



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

SAMUEL RAMIREZ HOHL ABRAHÃO

**MELHORIA DE PROCESSOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
UTILIZANDO ANÁLISE DE PRONTIDÃO E MATURIDADE
COMO INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA 4.0.**

Brasília – DF
2021

SAMUEL RAMIREZ HOHL ABRAHÃO

**MELHORIA DE PROCESSOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
UTILIZANDO ANÁLISE DE PRONTIDÃO E MATURIDADE
COMO INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA 4.0.**

Projeto de Graduação apresentado à Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Professor Orientador: Sanderson Barbalho

Brasília – DF

2021

Abrahão, Samuel Ramirez Hohl.

Melhoria de processos em sistemas de produção utilizando análise de prontidão e maturidade como introdução à I4.0. Samuel Ramirez Hohl Abrahão. – Brasília, 2021.

Projeto de Graduação (bacharelado) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia de Produção - EaD, 2021.

Orientador: Prof. Sanderson Barbalho, Departamento de Engenharia de Produção.

1. Modelo de Maturidade. 2. Indústria 4.0. 3. ACATECH.

SAMUEL RAMIREZ HOHL ABRAHÃO

**MELHORIA DE PROCESSOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
UTILIZANDO ANÁLISE DE PRONTIDÃO E MATURIDADE
COMO INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA 4.0.**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília do aluno

Samuel Ramirez Hohl Abrahão

Sanderson Barbalho

Professor-Orientador

Dr. Clóvis Neumann

Professor-Examinador

Dr. Andrea Santos

Professora-Examinadora

Dr. Roque Magno

Professor-Examinador

Brasília, 09 de novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por minha vida, saúde e disposição física e mental.

À minha mãe, Eliana, que a cada instante acreditou em mim, nos meus sonhos e sempre me incentivou a continuar e perseverar face aos desafios da existência.

Ao meu pai, João Carlos, que contribuiu essencialmente para a formação do meu caráter e esteve presente em diversos momentos de dificuldade.

Aos meus irmãos, Daniel, Carolina e Matheus, por apoiarem meus projetos futuros, tanto profissionais como pessoais.

Ao meu orientador, Sanderson Barbalho, por toda dedicação e paciência com a minha pessoa. Suas críticas e sugestões foram de suma importância para o meu desenvolvimento. Obrigado por me motivar a elaborar este e outros trabalhos científicos.

Aos meus amigos próximos, ou que algum dia já foram próximos e agora estão distantes. Obrigado por todos os momentos de felicidade que já passamos juntos.

À minha namorada, Anna Carolina, por me incentivar a continuar até o fim e buscar sempre a minha melhor versão. Agradeço também à sua família por todo o apoio e momentos de alegria.

Aos meus colegas e professores do curso de Engenharia de Produção e também de outros cursos da Universidade de Brasília, por compartilharem experiências fundamentais para a minha graduação de nível superior.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para o meu trabalho, especialmente ao gestor e aos colaboradores da Pinheiro Indústria. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

“Conheces teu inimigo e conhece-te a ti mesmo.

Se tiveres cem combates a travar, cem vezes serás vitorioso.

Se ignoras teu inimigo e conheces a ti mesmo, tuas chances de perder e de ganhar serão idênticas.

Se ignoras ao mesmo tempo teu inimigo e a ti mesmo, só contarás teus combates por tuas derrotas.”

