



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

Análise da Maturidade na Indústria 4.0: Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4.0.

Graziela de Souza Lima
Universidade Federal do Amazonas
Sandro Breval Santiago
Universidade Federal do Amazonas
Manoel Carlos de Oliveira Júnior
Universidade Federal do Amazonas

Resumo: Com o surgimento da revolução industrial o mundo passou por diversas transformações, a industrialização revolucionou os meios de produção e com o desenvolvimento de novas tecnologias o mercado tornou-se cada vez mais competitivo. Nesse contexto a indústria 4.0 transforma os processos produtivos tradicionais. Dessa forma, o artigo apresenta um estudo de caso em uma empresa do setor de eletroeletrônicos, com metodologia quantitativa descritiva, tendo foco a análise da maturidade do Polo industrial de Manaus, dado a dificuldade das empresas na transição para a indústria 4.0. O artigo tem como objetivo analisar e mensurar a maturidade com base nos níveis estabelecidos pelo modelo PIMM 4.0. Como resultados percebe-se que a empresa já apresenta importantes iniciativas de sistemas, início de interoperabilidade, porém reduzida, existe também automação em áreas operacionais e evidência de baixa visibilidade. Também é possível perceber integração entre os sistemas, visibilidade, mas com baixos níveis de transparência, preparando-se para a capacidade preditiva.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Maturidade, Polo industrial, PIMM4.0.

Analysis of Maturity in Industry 4.0: A Case Study in the Industrial Pole of Manaus

Abstract: With the emergence of the industrial revolution the world underwent several transformations, industrialization revolutionized the means of production and with the development of new technologies the market became increasingly competitive. In this context, industry 4.0 transforms traditional production processes. In this way, the article presents a case study in a company in the electronics sector, with a descriptive quantitative methodology, focusing on the analysis of the maturity of the Industrial Pole of Manaus, given the difficulty of companies in the transition to industry 4.0. The article aims to analyze and measure maturity based on the levels established by the PIMM 4.0 model. As a result, it can be seen that the company already has important systems initiatives, beginning of interoperability, but reduced, there is also automation in operational areas and evidence of low visibility. It is also possible to perceive integration between systems, visibility, but with low levels of transparency, preparing for predictive capacity.

Keywords: Industry 4.0, Maturity, Industrial Polo, PIMM4.0.

1. Introdução

O surgimento da indústria é um dos principais marcos na evolução histórica do mundo. Com o crescimento das inovações tecnológicas as indústrias sofreram importantes mudanças, causando transformações em toda a sociedade (SAKURAI; ZUCHI, 2018). As três primeiras revoluções industriais proporcionaram ganho na escala e produtividade de produção, a quarta revolução industrial está em curso buscando novas perspectivas para a indústria (IVAL; SILVA; ALENCAR, 2021).

O termo “Indústria 4.0” ou a quarta revolução industrial foi apresentado em 2011, na Alemanha, com base no lançamento do projeto High-Tech Strategy 2020, que tinha como foco promover uma iniciativa estratégica para alcançar o reposicionamento em relação às tecnologias do mercado e na competitividade das suas indústrias, fortalecendo assim a indústria manufatureira (IVAL; SILVA; ALENCAR, 2021; PEREIRA; OLIVEIRA, 2018).

Como consequência das inovações tecnológicas a indústria 4.0 abrange um conjunto de tecnologias de ponta conectadas à internet. Através dessa conectividade entre processos e softwares, cyber sistemas e máquinas, armazenamento em servidores virtuais, essas inovações implementadas promovem a integração entre o físico e o digital, a fim de proporcionar bens ou serviços de maior qualidade e eficiência nos custos (SANTOS *et al.*, 2018).

Segundo Itikawa e Santiago (2021) medir a maturidade e prontidão das empresas é essencial para definir o plano para alcançar com êxito a transformação digital, com base nisso o presente artigo tem como objetivo medir o nível de maturidade de uma empresa do polo eletroeletrônico do distrito, localizado em Manaus, capital do Amazonas, por meio de um estudo de caso que se baseia nos dados coletados pelo sistema PIMM4.0. O sistema em tela pode ajudar as organizações no entendimento e análise da maturidade dos seus processos para assim ocorrer a transição para a indústria 4.0 (AZEVEDO; SANTIAGO, 2019; ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

2. Referencial Teórico

2.1 Indústria 4.0

Com o aumento da competitividade no mercado, as empresas cada vez mais procuram investir em medidas de crescimento da produtividade, objetivando a diminuição dos custos através da interoperabilidade e integração entre tecnologias, sendo esses fatores facilitadores para um ambiente favorável à indústria 4.0 (SOUZA *et al.*, 2020).

A indústria 4.0 traz significativas mudanças tecnológicas principalmente nas indústrias, esse novo modelo industrial consiste na tendência de digitalização e automação do ambiente de manufatura, a automação consiste na utilização mecânica ou de potência elétrica para aumentar os métodos inteligentes, possibilitando segurança e vantagens competitivas com base em processos eficientes com qualidade e maior produtividade (MOTA *et al.*, 2020)

Dessa forma a quarta revolução industrial é composta pelos sistemas ciberfísicos na manufatura. Os sistemas ciberfísicos são tecnologias que conectam o mundo real e o virtual, integrando elementos em um único sistema sendo a base para a Internet das Coisas (IoT), ou seja, a conexão entre máquinas e sistema produz redes inteligentes nas empresas, onde é possível controlar módulos de produção de forma autônoma. (SAKURAI; ZUCHI, 2018; SOUZA *et al.*, 2022)

