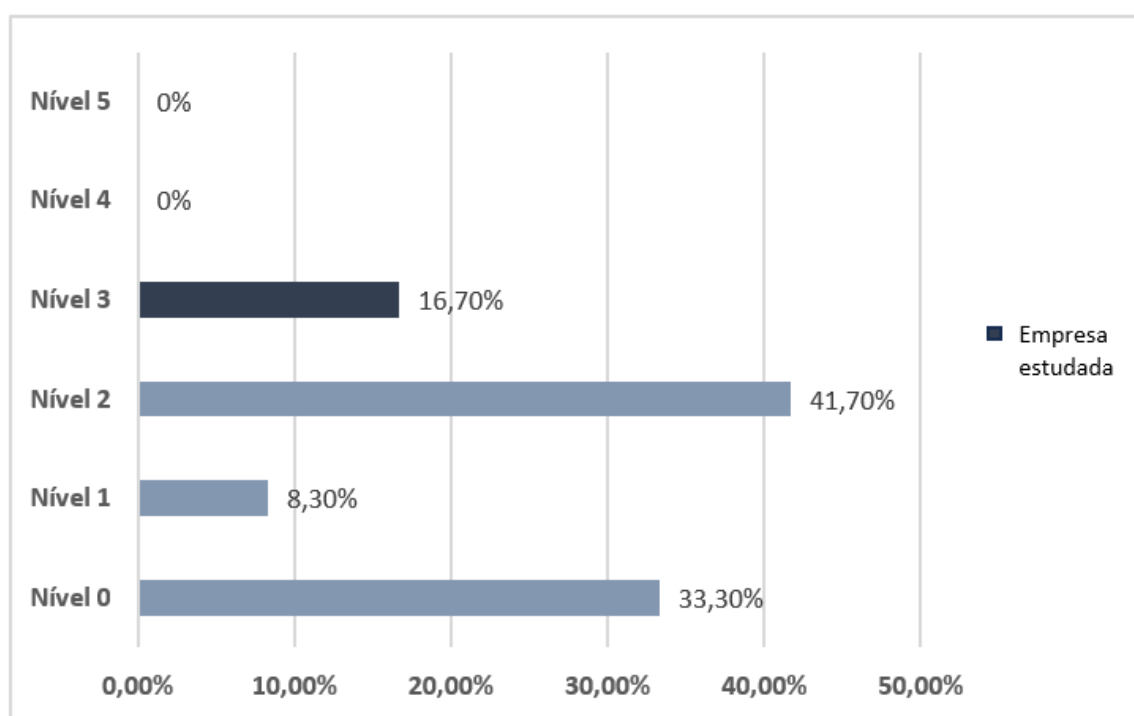
Conforme o resultado do modelo, a empresa em análise deve avaliar o potencial de integração dos sistemas existentes na infraestrutura de TI, considerando a possibilidade de atualizá-los ou adotar novos sistemas. Além disso, é importante considerar a possibilidade de adaptar máquinas e sistemas compatíveis ou realizar atualizações adicionais.

Outra recomendação seria integrar projetos de pesquisa ou parcerias para explorar a viabilidade de lucrar com a análise dos dados coletados. Isso envolveria examinar quais *insights* podem ser extraídos dos dados já disponíveis, identificar padrões e compreender a relevância das informações coletadas, priorizando-as em uma lista. Além disso, seria benéfico conectar os sistemas para melhorar e agilizar o processamento de pedidos.

### 4.1.3 Operações inteligentes

Operações inteligentes alcançou o nível 3. Analisando o grupo de comparação, 16,7% das empresas também atingiram o mesmo nível, como pode ser visto na Figura 7. Quando comparada com a concorrência, a empresa estudada está na frente de 83,3% que atingiram um nível inferior, o que mostra que ela está bem posicionada no mercado diante dessa dimensão. A Figura 6 também indica que há oportunidades de avanço para alcançar os níveis seguintes, evidenciando que nenhuma das empresas avaliadas por este modelo atingiu os níveis 4 ou 5 na mesma dimensão.

**Figura 7.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Operações inteligentes.



Fonte: Os autores (2025)

A pesquisa evidenciou que a empresa possui um sistema de compartilhamento de informações bem integrado, porém ainda não possui controle autônomo na produção. Sugere-se a empresa: estabelecer parcerias com outras empresas e instituições de pesquisa a fim de impulsionar o progresso científico e criar um ecossistema de inovação. Embora alguns processos automatizados já estejam em vigor, sugere-se que ela considere a implementação em outras áreas adicionais.