- Sun Tzu

RESUMO

O presente estudo visa realizar um diagnóstico do índice de maturidade de uma empresa do ramo da construção civil baseado no modelo de maturidade de Indústria 4.0 proposto pela Academia Alemã de Ciências e Engenharia (ACATECH). Nos últimos séculos, presenciamos a evolução da indústria marcada pelas três grandes revoluções industriais que trouxeram avanços significativos para a humanidade. Atualmente, pode-se observar o constante desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação que estão sendo implementadas nas indústrias de vários setores de produção. O advento dessas tecnologias computacionais industriais juntamente com as técnicas de gestão de manufatura, coleta e análise de dados altamente desenvolvidas, capazes de apoiar os sistemas de decisão de uma empresa, ficou conhecido como quarta revolução industrial ou Indústria 4.0. Considerando que o avanço das técnicas de produção estão se disseminando cada vez mais entre as empresas que desejam se manter competitivas no mercado, torna-se necessário desenvolver ambientes em que a gestão de desenvolvimento de serviços e produtos seja cada vez eficiente, a fim de reduzir ao máximo os desperdícios. O objetivo citado, pode ser alcançado por meio de uma implementação de um modelo de maturidade de I4.0. Dessa forma, foi realizado o procedimento técnico de estudo de caso em uma indústria fabricante de produtos de aço, onde foram aplicados questionários e realizadas visitas periódicas para compreender o total funcionamento dos processos produtivos da organização e por fim realizada uma análise do índice de maturidade e do nível de prontidão da organização propondo para a mesma sugestões de melhorias baseadas em tecnologias de I4.0. O estudo é caracterizado como uma pesquisa de natureza aplicada, abordagem qualitativa e objetivo exploratório. A coleta de dados ocorreu de modo presencial e eletrônico, aplicando questionários com gestores e operários e visitando o espaço físico da empresa estudada. Os resultados encontrados foram capazes de definir um nível de maturidade para a indústria estudada e indicaram que a equipe de produção da mesma se mostrou positiva para trabalhar com soluções tecnológicas de I4.0.

Palavras-chave: Modelo de Maturidade. Indústria 4.0. ACATECH. Melhoria de Processos. Lean Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os quatro estágios da Revolução Industrial.....	16
Figura 2: Benefícios positivos da análise do Big Data.....	18
Figura 3: Uso de Realidade Aumentada para visualizar modelo de automóvel.....	21
Figura 4: Uso de Realidade Virtual para visualizar objetos em 3D.....	22
Figura 5: Estágios de desenvolvimento para a I4.0.....	26
Figura 6: Representação do Diagrama de Espinha de Peixe.....	40
Figura 7: Estrutura do modelo de prontidão proposto.....	41
Figura 8: Níveis de Prontidão para a Indústria 4.0 - Modelo de Cubo 3D.....	42
Figura 9: Modelo de cubo 3D.....	44
Figura 10: Gráfico Vetor de Prontidão x Nível de Prontidão.....	45
Figura 11: Análise gráfica das subdimensões do modelo de cubo.....	46
Figura 12: Etapas para o desenvolvimento do trabalho.....	48
Figura 13: Diagrama de Ishikawa: Processo de Beneficiamento de Vergalhão.....	55
Figura 14: Diagrama de Ishikawa: Processo de Corte de Bitola.....	55
Figura 15: Diagrama de Ishikawa: Processo de Perfilação de Telha.....	56
Figura 16: Gráfico de Radar da Avaliação Pinheiro Indústria.....	71
Figura 17: Planilha de controle de produção antiga.....	73
Figura 18: Planilha de Controle de Produção protegida por código de acesso.....	74
Figura 19: Menu inicial da Planilha de Controle de Produção.....	75
Figura 20: Aba de controle de envios.....	76
Figura 21: Formulário de preenchimento de envios.....	77
Figura 22: Formulário - função critérios de busca.....	77
Figura 23: Aba de controle de entregas.....	78

Figura 24: Formulário de preenchimento de entregas.....	79
Figura 25: Aba de lançamentos.....	79
Figura 25: Formulário de preenchimento de lançamentos.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Áreas estruturais, princípios e capacidades de transformação.....	30
Quadro 2: Capacidades de Transformação presentes na Pinheiro Indústria.....	58
Quadro 3: Exemplo de Padrão de Respostas do Questionário de Definição do nível de Prontidão: Pergunta 1.....	63
Quadro 4: Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria.....	64