2.2 Maturidade da Indústria 4.0

A maturidade é uma ferramenta essencial para as empresas conceituarem e medirem a maturidade e prontidão de processos e os níveis em relação à indústria 4.0. Se caracteriza também como um instrumento que permite a avaliação da indústria, utilizando como recursos modelos matemáticos, ferramentas descritivas e comparativas (AZEVEDO; SANTIAGO, 2019; BARROS *et al.*, 2022; ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

Modelos de maturidade possuem uma estrutura conceitual constituída por partes que definem a maturidade ou o seu desenvolvimento, a fim de medir e combinar capacidades essenciais para que as empresas alcancem o status desejado, esses modelos costumam apresentar dimensões e níveis. Geralmente, são baseados em premissas de que processos, áreas funcionais, pessoas e organizações progridem por meio de um processo de desenvolvimento, visando uma maturidade mais avançada. Com base na maturidade as empresas são capazes de analisar suas deficiências e corrigi-las antes do desenvolvimento de processos pré-definidos por cada estágio da maturidade (DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020; SANTOS; MARTINHO, 2020).

A maturidade e prontidão são usadas para medir e indicar o desenvolvimento dos processos, dessa forma as empresas conseguem obter métricas da indústria 4.0 em relação aos seus processos (ITIKAWA; SANTIAGO, 2022). Com base na pesquisa de Souza *et al.* (2020), são apresentados doze modelos de maturidade ou prontidão, os quais apresentam a necessidade e a importância que esses modelos trazem para análise e futura transição para a indústria 4.0, adicionado também o modelo utilizado nessa pesquisa.

Quadro 1 - Modelos de Maturidade/Prontidão da I.4.0

1	Um modelo de maturidade para avaliar a prontidão e a maturidade do setor 4.0 de empresas de manufatura.	(SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016).
2	Um modelo de maturidade para o gerenciamento de modelos de negócios na indústria 4.0 (Modelo CMMI - <i>Capability Maturity Model Integration</i>).	(RUBEL <i>et al.</i> , 2018).
3	Método proposto para a Diversificação Colaborativa da Indústria 4.0	(GAZAIAN E ERRASTI, 2016).
4	System Integration Maturity Model Industry 4.0.	(LYEH <i>et al.</i> , 2016).
5	MUAS – Modelo de Maturidade do Departamento de Ciências Aplicadas da Universidade Munique.	(PUCHAN; PUCHAN; ZEIFANG; LEU, 2018).
6	Desenvolvimento de um modelo de maturidade de digitalização para o setor manufatureiro.	(CANETTA; BARNI; MONTINI 2018).
7	Implementação de Fábrica Inteligente e Processo de Inovação.	(SJODIN <i>et al.</i> , 2018).
8	Modelo por meio do mapeamento e implementação e melhoria da performance operacional na era da indústria 4.0.	(TONELLI <i>et al.</i> , 2016).
9	Conceito para medição da maturidade organizacional apoiando o desenvolvimento sustentável.	(ODWAZNY <i>et al.</i> , 2018).
10	Avaliando a prontidão do setor 4.0 de Empreendimentos.	(RAJNAI E KOCSIS, 2018).
11	Mudança de manufatura em chão de fábrica em direção à indústria 4.0.	(MOICA, 2018).
12	Processo DREAMMY (Digital REadness Assessement Maturity model).	(CAROLIS <i>et al.</i> , 2018).
13	Modelo PIMM4.0	(AZEVEDO; SANTIAGO, 2019; ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

Fonte: Adaptado Souza *et al.* (2020).

2.3 Polo Industrial de Manaus

A Zona Franca de Manaus iniciada em 1967, é um marco para o desenvolvimento econômico no Amazonas, ela conta com incentivos fiscais específicos, importações e exportações, sendo assim foi formada com o intuito de criar um centro industrial tecnológico, capaz de transformar as formas de produção (FERREIRA; BOTELHO, 2014).

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é o principal agente na economia do Amazonas, composto por uma enorme variedade de peças e produtos que são produzidos para gerar bens de consumo as empresas, possui mais de 1100 empresas, de pequeno, médio e grande porte, abrangendo subsetores como: eletroeletrônico, químico, metalúrgico, duas rodas, termoplástico e computadores (FERREIRA; BOTELHO, 2014; AZEVEDO; SANTIAGO, 2019)

O PIM proporciona lucros crescentes e gera empregos para milhões de pessoas, tornou-se um instrumento essencial para promover vantagens competitivas, com modelos de produção inicialmente baseados na estrutura fabril taylorista e características do toyotismo, contudo passou por reestruturações que trouxeram tendências como a automação de máquinas e serviços (CARVALHO; MORAES, 2011). Dessa forma o artigo estuda uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM), de grande porte, do setor de eletroeletrônicos.

2.4 PIMM4.0

O modelo utilizado na análise da maturidade da presente pesquisa é o modelo PIMM4.0. A metodologia utilizada pelo modelo vem ajudando as empresas brasileiras nos processos industriais, trazendo uma visão multinível e multidimensional. A plataforma tornou-se uma das principais ferramentas nos centros industriais do Brasil, promovendo os melhores resultados no entendimento das lacunas técnicas da quarta revolução industrial, pois PIMM4.0 é o único modelo brasileiro com bases matemáticas voltado para a realidade brasileira (ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

O PIMM 4.0 contribui para que as mais diversas empresas possam estabelecer a transição para a Indústria 4.0, com base na medição do grau de maturidade e prontidão da indústria 4.0. Além disso, a plataforma, através da metodologia técnico-científica, traz o diagnóstico preciso das oportunidades de melhorias nas empresas.