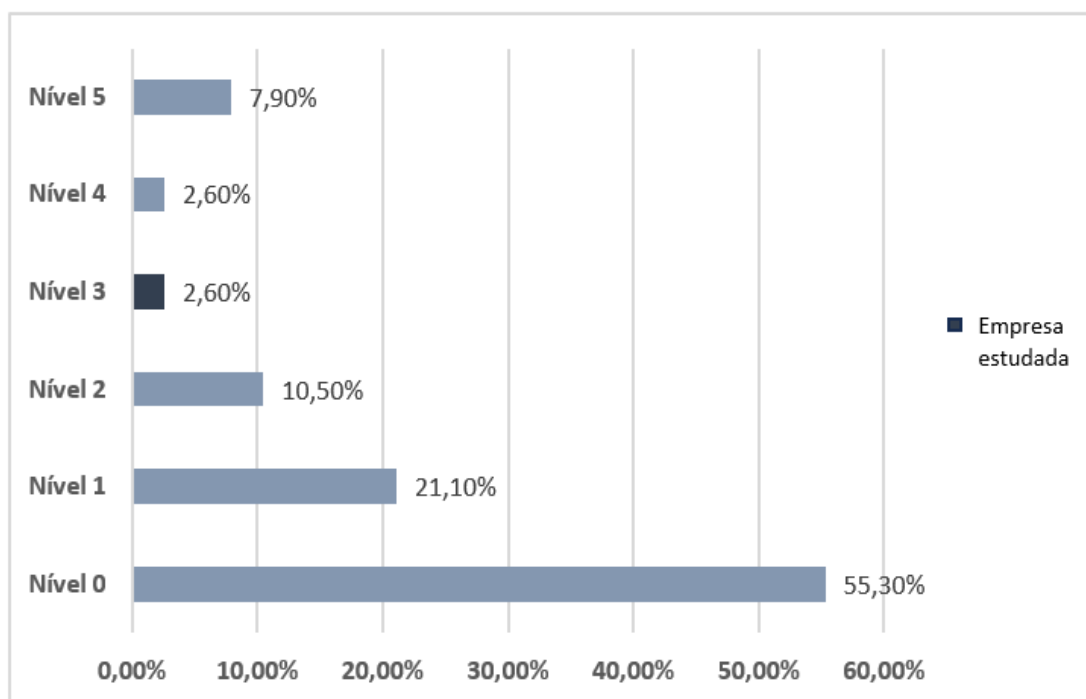
As medidas de segurança de TI foram implementadas, como armazenamento interno de dados, segurança de dados por meio de serviços de nuvem e segurança das comunicações para

troca interna de dados; no entanto, é importante que a empresa realize revisões periódicas. Recomenda-se à empresa conduzir uma análise para identificar áreas onde o potencial das tecnologias de nuvem pode ser melhor aproveitado.

#### 4.1.4 Produtos inteligentes

Na dimensão Produtos inteligentes a empresa atingiu o nível 3. Em comparação com empresas do mesmo segmento, 2,6% atingiram essa classificação, como pode ser observado na Figura 8. Esse resultado mostra que a empresa está à frente de 86,9% dos concorrentes no mesmo setor, visto que eles ainda estão no nível 0, 1 ou 2. A Figura 8 também mostra que existem possibilidades de melhoria para alcançar os próximos níveis alcançados por 10,6% dos concorrentes.

**Figura 8.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Produtos inteligentes.



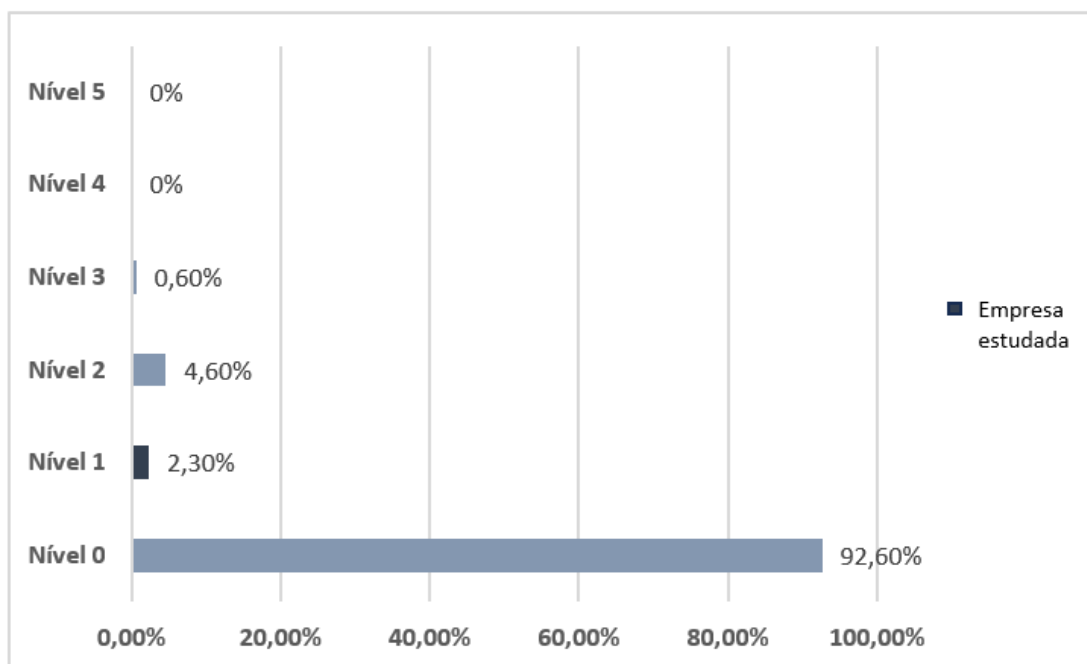
Fonte: Os autores (2025)

A análise dos resultados revelou que a empresa consegue implantar vários processos aos seus produtos, tais como integração, localização, sistemas de assistência, monitoramento e informações sobre objetos.

#### 4.1.5 Serviços baseados em dados

A dimensão Serviços baseados em dados atingiu o nível 1. No grupo utilizado para comparação, 2,3% das empresas também atingiram esse nível, como pode ser visto na Figura 9. Esse resultado destaca que a empresa está à frente de 92,6% dos concorrentes no mesmo setor, visto que eles ainda estão no nível 0. A Figura 9 revela que há potencial para melhorias visando os níveis superiores e que nenhuma das empresas avaliadas com este modelo atingiu o nível 4 ou 5 na mesma dimensão.

**Figura 9.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Serviços baseados em dados



Fonte: Os autores (2025)

Com base nos resultados do questionário, foi verificado que a empresa analisada está preparada para adotar a Indústria 4.0 na categoria de serviços baseados em produtos. Sugere-se que a empresa amplie e invista em serviços baseados em dados e na integração dos clientes, pois possibilitará a oferta de serviços mais eficientes e personalizados.