SUMÁRIO

1. Introdução	11
1.1. Contextualização	11
1.2. Problema	12
1.3. Objetivo	13
1.4. Estrutura	13
2. Revisão Bibliográfica	15
2.1. Indústria 4.0	15
2.2. Modelo de Maturidade ACATECH	25
2.3. Lean Manufacturing	35
2.4. Modelo de Prontidão: O modelo de cubo 3D	41
3. Metodologia	47
3.1. Classificação da Pesquisa	47
3.2. Procedimentos de Coleta e Análise de Dados	47
3.3. Caracterização dos instrumentos de Pesquisa	50
4. Estudo de Caso	52
4.1. Caracterização do locus do Estudo	52
4.2. Procedimentos para realização do Estudo de Caso	53
4.3. Análises e Resultados	54
4.4. Proposta de possíveis melhorias para aumentar o nível de informatização	72
5. Considerações Finais	84
Referências Bibliográficas	86
Apêndice	91
Anexos	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com o advento de novas tecnologias computacionais industriais em conjunto com as técnicas de gestão de manufatura, a coleta e a análise de dados se desenvolveram cada vez mais apoiando os sistemas de tomada de decisão. Essa estratégia de produção e desenvolvimento de tecnologia de alto valor agregado para as firmas de produção ficou conhecida como Indústria 4.0 (I4.0), termo alemão originalmente usado para enquadrar a quarta Revolução Industrial (KAGERMAN; WAHISTER; HELBIG, 2013). Logo, a Indústria 4.0 apresentou novas formas de desenvolver produtos inteligentes introduzindo ferramentas tecnológicas capazes de criar outro conceito de fábrica, uma fábrica inteligente (BITTENCOURT; ALVES; LEÃO, 2019).

Dessa forma, é nítido que o surgimento da Indústria 4.0 acarretou a criação e desenvolvimento de novas tecnologias de informação e comunicação que foram implementadas em indústrias de vários setores de produção. Entretanto, essas novas tecnologias não devem substituir as técnicas utilizadas na produção enxuta e ambas devem ser integradas (NUNES; PEREIRA; ALVES, 2017).

De acordo com o modelo de maturidade da I4.0 proposto pela ACATECH (Academia Nacional de Ciência e Engenharia Alemã), não se pode associar a quarta revolução industrial apenas com o desenvolvimento tecnológico dos maquinários de uma indústria, pois as empresas também precisam transformar sua cultura e organização produtiva a fim de atingir o quarto nível industrial. Com isso, a partir de uma perspectiva de integração, o *Lean Manufacturing* permite que as empresas façam melhor proveito das tecnologias advindas da Indústria 4.0, se tornando organizações ágeis e inteligentes (SCHUH et al., 2017).

A Indústria 4.0 começou a avançar em produção com sistemas autônomos e flexíveis, revolucionando assim os processos produtivos. Entretanto, sabe-se que a integração holística de técnicas do Lean Manufacturing (LM), como o Just in Time (JIT), Kanban, Poka- Yoke, Value Stream Mapping (VSM), Kaizen e Total Productive Maintenance (TPM) com as tecnologias digitais, de inteligência artificial e de realidade virtual, desenvolvidas pela Indústria 4.0, oferece para as empresas uma série de ganhos organizacionais (VALAMEDE; AKKARI, 2020).

Sob outra perspectiva, empresas e indústrias de montagem tendem a trabalhar em um ambiente que se torna, cotidianamente, mais competitivo e desafiador, devido ao surgimento de concorrentes disputando seu espaço no mercado. Dessa forma, técnicas de gestão e otimização de processos ganharam destaque e passaram a representar um fator diferencial para as empresas atuais. Técnicas que auxiliam a implantação da filosofia *Lean* na empresa, como *Value Stream Mapping* (VSM), 5S e *Just-In-Time* (JIT), oferecem novos métodos para visualizar e analisar os processos produtivos do cliente e eliminar atividades sem valor agregado das linhas de produção (ZHANG et al., 2016).