A metodologia do modelo tem a base arquitetural RAMI 4.0, a qual é referência e busca padronizar aplicações da Indústria 4.0 e possui como importante diretriz a conectividade dos sistemas. Sua premissa é conduzir projetos e implantações da manufatura avançada, enquanto as dimensões do PIMM4.0 ligam-se aos eixos da arquitetura, promovendo a compreensão das causalidades entre as variáveis. Conforme o modelo existem 4 níveis de medição que mostram a relação entre Tecnologia da Automação (TA) e Tecnologia da Informação (TI), o seu alcance organizacional, suas integrações, interoperabilidade e evidências de características da indústria 4.0 (AZEVEDO; SANTIAGO, 2019; ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

3. Materiais e Métodos

O estudo de caso é um método que busca a investigação detalhada do objeto estudado, baseado em planejamento, da coleta e análise de dados, possuindo a capacidade de estudar apenas um caso específico ou múltiplos casos, trazendo abordagens qualitativas e quantitativas de pesquisa (VENTURA, 2007)

A pesquisa baseou-se na metodologia quantitativa descritiva, que se caracteriza pelo uso de instrumentos estatísticos, podendo ser utilizada na coleta e na análise de dados,

detalhando características de determinada população, fenômeno e relação entre variáveis (RAUPP; BEUREN, 2006).

O artigo tem por objetivo de analisar e mensurar a maturidade de uma empresa do ramo de eletroeletrônicos, em relação a indústria 4.0. Com base na análise de dados primários, obtidos na plataforma PIMM4.0, nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2022. O sistema atua utilizando notas avaliativas, em uma escala de 1 a 4, de colaboradores de diferentes setores da empresa. (AZEVEDO; SANTIAGO, 2019; ITIKAWA; SANTIAGO, 2022).

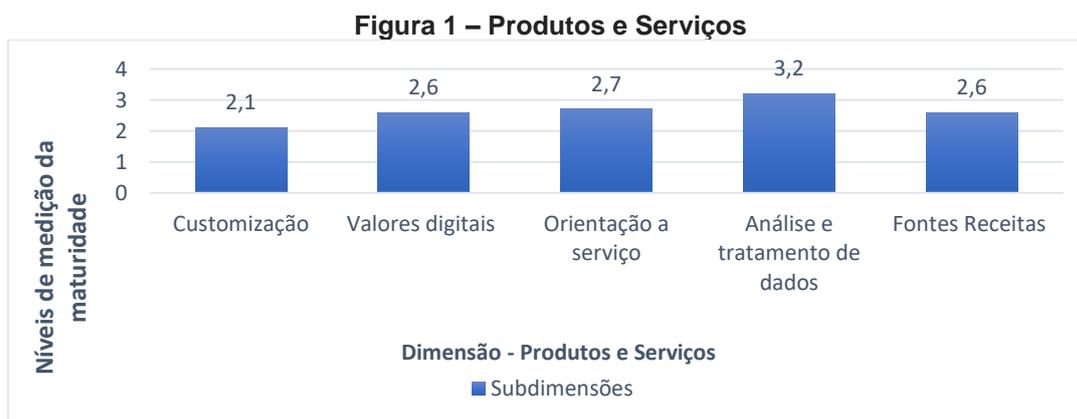
3.1 Descrição do levantamento de dados

O estudo foi realizado em uma empresa de eletroeletrônicos que nascida nos Estados Unidos. Após o seu crescimento, acabou se consolidando no mercado brasileiro. A pesquisa tem como foco a filial estabelecida no PIM e, para o desenvolvimento do estudo de caso, foi realizada uma revisão da literatura sobre indústria 4.0, maturidade e prontidão das indústrias e modelos de maturidade, com base nos conceitos e explicações sobre o tema. A pesquisa sucedeu para a coleta de dados, os quais foram processados pela plataforma PIMM4.0. Os dados foram fornecidos resguardando sigilo quanto ao nome da empresa. Foram coletadas respostas de 86 colaboradores, de diferentes setores da empresa, que incluem a rede de pessoas que participam da cadeia de suprimentos, áreas de liderança da empresa e da equipe técnica do PIMM4.0, seguindo assim para a análise dos dados e por fim pelos resultados identificados.

Para a análise da maturidade da empresa, a plataforma PIMM4.0 baseou-se na sua metodologia que utiliza **sete dimensões**: Produtos e Serviços, Manufatura e Operações, Estratégia e Organização, Cadeia de Suprimentos, Modelo de Negócios, Interoperabilidade e Pessoas e Cultura e quarenta e sete subdimensões, para medir a maturidade os colaboradores avaliaram as dimensões e subdimensões em 4 níveis, sendo eles **nível 1 – Digital**: com base em recursos computacionais e sistemas de informação, compete inicialmente o processo de integração dos sistemas logísticos, com pouco alcance organizacional e conectividade; **nível 2 – Tecnológico**: início de uma certa interoperabilidade, porém reduzida, assim como o processo de automação e baixa visibilidade; **nível 3 – Transição**: possui integração entre os sistemas, visibilidade alta, mas ainda tem baixos níveis de transparência, preparando-se para a capacidade preditiva; **nível 4 – Avançado**: Com alto nível de interoperabilidade permeando vários níveis organizacionais e evidência de auto otimização em processos.