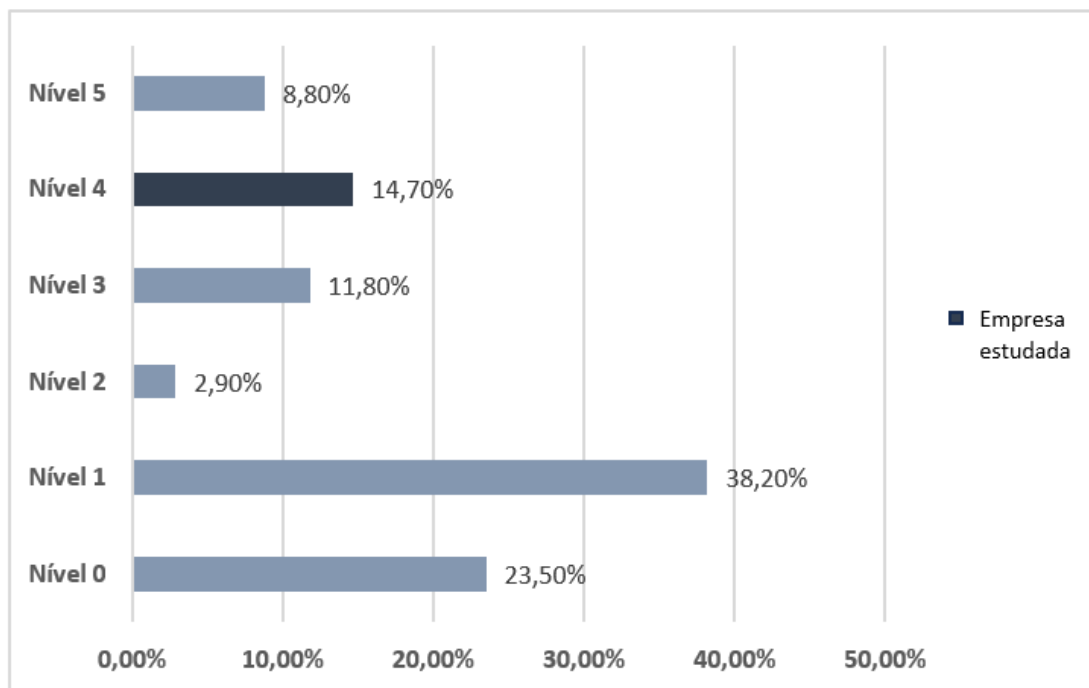
#### 4.1.6 Funcionários

Na métrica de Funcionários, a empresa alcançou o nível 4. Em comparação com empresas do mesmo segmento, 14,7% também obtiveram essa classificação, como mostra a

Figura 10. Mohammad et al. (2021) conduziram um estudo com empresas do setor manufatureiro do Kuwait, utilizando o Modelo *IMPULS - Indústria 4.0 Readiness - VDMA*. De um amplo conjunto de 157 empresas, uma amostra seleta de 20 delas foi escolhida. Os resultados apontaram que a dimensão de Funcionários se mostrou como o ponto mais vulnerável, o que evidencia o quanto a empresa estudada neste presente trabalho se destaca nessa dimensão.

Os resultados apontados pela Figura 10 mostram que a empresa está à frente de 76,5% dos concorrentes no mesmo setor, visto que eles ainda estão nos níveis 0, 1, 2 ou 3. A Figura 10 também exibe que existem possibilidades de melhoria para alcançar o nível 5 já obtido por 8,8% dos concorrentes.

**Figura 10.** Resultados do grupo utilizado para comparação, em relação a Funcionários



Fonte: Os autores (2025)

Diante dos resultados da aplicação do modelo, ficou evidente que os funcionários da empresa possuem as competências necessárias para implementar a Indústria 4.0 em várias áreas, como *soft skills*, aprendizagem contínua, resolução de problemas, flexibilidade, criatividade e preocupação sustentável. Para aprimorar ainda mais a preparação para a Indústria 4.0, seria recomendável investir em outras áreas, como infraestrutura de TI, tecnologia de automação, análise de dados, segurança de dados e comunicações bem como no desenvolvimento e

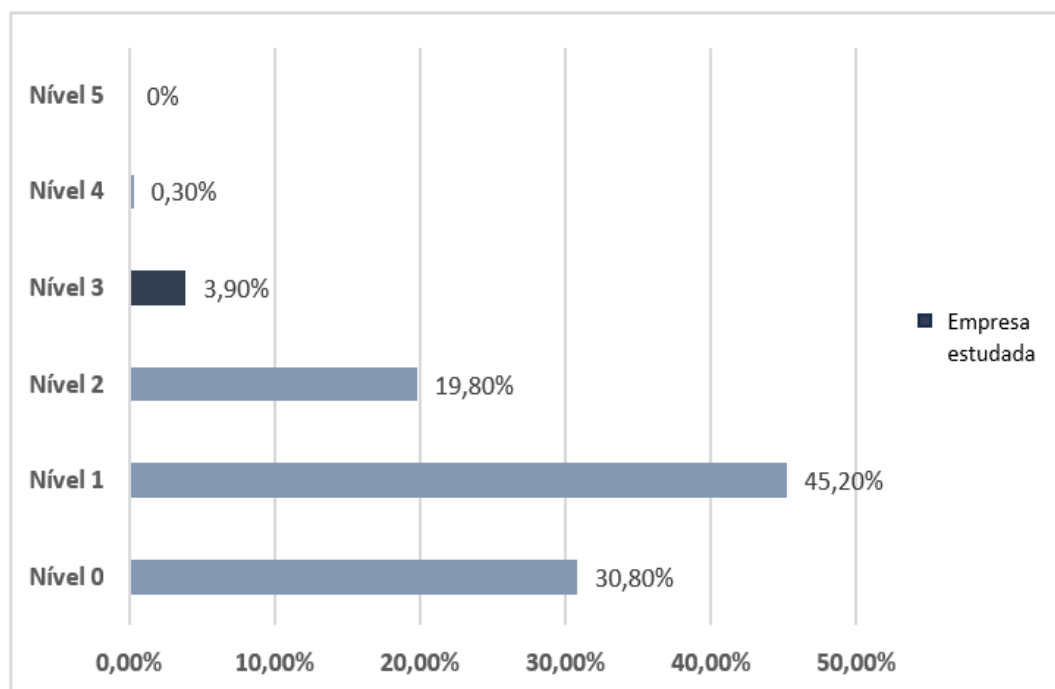


aplicação de sistemas de assistência e software de colaboração. Além disso, seria recomendável concentrar-se na melhoria das competências dos colaboradores para atingir o nível 5.