4. Resultados e Análises

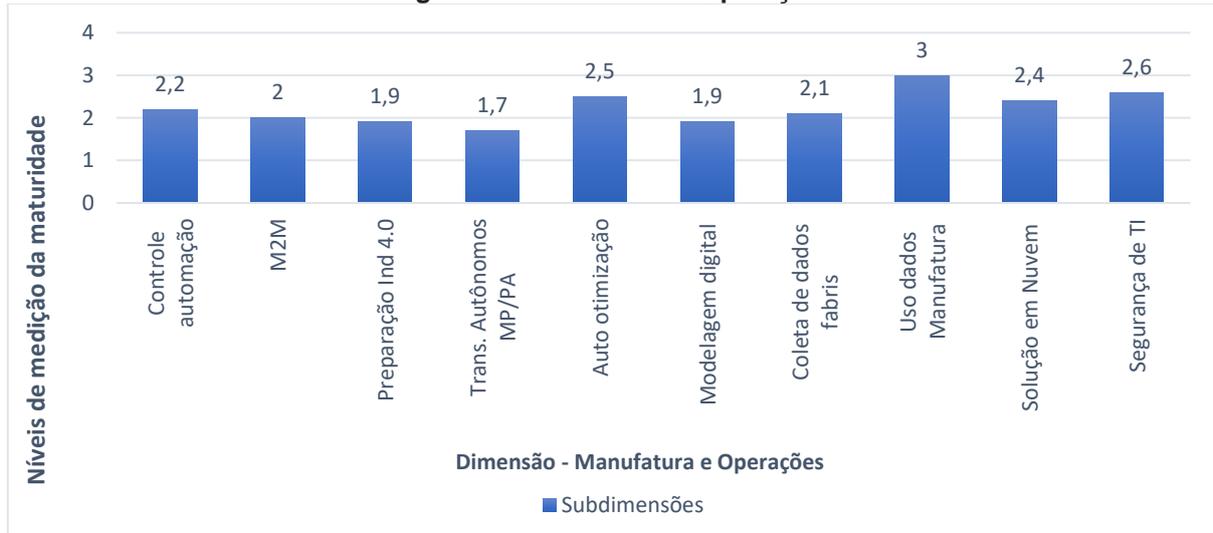
Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos de acordo com as notas avaliativas dadas por cada colaborador em relação as sete dimensões e as suas subdimensões.



Fonte: Elaborada pelos autores

A primeira dimensão analisada **Produtos e Serviços** atingiu classificação **nível – 2** de maturidade, porém com a análise gráfica é possível verificar tendência de **nível – 3** nas demais subdimensões, menos na customização, que indica o processo produtivo quanto a padronização, dessa forma fica evidente iniciativas de sistemas integrados com interoperabilidade reduzida, sem integração entre processos de customização, investir na gestão do conhecimento é essencial nesse caso, pois as empresas poderão elaborar novos produtos e serviços que ainda não estão presentes no mercado atual (LIMA; PINTO 2019).

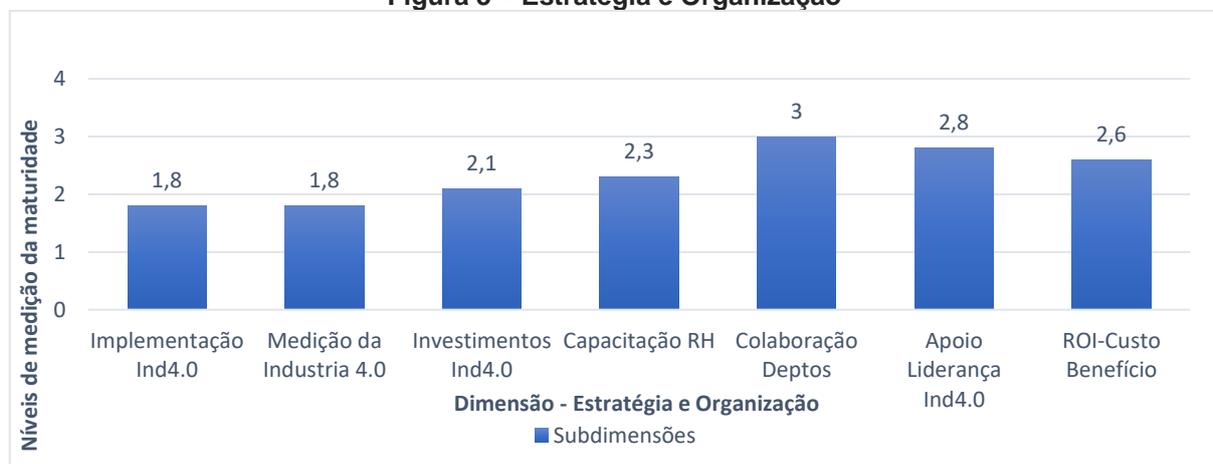
Figura 2 – Manufatura e Operações



Fonte: Elaborada pelos autores

A dimensão **Manufatura e Operações** teve sua classificação em **nível – 2**, embora a **subdimensão: Uso de dados da Manufatura** apresente **nível – 3** nota-se então que a organização adota tecnologias relacionadas à internet das coisas, ação que proporciona uma maior coleta de dados, dado isso a **subdimensão: Solução em Nuvens**, também se relaciona com as inovações tecnológicas. Por meio dela é possível processar os dados e dar suporte para migração do on-line para o in-line. Porém, o modelo 4.0 ainda não possui visibilidade suficiente na empresa, assim, observa-se certo desenvolvimento na **subdimensão: Auto otimização**, contudo a empresa apresenta baixo grau de preparação para a indústria 4.0 (WATANABE, 2020; AZEVEDO; SANTIAGO, 2019).

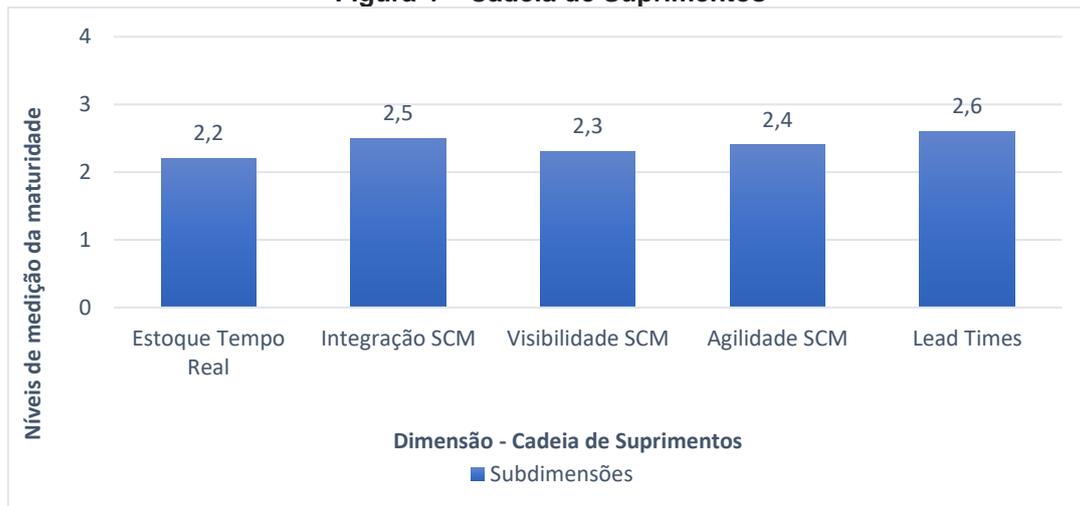
Figura 3 – Estratégia e Organização



Fonte: Elaborada pelos autores

A dimensão **Estratégia e Organização** obteve classificação **nível – 2**, com base na análise do gráfico verifica-se que de acordo com a **subdimensão**: Colaboração Deptos a empresa possui alto grau de colaboração entre os departamentos e entre os colaboradores, porém percebe-se também que ela não investe em projetos que beneficiem a implementação da indústria 4.0. A **subdimensão**: Medição da indústria 4.0 mostra que a empresa não possui controle sobre seus níveis de desempenho, esse fato dificulta a criação de futuras estratégias e no gerenciamento organizacional. A **subdimensão**: ROI- Custo Benefício poderia gerar aumento nos resultados, se a empresa buscasse a estratégia competitiva de custo, a qual preza a eficiência produtiva, aumentando o volume produzindo com foco na minimização de gastos (ALDAY, 2002).

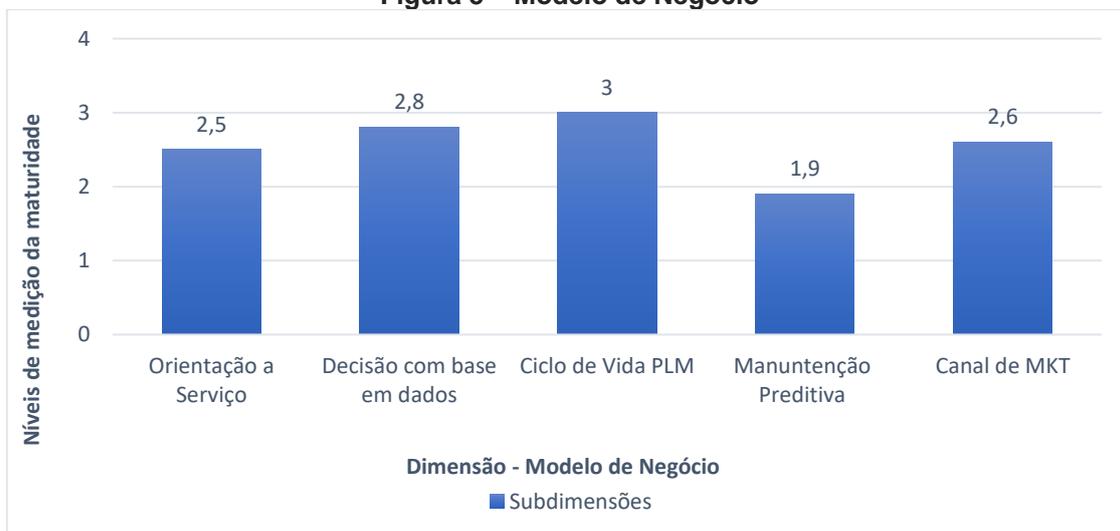
Figura 4 – Cadeia de Suprimentos



Fonte: Elaborada pelos autores

A dimensão **Cadeia de Suprimentos** teve classificação **nível – 2**, analisando as subdimensões percebe-se que empresa possui gerenciamento de dados e controle do seu estoque, mas com baixa interoperabilidade logística, a cadeia de suprimentos apresenta grau de integração entre os canais. As **subdimensões**: Visibilidade SCM, Agilidade SCM e Lead Times poderiam ter mais crescimento se a empresa adotasse uma manufatura aditiva na gestão da cadeia de suprimentos, tornado os processos mais rápidos com custos menores (KUNRATH; DRESCH, 2018).