#### 4.1.7 Comparação geral

Na comparação geral a empresa alcançou o nível 3. Analisando o grupo de comparação, 3,9% das empresas do mesmo setor também atingiram este nível, como pode ser visto na Figura 11. Esse resultado destaca que a empresa está à frente de 95,8% dos concorrentes no mesmo setor. A Figura 11 também mostra que existem possibilidades de melhoria para alcançar os próximos níveis 4 e 5. Destaca-se também que nenhuma empresa avaliada por este modelo alcançou 5 considerando os valores globais.

**Figura 11.** Comparação com o grau de maturidade de empresas do mesmo setor.



Fonte: Os autores (2025)

Moura (2020) conduziu uma pesquisa com o mesmo modelo de avaliação da maturidade da Indústria 4.0 em empresas da Indústria Capixaba, comparando seus resultados com um estudo realizado em 2015 pela VDMA em empresas de pequeno, médio e grande porte na Alemanha. A análise da média geral das empresas alemãs e brasileiras revelou que ambas foram categorizadas como *Newcomers* (recém-chegadas). No entanto, ao compararmos esses

resultados com a empresa objeto de estudo, observamos que esta última demonstrou um avanço significativo, alcançando a classificação de *Leaders* (líderes) através do nível 3 (*experienced*). Considerando ainda o trabalho de Mohammad et al. (2021) com empresas do setor manufatureiro do Kuwait, das 20 empresas analisadas, 9 alcançaram o nível 3 na classificação geral, posicionando-se ao mesmo nível da empresa objeto desta pesquisa.

Esse desempenho indica que a empresa está progredindo no sentido da implementação efetiva da Indústria 4.0. Por último, é importante que a empresa direcione atenção para as dimensões com pontuações mais baixas e busque aprimorá-los, seja por meio da adoção de tecnologias específicas, otimização de processos de negócios ou desenvolvimento de capacidades organizacionais, o que poderá impulsionar significativamente o avanço do nível de maturidade considerando as diretrizes do Modelo *Industrie 4.0 Readiness – VDMA*.

Ao realizar uma comparação com o resultado do estudo de Moura e Kohl (2020), podemos perceber que as empresas brasileiras de grande porte do Espírito Santo, possuem uma média geral no nível 1, o que se conclui que a empresa estudada está à frente das demais uma vez que obteve o nível 3, como detalha a Figura 12.

**Figura 12.** Resultado geral da avaliação da maturidade da Indústria 4.0, de empresas brasileiras (ES).



Fonte: Moura e Kohl (2025)

Assim, pode-se perceber também que as empresas brasileiras possuem sua maior nota na dimensão empregados, o que coincide com a empresa estudada, mesmo ela ainda alcançando

dois níveis a mais que as empresas brasileiras de grande porte. A Figura 12 evidencia que em todas as dimensões, a empresa em estudo está à frente das indústrias brasileiras do Espírito Santo.

Esses resultados endossam as referências presentes na literatura, nas quais é indicado que esses modelos de maturidade são ferramentas que se comportam como instrumentos que permitem a análise da indústria, por meio de modelos matemáticos, ferramentas descritivas e comparativas (Azevedo & Santiago, 2019; Sarbu, 2022, Santos Junior & Moura, 2024).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho definiu o grau de maturidade em de uma empresa multinacional produtora de derivados da cana de açúcar através das diretrizes do Modelo *Industrie 4.0 Readiness* – VDMA. Diante do exposto, é possível concluir que a empresa estudada está trilhando o caminho em direção à implementação da Indústria 4.0, estando consideravelmente à frente da maioria das empresas do mesmo setor. Ao atingir o nível 3 na avaliação global, a empresa se posiciona no grupo de referência conhecidos como *Leaders* ou *Experienced*. Conforme o modelo, esse seletor grupo desenvolve e implementa tecnologias e estruturas organizacionais que já estão gerando resultados positivos no contexto da Indústria 4.0.

Apesar de possuir um nível de maturidade considerado como *benchmark*, a empresa ainda precisa realizar melhorias em algumas áreas avaliadas. A dimensão de serviços baseados em dados foi identificada como a de menor desempenho, seguida por fábrica inteligente, estratégia e organização. Medidas como integração dos clientes, implementação de sistema de indicadores, estabelecimento de parcerias para compartilhar conhecimento com outras empresas e instituições de pesquisa têm o potencial de impulsionar o avanço nessa direção. Além disso, seria crucial implementar melhorias em todas as demais dimensões, visando elevar o nível global de maturidade para 4 ou 5.

Ao examinar as seis dimensões avaliadas, foram identificadas oportunidades de melhoria e sugeridas medidas estratégicas para elevar o nível de maturidade. Além disso, destacou-se a posição da empresa em relação à Indústria 4.0, evidenciando sua posição competitiva no mercado atual.

Essas descobertas não apenas enriquecem o conhecimento sobre a empresa em questão, mas também contribuem para a compreensão mais ampla do cenário empresarial em tempos de transformação para a adoção das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Como limitação

principal do trabalho, indica-se o contexto de aplicação da metodologia apenas no ramo de produção de derivados de cana de açúcar.