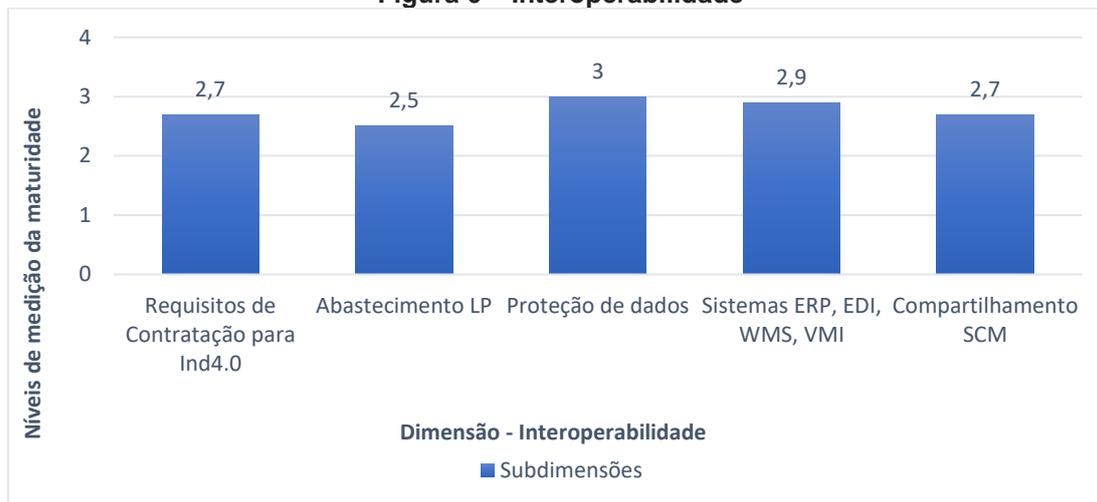
Figura 5 – Modelo de Negócio



Fonte: Elaborada pelos autores

A dimensão **Modelo de Negócio** adquiriu classificação **nível – 2**, essa dimensão verifica o ecossistema de negócios e a agilidade da organização. Com base na análise dos dados a **subdimensão: Ciclo de Vida PLM** apresenta **nível – 3**, esse resultado demonstra que existe integração dos processos de negócios, ou seja, abordagem integrada entre pessoas, práticas e tecnologias (FONSECA; ROZENFELD, 2012). Na **subdimensão: Orientação a Serviço** nota-se que os sistemas estão alinhados com os objetivos de negócio da organização, dessa forma ocorre a integração dos diversos setores da empresa, isso torna os processos de negócios mais rápidos e ágeis (CAVALCANTI *et al.*, 2018).

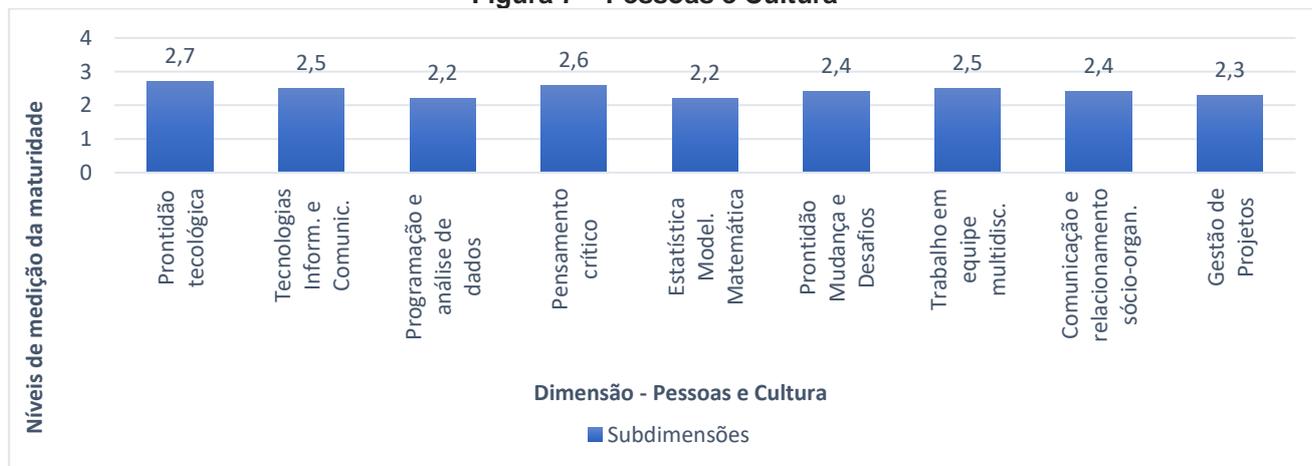
Figura 6 – Interoperabilidade



Fonte: Elaborada pelos autores

A dimensão **Interoperabilidade** alcançou classificação **nível – 2**, embora tenha grande tendência para **nível – 3**, com base na análise gráfica observa-se que a **subdimensão: Compartilhamento SCM** possui alta interoperabilidade pois o SCM (Supply Chain Management) promove o planejamento, sincronia e monitoramento das atividades em relação a cadeia de suprimentos (SOUZA; NOGUEIRA, 2022). Assim como a **subdimensão: Sistemas ERP, EDI, WMS, VMI** que por sua vez colabora no compartilhamento de informações, na relação entre clientes e fornecedores, trazendo velocidade e aumento na produtividade (COSTA; VANALLE, 2021).

Figura 7 – Pessoas e Cultura

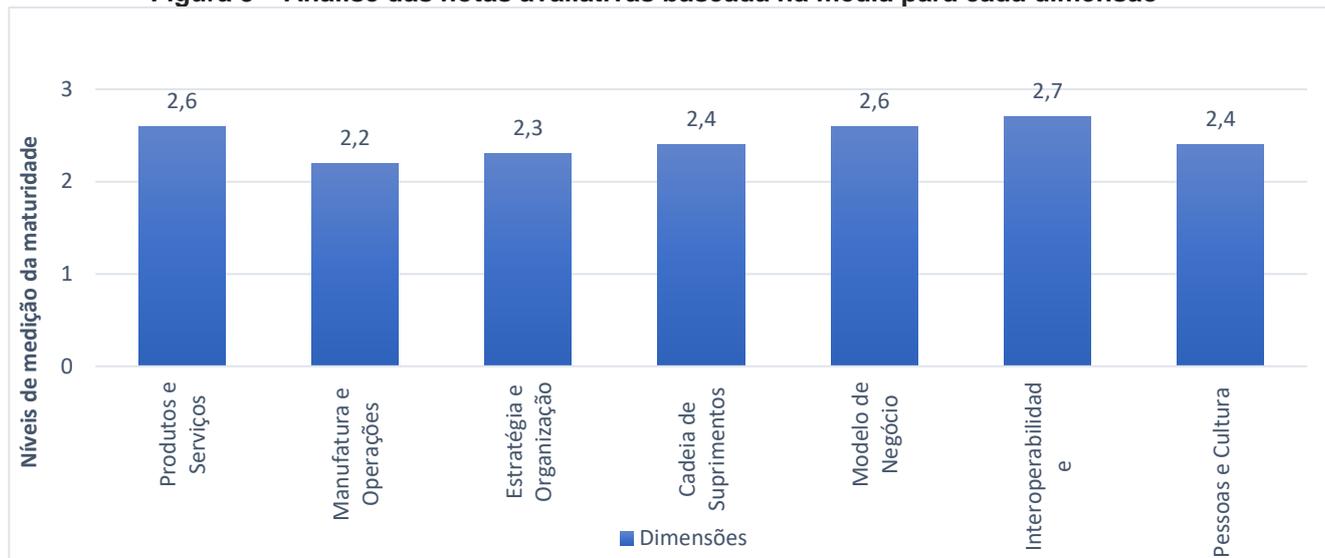


Fonte: Elaborada pelos autores

A última dimensão **Pessoas e Cultura** analisa o perfil e as habilidades orientadas para a indústria 4.0, com base nos dados analisados ela possui classificação **nível – 2**, percebe-se de acordo com o gráfico que a **subdimensão: Prontidão tecnológica** é a melhor avaliada

pelos colaboradores, um ponto positivo pois mostra que os colaboradores estão abertos a mudanças, gerando menores barreiras ou restrições tecnológicas. Com base na **subdimensão**: Pensamento crítico nota-se que a equipe está se desenvolvendo cada vez mais na capacidade analítica voltada ao processo de tomada de decisão, fica claro que as organizações buscam capacidades relacionadas a adaptação desse novo modelo 4.0, assim como aprendizagem em novas habilidades (SILVA; FIRMINO; AMORIM, 2021). Uma cultura organizacional bem estabelecida é essencial, por meio dela é possível criar um ambiente propício para a criação de inovações e no relacionamento de colaboradores, visando o compartilhamento de informações e integração das mais diversas áreas da organização (OLIVEIRA; JÚNIOR; MORAIS, 2021).

Figura 8 – Análise das notas avaliativas baseada na média para cada dimensão



Fonte: Elaborada pelos autores

4. Conclusões

Com base na análise dos dados coletados, a empresa obteve classificação em **nível 2** de grau de maturidade. Nesse nível a empresa já apresenta importantes iniciativas de sistemas, início de interoperabilidade, porém reduzida, existe também automação em áreas operacionais e evidência de baixa visibilidade, assim como o processo de automação e baixa visibilidade, nota-se uma tendência média para **nível 3**, onde é possível perceber integração entre os sistemas, visibilidade, mas com baixos níveis de transparência, preparando-se para a capacidade preditiva.

Analisando a singularidade de cada dimensão, verifica-se que dimensões como: Interoperabilidade, Produtos e Serviços e Modelo de Negócios, possuem integração nos sistemas e entre os processos, dessa forma acabam tendo maior probabilidade de crescimento, tornando favorável a transição para o **nível 3** de maturidade. Nas dimensões com baixa tendência para **nível 3**, como: Manufatura e Operações, Estratégia e Organização, Cadeia de Suprimentos e Pessoas e Cultura, observa-se que ambas possuem baixo grau de preparação para indústria 4.0, baixa interoperabilidade e falta de habilidades orientadas para a indústria 4.0.

A partir disso, para que a empresa possa alcançar o **nível 4**, seriam necessárias reformulações nas linhas de produção, no plano de negócio e nas estratégias voltadas a indústria 4.0, promovendo assim integração entre todos os níveis da empresa em relação a indústria 4.0. Além disso, um dos principais investimentos deveria ser na dimensão Pessoas e Cultura, dado o crescimento do mercado, a competitividade, e as mudanças tecnológicas, cada vez mais as empresas precisam investir em habilidades voltadas a

indústria 4.0, ou seja, em colaboradores preparados para as novas práticas, pois a cultura organizacional estabelece as condutas a serem seguidas pelos colaboradores, direcionando os objetivos e ajudando na comunicação (LEVORATO, 2018). Sendo assim, a cultura pode ser vista como um guia comportamental, possuindo uma influência direta no rendimento organizacional (MARCHIORI, 2018).

Neste estudo foi possível visualizar as tendências do mercado, vantagens da indústria 4.0, os modelos de maturidade, a partir das informações encontradas na literatura. Sem dúvida é necessário que a empresa invista em inovação tecnológica, processos físicos e digitais integrados, como foco na automação e na interoperabilidade, assim como na capacitação e educação dos profissionais, dessa forma gerando maior qualidade e inovação dos produtos.