Para trabalhos subsequentes (futuros), sugere-se ampliar o escopo de aplicação metodológico, inclusive em outros setores. Além disso, explorar estudos de casos múltiplos em outras indústrias, ampliando o alcance a fim de obter uma análise comparativa mais ampla das práticas da Indústria 4.0 no setor industrial brasileiro. Ademais, indica-se que sejam feitos mais estudos ao longo dos anos nesta empresa, a fim de avaliar o crescimento do desenvolvimento tecnológico e aproximação com as dimensões impostas pelos modelos de avaliação de maturidade.

Ademais, como o índice de maturidade objetiva analisar como a organização está operando com os conceitos associados com o ambiente 4.0, os resultados alcançados servem de base para a empresa averiguar quais são as ferramentas e/ou tecnologias importantes e que devem ser implementadas; isso tudo de modo que o amparo técnico possa refletir em vendas e também em lucro gerado.

## REFERÊNCIAS

Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer, Cham, 2018. p. 61 -94. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4)

Albertin, M. R., Elienesio, M. L., & Aires, A. S. (2017). Desafios e oportunidades da indústria 4.0 para o Brasil. *Anais do XXXVII ENEGEP*, 37, Joinville, SC, Brasil.

Almeida, P. S. (2019). *Indústria 4.0 princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial*. São Paulo: Érica.

Axmann, B., & Harmoko, H. (2020). Industry 4.0 Readiness Assessment: Comparison of Tools and Introduction of New Tool for SME. *Technical Journal*, 14 p. 212-217, Ingolstadt, Alemanha. Doi: <https://doi.org/10.31803/tg-20200523195016>

Azevedo, A., & Santiago, S. B. (2019). Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: An application to manufacturing company. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Toronto, Canada. p.208-2017. Doi: <https://doi.org/10.46254/NA04.20190059>

Barros, Á. G., Souza, C. H. M., & Teixeira R. (2021). Evolução das comunicações até a internet das coisas: A passagem para uma nova era da comunicação humana. *Cadernos de Educação Básica*, v. 5 n. 3. Doi: <https://doi.org/10.33025/ceb.v5i3.3065>

Biard, G., & Nour, G.A. (2021) Industry 4.0 Contribution to Asset Management in the Electrical Industry. *Sustainability*, v. 13, n. 18, p. 10369. Doi: <https://doi.org/10.3390/su131810369>

Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Silva, M. T., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B. (2018) Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, v. 10, n. 10, p. 3740. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10103740>

Chaves, K.R, (2022). *A Manufatura no contexto dos princípios da Indústria 4.0: barreiras e impactos* (Monografia). Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Druckoski, J.C.M (2020) *Indústria 4.0 e Modelos de Maturidade estudo de empresas portuguesas e brasileiras*. (Dissertação de mestrado) Universidade Beira Interior, Portugal.

Erdogan, M., Ozkan, B., Karasan, A. & Kaya, I. (2017) Selecting the Best Strategy for Industry 4.0 Applications with a Case Study. *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*, p. 109-119. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71225-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71225-3_10)

Fenerich, P. V. G., & Feitosa M. D. (2021) Modelos para avaliação dos níveis de maturidade na Indústria 4.0: uma revisão bibliográfica. *XVI Simpósio dos programas de mestrado profissional*, São Paulo.

Fernandes, G. M. (2022). *Considerações do cenário contemporâneo de tecnologia 4.0 em indústria de confecções*. (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná.

Fernandes, C. H. A., Silva, A. C. G. C., Ferraz, A. V. & Santos, P. V. S. (2021). Aplicação da metodologia DMAIC para redução dos desperdícios em uma indústria de gesso do interior de Pernambuco, Brasil. *NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia*, 11, p. 01-19. Doi: <https://doi.org/10.22279/navus.2021.v11.p01-19.1622>

Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: building the digital enterprise. *PwC's 2016 Global Industry 4.0 Survey*.

Gökalp E., Şener U., & Eren P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0- MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* 2017:128–42. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10)

Grilletti, L. (2017). Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso. *Endeavor*. Recuperado em: 03 de março de 2024 de <https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>

Hein-Pensel, F., Winkler, H., Brückner, A., Wölke, M., Jabs, I., Mayan, I. J., Kirschenbaum, A., Friedrich, J., & Zinke-Wehlmann, C. (2023) Maturity assessment for Industry 5.0: a review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 66, p. 200-210. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.009>

IAPMEI (2019). ISQ, IAPMEI e Universidade de Aveiro preparam implementação da SHIFT to 4.0. Recuperado em 28 de abril de 2024 de <https://www.iapmei.pt/NOTICIAS/ISQ-e-IAPMEI-preparam-implementacao-da-SHIFT-to-4.aspx>

Inoue, J. S. P., Bittencourt, M. V. A. R., Pinto, S. B., Geribello, R. S., Amarante, M. S. (2019) Indústria 4.0 - Impactos da tecnologia da informação na nova indústria. *Revista Pesquisa E Ação*, 5(1), 127-147.

Javaid, M., Haleem, A., Vaishya, R., Bahl, S., Suman, R., & Vaish, A. (2020) Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, v. 14, n. 4, p. 419-422. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.032>

Jung K., Kulvatunyou B., Choi S., & Brundage M. P. (2016). An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* 2016:705–12. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_83)

Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2016) Research Report: aligning the organization for its digital future. *USA: MIT Sloan Management Review*. Reprint Number 58180. Recuperado em 28 de abril de 2024 de <https://www.inovaconsulting.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Deloitte-Aligning-the-Organization-for-Its-Digital-Future.pdf>

Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., & Schröter, M. (2015). IMPULS - Industrie 4.0 Readiness. *Aachen, Cologne: VDMA's IMPULS Foundation*.

Luenendonk, M., (2019). Industry 4.0: Definition, Design Principles, Challenges, and the Future. *Cleverism*, 2019. Disponível em: [www.cleverism.com/industry-4-0](http://www.cleverism.com/industry-4-0). Acesso em: 28 de abril de 2024

Mohelska, H.; & Sokolova, M. (2018). Management approaches for Industry 4.0 – The organizational culture perspective. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 24, n. 6, p. 2225-2240. Doi: <https://doi.org/10.3846/tede.2018.6397>

Moura, R. L. (2020). A caminho da indústria 4.0: fundamentos e orientações para a transformação digital na indústria. *Editora Brazil Publishing*, 1ª edição. Doi: <https://doi.org/10.31012/978-65-5861-336-7>

Nick, G., Szaller A., Bergmann, J., & Várgedo T. (2019). Industry 4.0 readiness in Hungary: model, and the first results in connection to data application. *Science Direct. IFAC PapersOnLine*. Volume 52, Edição 13, p. 289-294. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.185>

Oliveira, G. K. de, Santos Filho, V. H. dos, & Santos, P. V. S. (2024). Implantação da metodologia Lean Six Sigma em uma empresa de celulose e papel: um estudo de caso no Paraná. *Revista Produção Online*, 24(1), 5199. Doi: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5199>

Rockwell Automation (2014). The connected enterprise maturity model. *Rockwell Automation*. Recuperado de <https://www.rockwellautomation.com/pt-br.html>



Rübbmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus J., Engel, P., & Harnisch, M., (2015). Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. *The Boston Consulting Group*. Boston, Massachusetts.

Santos, P. V. S., Silva, E. C. da, Rocha, I. T. P., & Araújo, M. A. de. (2025). Análise de variância como suporte para a Filosofia Lean na fabricação de gesso. *Revista Gestão Em Análise*, 14(1), 104–119. <https://doi.org/10.12662/2359-618xregea.v14i1.p104-119.2025>

Santos, P. V. S., Viana, I. M. da S., Damasceno, N. T. dos S., & Silva, E. C. da. (2021). Análise da eficiência em operações de vinícolas brasileiras e portuguesas: um estudo comparativo. *Revista De Gestão Dos Países De Língua Portuguesa*, 20(1), 21–40. Doi: <https://doi.org/10.12660/rgplp.v20n1.2021.81066>

Santos, P. V. S. (2017). A Indústria Vinícola No Vale Do São Francisco e As Estratégias de Inserção No Mercado Nacional: Uma Revisão Bibliográfica. *Future Studies Research Journal - Future*, 9, 39-68. Doi: <https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2017.v9i3.317>

Santos, R. C., (2018). Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0. (Dissertação de Mestrado). *ISEC – Engenharia*, Coimbra, Portugal.

Santos, N. C. S., (2021). Modelo de caracterização de empresas para avaliação de prontidão e maturidade da indústria 4.0. (Dissertação de Mestrado). UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná.

Santos Junior, E. V. dos, & Moura, D. A. de. (2024). Avaliação da maturidade tecnológica industrial brasileira no contexto da Indústria 4.0. *Revista Produção Online*, 24(1), 5156. Doi: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5156>

Sarbu, M., (2022). O impacto da indústria 4.0 no desempenho da inovação: Insights de empresas alemãs de manufatura e serviços. *Tecnologianovação*, 113, p. 102415.

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 Maturity Index. *Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)*. Munich: Herbert Utl Verlag.

Schumacher A., Erol S., & Sihn W. (2016) *A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises*. *Procedia CIRP* 52:161–166. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

Silva, I. A. (2020). Análise dos desafios de aplicação de modelos de maturidade para implantação da Indústria 4.0: Estudo de Casos múltiplos. (Dissertação de Mestrado). *Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia*, Brasília, Brasil.

Silva, M. M. (2022). Avaliação da maturidade de Indústria 4.0: Estudo de caso na Indústria Portuguesa de moldes. (Dissertação de Mestrado). *Lisbon School of Economics & Management -Universidade de Lisboa*, Portugal.

Silva, M., & Olave, M. (2020). Contribuições das tecnologias digitais associadas à Indústria 4.0 para a formação profissional. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, v. 17, n. 2, p. 82-110. Doi: <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i2.2047>



Sjodin, D. R., Parida V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31. Doi: <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>

Stachová, K., Papula, J., Stacho, Z. & Kohnová, L. (2019). External Partnerships in Employee Education and Development as the Key to Facing Industry 4.0 Challenges. *Sustainability*, v. 11, n. 345, p. 1-19. Doi: <https://doi.org/10.3390/su11020345>

Stojkovic, M. (2023). Industry 4.0 maturity of the composites manufacturing industry in the UK. Composites UK Digitalisation Showcase, *National Composites Centre, Bristol, Inglaterra*.

Winkelhaus, S., & Grosse, Eric H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 1, p. 18-43. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>.

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage Publications.

## Apêndice 1 - Questionário (traduzido e adaptado)

### Perguntas gerais sobre sua empresa

Para nos ajudar a comparar a sua empresa com um grupo de comparação, primeiro precisamos de algumas informações sobre o setor em que você atua e o tamanho da sua empresa.

#### 1. Qual categoria melhor descreve sua empresa?

Engenharia Mecânica

Fabricação

#### 2. Estime o tamanho da força de trabalho doméstica da sua empresa.

Até 19 funcionários

20 a 99 funcionários

100 a 249 funcionários

250 a 499 funcionários

500 ou mais funcionários

#### 3. Por favor, estime suas receitas de 2014.

Menos de 1 milhão de euros

1 milhão a menos de 10 milhões de euros

10 milhões a menos de 50 milhões de euros

50 milhões a menos de 100 milhões de euros

100 milhões a menos de 250 milhões de euros

250 milhões a menos de 500 milhões de euros

500 milhões de euros ou

Não especificado

### Estratégia e organização

A Indústria 4.0 é mais do que apenas melhorar produtos ou processos existentes através da utilização de tecnologias digitais – na verdade, oferece a oportunidade de desenvolver modelos de negócio inteiramente novos. Por esta razão, a sua implementação é de grande importância estratégica.