Referências

- ALDAY, Hernan E. Contreras. Estratégias empresariais. **Coleção Gestão Empresarial**, v. 2, p. 15-25, 2002.
- AZEVEDO, Americo; SANTIAGO, Sandro Breval. Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: An application to manufacturing company. In: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canada**. 2019. p. 23-25.
- CANETTA, Luca; BARNI, Andrea; MONTINI, Elias. Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. In: **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2018. p. 1-7.
- CAROLIS, Anna De et al. Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments. In: **Ifip International Conference on Product Lifecycle Management**. Springer, Cham, 2017. p. 23-35.
- COSTA, Nykael Moreira; VANALLE, Rosangela Maria. Identificação dos Elementos para priorização de projetos de indústria 4.0 com base nos modelos de maturidade e prontidão. **Exacta**, 2021.
- DA MOTA BRITO, José Marcos et al. Aplicação de veículo guiado automaticamente nas diversas áreas de produção da indústria: revisão sistemática da literatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 9486-9502, 2020.
- DA SILVA BARBOSA, Vanderson; FIRMINO, Thaís Teles; AMORIM, Amanda Florense Alves. A percepção de gestores acerca das competências necessárias no contexto da indústria 4.0. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 49, p. 118-132, 2021.
- DE BARROS, Flavio et al. Maturity and readiness of the Manaus industrial pole: case study of the television product. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 39543-39556, 2022.
- DE CARVALHO, Gersa Menezes; DE MORAES, Rosângela Dutra. Sobrecarga de trabalho e adoecimento no Polo Industrial de Manaus. **Psicologia em revista**, v. 17, n. 3, p. 465-482, 2011.
- DE LIMA, Alison Gustavo; PINTO, Giuliano Scombatti. Indústria 4.0: um novo paradigma para a indústria. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019.
- DE LIMA CAVALCANTI, Vladyr Yuri Soares et al. Indústria 4.0: Desafios e perspectivas na construção civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, 2018.
- DE OLIVEIRA MORAIS, Marcos; JÚNIOR, Irapuan Glória; MORAIS, Gabriel Alves Morais. Gestão do Conhecimento, Cultura Organizacional e Inteligência Organizacional: Elementos

que Potencializam a Indústria 4.0. **Journal of Technology & Information (JTni)**, v. 1, n. 1, 2021.

DE SOUZA JUNIOR, Armando Araújo et al. The RD&I policy in Manaus Free Trade Zone: Opportunities and Challenges for the Implementation of the Industry 4.0. **European Journal of Business and Management Research**, v. 7, n. 1, p. 229-235, 2022.

DE SOUZA LEITE, Paulo André; NOGUEIRA, Ricardo Jorge da Cunha Costa. SCM (Gestão da Cadeia de Suprimentos) e indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura SCM (Supply Chain Management) and Industry 4.0: a systematic. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 6, p. 47845-47862, 2022.

DE SOUZA, Stanley Soares et al. Metanálisis de los modelos de madurez de la industria 4.0. **Interciencia**, v. 45, n. 8, p. 397-400, 2020.

DIKHANBAYEVA, Dinara et al. Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 9927, 2020.

FERREIRA, Sylvio Mário Puga; BOTELHO, Lissandro. O emprego industrial na Região Norte: o caso do Polo Industrial de Manaus. **estudos avançados**, v. 28, p. 141-154, 2014.

FONSECA, Fernando; ROZENFELD, Henrique. Medição de desempenho para a gestão do ciclo de vida de produtos: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, v. 12, n. 1, p. 159-184, 2012.

GANZARAIN, Jaione; ERRASTI, Nekane. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, v. 9, n. 5, p. 1119-1128, 2016.

ITIKAWA, Mauricio; SANTIAGO, Sandro Breval. A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics in the Manaus Free Trade Zone. **International journal of advanced engineering research and science**, v. 8, p. 1, 2021.

ITIKAWA, Mauricio; SANTIAGO, Sandro Breval. Industry 4.0 Maturity: A case study of a maturity model applied to the Manaus Free Trade Zone company. **International Journal of Development Research**, 12, (08), 58238-58245, 2022.

IVALE, André Henrique; DA SILVA, Mario César; DE ALENCAR NÄÄS, Irenilza. Cenário da publicação científica sobre a Indústria 4.0 no Brasil: Uma revisão bibliométrica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e10610513838-e10610513838, 2021.

KUNRATH, Tobias; DRESCH, Aline. GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E A INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE DA LITERATURA, 2018.

LEVORATO, Danielle Cristine da Silva et al. Cultura organizacional como elemento facilitador na implantação do programa de compliance na área de infraestrutura da **Odebrecht Engenharia e Construção**. 2018.

LEYH, Christian et al. SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. In: **2016 federated conference on computer science and information systems (fedcsis)**. IEEE, 2016. p. 1297-1302.

MARCHIORI, Marlene. **Cultura e comunicação organizacional: um olhar estratégico sobre a organização**. Difusão Editora, 2018.

MOICA, Sorina et al. Change made in shop floor management to transform a conventional production system into an" Industry 4.0": Case studies in SME automotive production manufacturing. In: **2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)**. IEEE, 2018. p. 51-56.

- ODWAŻNY, Filip et al. Concept for measuring organizational maturity supporting sustainable development goals. **LogForum**, v. 15, n. 2, 2019.
- PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.
- PUCHAN, Jörg; ZEIFANG, Alexander; LEU, Jun-Der. Industry 4.0 in practice-identification of industry 4.0 success patterns. In: **2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, 2018. p. 1091-1095.
- RAJNAI, Zoltán; KOCSIS, István. Assessing industry 4.0 readiness of enterprises. In: **2018 IEEE 16th world symposium on applied machine intelligence and informatics (SAMI)**. IEEE, 2018. p. 000225-000230.
- RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, p. 76-97, 2006.
- RÜBEL, Sarah et al. A maturity model for business model management in industry 4.0. In: **Multikonferenz Wirtschaftsinformatik**. Lüneburg, Germany: Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Wirtschaftsinformatik, 2018. p. 6-9.
- SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.
- SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- SANTOS, Reginaldo Carreiro; MARTINHO, José Luís. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2020.
- SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 161-166, 2016.
- SJÖDIN, David R. et al. Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22-31, 2018.
- TONELLI, Flavio et al. A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 era. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 122-127, 2016.
- VENTURA, Magda Maria. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.
- WATANABE, Alexandre. **Modelagem de uma planta virtual de produção de PCBs via digital twin dentro do contexto da indústria 4.0**. 2020. Tese de Doutorado.