#### 4. Como você descreveria o status de implementação da sua estratégia da Indústria 4.0?

- Não existe estratégia
- Iniciativas piloto lançadas
- Estratégia em desenvolvimento
- Estratégia formulada
- Estratégia em implementação
- Estratégia implementada

#### 5. Você utiliza indicadores para acompanhar o status de implementação da sua estratégia da Indústria 4.0?

- Sim, temos um sistema de indicadores que consideramos adequado
- Sim, temos um sistema de indicadores que nos dá alguma orientação
- Não, a nossa abordagem ainda não está tão claramente definida

#### 6. Quais tecnologias você utiliza na sua empresa?

- Tecnologia de sensores
- Dispositivos finais móveis
- RFID
- Sistemas de localização em tempo real
- Big data para armazenar e avaliar dados em tempo real
- Tecnologias em nuvem como infraestrutura de TI escalável
- Sistemas de TI embarcados
- Comunicações M2M

#### 7. Em que partes da sua empresa você investiu na implementação da Indústria 4.0 nos últimos dois anos e quais são os seus planos para o futuro? (áreas foram avaliadas como grande, médio, pequeno ou nenhum investimento entre 2 a 5 anos)

- Pesquisa e desenvolvimento
- Produção/fabricação
- Compras
- Logística
- Vendas
- Serviço

TI

**8. Em quais áreas sua empresa possui uma gestão sistemática de tecnologia e inovação?**

TI

Tecnologia de produção

Desenvolvimento de produto

Serviços

Centralizado, em gestão integrativa

Não tem

### **Fábrica inteligente**

Uma fábrica inteligente é um ambiente de produção no qual os sistemas de produção e os sistemas logísticos se organizam em grande parte sem intervenção humana. A fábrica inteligente depende de sistemas ciberfísicos (CPS), que ligam os mundos físico e virtual através da comunicação através de uma infraestrutura de TI, a Internet das Coisas.

A Indústria 4.0 também envolve modelagem digital por meio da coleta, armazenamento e processamento inteligente de dados. Desta forma, o conceito de fábrica inteligente garante que a informação seja entregue e os recursos sejam utilizados de forma mais eficiente. Isso requer colaboração interempresarial em tempo real entre sistemas de produção, sistemas de informação e pessoas.

Infraestrutura de equipamentos:

**9. Como você avaliaria a infraestrutura do seu equipamento no que diz respeito às seguintes funcionalidades?** (Não, não disponível / Sim, até certo ponto / Sim, completamente)

Máquinas/sistemas podem ser controlados através de TI

M2M: comunicações máquina a máquina

Interoperabilidade: integração e colaboração possíveis com outras máquinas/sistemas

**10. Como você avaliaria a adaptabilidade da infraestrutura do seu equipamento no que diz respeito às seguintes funcionalidades?** (Não relevante / Relevante, mas não atualizável / Atualizável / Alto, porque a funcionalidade / Já disponível)

M2M: comunicações máquina a máquina

Interoperabilidade: integração e colaboração possíveis com outras máquinas/sistemas

Modelo digital de fábrica:

**11. A digitalização das fábricas permite criar um modelo digital da fábrica. Você já está coletando dados de máquinas e processos durante a produção?**

Sim, tudo

Sim, algum

Não

**12. Quais dados sobre suas máquinas, processos e produtos, bem como sobre defeitos e suas causas, são coletados durante a produção e como são coletados? (Sim, manualmente / Sim, automaticamente / Não)**

Dados de inventário

Tempos da produção

Utilização da capacidade do equipamento

Produção de resíduos

Cota de erros

Utilização de funcionários

Dados de posicionamento

Dados sobre processamento restante

Tempos de transição

Eficácia geral do equipamento (OEE)

Outros

**13. Como os dados que você coleta são usados?**

Manutenção preditiva

Otimização de processos logísticos e produtivos

Criação de transparência em todo o processo de produção

Gestão da Qualidade

Controle automático de produção através do uso de dados em tempo real

Otimização do consumo de recursos (materiais, energia)

Outro

#### **14. Qual dos seguintes sistemas você usa? O sistema possui uma interface com o sistema líder?**

- MES – sistema de execução de manufatura
- ERP – planejamento de recursos empresariais
- PLM – gerenciamento do ciclo de vida do produto
- PDM – gerenciamento de dados do produto
- PPS – sistema de planejamento de produção
- PDA – aquisição de dados de produção
- MDC – coleta de dados de máquina
- CAD – projeto auxiliado por computador
- SCM – gestão da cadeia de suprimentos

#### **Operações inteligentes**

Uma marca registrada da Indústria 4.0 é a integração dos mundos físico e virtual em toda a empresa e entre empresas. O advento da digitalização e a infinidade de dados que ela trouxe para a produção e a logística tornaram possível introduzir o que são, em alguns casos, formas e abordagens inteiramente novas aos sistemas de planejamento da produção (PPS) e à gestão da cadeia de abastecimento (SCM). Os requisitos técnicos de produção e planejamento de produção necessários para realizar a peça autocontrolada são conhecidos como operações inteligentes.

#### **15. Onde você integrou o compartilhamento de informações entre departamentos em seu sistema? (Distinguir entre compartilhamento de informações em toda a empresa interno e entre empresas externo).**

- Pesquisa e desenvolvimento
- Produção/fabricação
- Compras
- Logística
- Vendas
- Contabilidade Finanças
- Serviço
- TI



Em lugar nenhum

Controle distribuído:

**16. A visão da Indústria 4.0 é uma peça de trabalho que se orienta de forma autônoma pela produção. A sua empresa já possui casos de uso em que a peça se guia de forma autônoma pela produção?**

Sim, entre empresas

Sim, mas apenas em áreas selecionadas

Sim, mas apenas em fase de teste e piloto

Não

**17. A sua empresa possui processos de produção que respondem de forma autônoma/automática em tempo real às mudanças nas condições de produção?**

Sim, entre empresas

Sim, mas apenas em áreas selecionadas

Sim, mas apenas em fase de teste e piloto

Não

## Operações inteligentes

Segurança de dados e comunicações:

**18. Como sua TI está organizada?**

Nenhum departamento de TI interno (provedor de serviços usado)

Departamento Central de TI

Departamentos de TI locais em cada área (produção, desenvolvimento de produtos, etc.)

Especialistas em TI vinculados a cada departamento

**19. Até que ponto você está com suas soluções de segurança de TI? (Solução implementada / Solução em andamento / Solução planejada / Não relevante para nós)**

Segurança no armazenamento interno de dados

Segurança de dados por meio de serviços em nuvem

Segurança das comunicações para troca interna de dados

Segurança das comunicações para troca de dados com parceiros de negócios

**20. Você já está usando serviços em nuvem? (Sim / Não, mas estamos planejando / Não)**

Software baseado em nuvem

Para análise de dados

Para armazenamento de dados

## Produtos inteligentes

Os produtos inteligentes são um componente vital de um conceito unificado de “fábrica inteligente” que facilita a produção automatizada, flexível e eficiente. Os produtos físicos estão equipados com componentes ICT (sensores, RFID, interface de comunicações, etc.) para recolher dados sobre o seu ambiente e o seu próprio estado. Somente quando os produtos coletam dados, conhecem seu caminho na produção e se comunicam com os sistemas de nível superior é que os processos de produção podem ser melhorados e orientados de forma autônoma e em tempo real. Também é possível monitorar e otimizar o status de produtos individuais. Isto tem aplicações potenciais além da produção apenas. A utilização de produtos inteligentes durante a fase de utilização torna possíveis, em primeiro lugar, novos serviços – através de comunicações entre clientes e fabricantes, por exemplo.

### 21. A sua empresa oferece produtos equipados com as seguintes funcionalidades complementares baseadas em tecnologia da informação e comunicação? (Sim / Não)

Memória do produto

Autorrelato

Integração

Localização

Sistemas de assistência

Monitoramento

Informações do objeto

Identificação automática

## Serviços baseados em dados

O objetivo dos serviços baseados em dados é alinhar modelos de negócios futuros e aumentar o benefício para o cliente. O negócio de pós-venda e serviços basear-se-á cada vez mais na avaliação e análise dos dados recolhidos e na integração de toda a empresa. Os próprios

produtos físicos devem estar equipados com TI física para que possam enviar, receber ou processar as informações necessárias aos processos operacionais. Isto significa que possuem uma componente física e digital, que por sua vez são a base dos serviços digitalizados na fase de utilização dos produtos.

**22. Os dados do processo coletados na produção e na fase de utilização possibilitam novos serviços. Você oferece esses serviços?**

Sim, e estamos integrados com nossos clientes

Sim, mas sem integração com nossos clientes

Não

**23. Você analisa os dados coletados na fase de uso?**

Sim

Não – coletamos os dados, mas não os analisamos

Não – não coletamos dados na fase de uso

**24. Que parcela de suas receitas vem desses novos serviços baseados em dados?**

Participação na receita (em porcentagem)

**25. Frequentemente, os dados coletados são apenas armazenados e não são mais usados. Que parcela dos dados coletados você já está usando?**

0%

0% a 20%

21% a 50%

Acima de 50%

**26. Você analisa os dados coletados na fase de uso?**

Sim

Não – coletamos os dados, mas não os analisamos

Não – não coletamos dados na fase de uso

**Funcionários**

Os funcionários ajudam as empresas a concretizar a sua transformação digital e são os mais afetados pelas mudanças do local de trabalho digital. O seu ambiente de trabalho direto é alterado, exigindo-lhes a aquisição de novas competências e qualificações. Isto torna cada vez

mais crítico que as empresas preparem os seus colaboradores para estas mudanças através de formação adequada e educação continuada.

**27. Como você avalia as habilidades de seus funcionários no que diz respeito aos requisitos futuros da Indústria 4.0? (Não relevante / Inexistente / Existente, mas inadequado / Adequado)**

Infraestrutura de TI

Tecnologia de automação

Análise de dados

Segurança de dados/segurança de comunicações

Desenvolvimento ou aplicação de sistemas de assistência

Software de colaboração

Habilidades não técnicas, como pensamento sistêmico e compreensão de processos

**28. Você está se esforçando para adquirir as habilidades que faltam? Através de seminários de treinamento especiais, sistemas de transferência de conhecimento, coaching, etc.**

Sim

Não

**Grupos de comparação**

Com quais empresas você gostaria de se comparar em relação à Indústria 4.0? Defina os critérios para suas empresas de referência. Além da classificação do setor, você também pode escolher o tamanho da empresa como critério adicional de comparação.

**29. Agora escolha seu grupo de comparação.**

Engenharia Mecânica

Fabricação

**30. Categoria de tamanho.**

Até 99 funcionários

100 a 499 funcionários

500 ou mais funcionários

31. Indique como você classificaria sua empresa por setor econômico para que posteriormente seja possível diferenciar ainda mais os resultados.
32. Qual é o país sede da sua empresa?
33. Qual é o código postal da sede da sua empresa? Indique os dois primeiros dígitos.
34. De quais associações empresariais ou industriais sua empresa é membro?