Diante do cenário cada vez mais competitivo, em que as empresas trabalham para conquistar seu espaço no mercado, surge a necessidade de desenvolver ambientes cuja gestão de desenvolvimento de produtos e serviços seja cada vez mais eficiente, a fim de diminuir ao máximo os desperdícios, o que pode ser alcançado com a implementação de um modelo de maturidade da I4.0. Neste conceito, podem-se destacar empresas que atuam no setor de produção e desejam otimizar seus processos produtivos atingindo um nível de maturidade cada vez maior por meio de tecnologias e estratégias organizacionais da I4.0.

1.2 Problema

Com uso de sistemas integrados de informação e comunicação, as deficiências das práticas convencionais podem ser superadas para melhorar a produtividade e eliminar desperdícios (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018). Isso implica que as indústrias têm os benefícios combinados da integração em tempo real de toda a fábrica, juntamente com a tentativa de geração mínima de desperdícios, princípio da produção enxuta (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016). Podemos perceber esses benefícios principalmente em grandes empresas que já possuem estruturas de comunicação e obtenção de dados em tempo real integrados em suas linhas de produção (SANTOS et al., 2018).

Entretanto, as Pequenas e Médias Empresas (PME's) possuem dificuldades para implantar tecnologias da I4.0, principalmente, por falta de recursos ou de estrutura básica para visualizar, identificar e padronizar seus processos, gerando dificuldade para alimentar os sistemas de inteligência artificial (IA) (LEMOS, 2019). Com essa falta de padronização do processo, treinamento adequado, comunicação interna da empresa e qualidade do processo surgem

barreiras que dificultam a implantação de tecnologias relacionadas à quarta revolução industrial nestas PME's.

Devido à falta de padronização e visualização de processos surgem uma série de eventos que impactam negativamente nos setores produtivos de uma empresa como a perda da qualidade nos produtos ou serviços gerados, o elevado custo e tempo despendido para realizar treinamentos e, também, o surgimento de dificuldades para propor melhorias organizacionais.

1.3 Objetivo

Este trabalho tem como principal objetivo realizar uma análise de maturidade de I4.0 em uma empresa metal mecânica e sugerir melhorias a fim de elevar o seu nível de maturidade.

Assim, para atingir seu objetivo geral, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar na literatura as soluções de indústria 4.0 aplicadas a processos de informatização;
2. Analisar dados operacionais de processos produtivos da empresa estudada;
3. Analisar integralmente o processo produtivo da empresa estudada de acordo com o modelo de maturidade de Indústria 4.0 da ACATECH;
4. Propor, analisar e validar melhorias nos processos de informatização com base em tecnologias de Indústria 4.0.

1.4 Estrutura

A estrutura deste trabalho será composta por cinco capítulos: o primeiro capítulo é a Introdução, a qual apresenta a contextualização e problemática do trabalho, assim como objetivo e justificativas do estudo. O segundo capítulo será composto pelo referencial teórico da pesquisa onde serão apresentados os argumentos embasadores do estudo encontrados na literatura, assim como a revisão bibliográfica. O capítulo seguinte se trata da metodologia, que irá expor a descrição dos instrumentos e fontes escolhidas para a aplicação do estudo de caso.

No penúltimo capítulo, serão denotados os resultados obtidos a partir das análises realizadas no estudo e por fim, será apresentada uma breve conclusão no capítulo final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa trazer a contextualização dos principais temas abordados por este trabalho. Para atingir esse objetivo foi realizado um levantamento sobre técnicas e conceitos do LM bem como da Indústria 4.0. A fim de introduzir os conceitos de LM e Indústria 4.0, é muito valioso apontar a diferença dos termos ferramenta, técnica e filosofia a fim de apresentar a distinção desses termos que estarão presentes ao longo do trabalho.

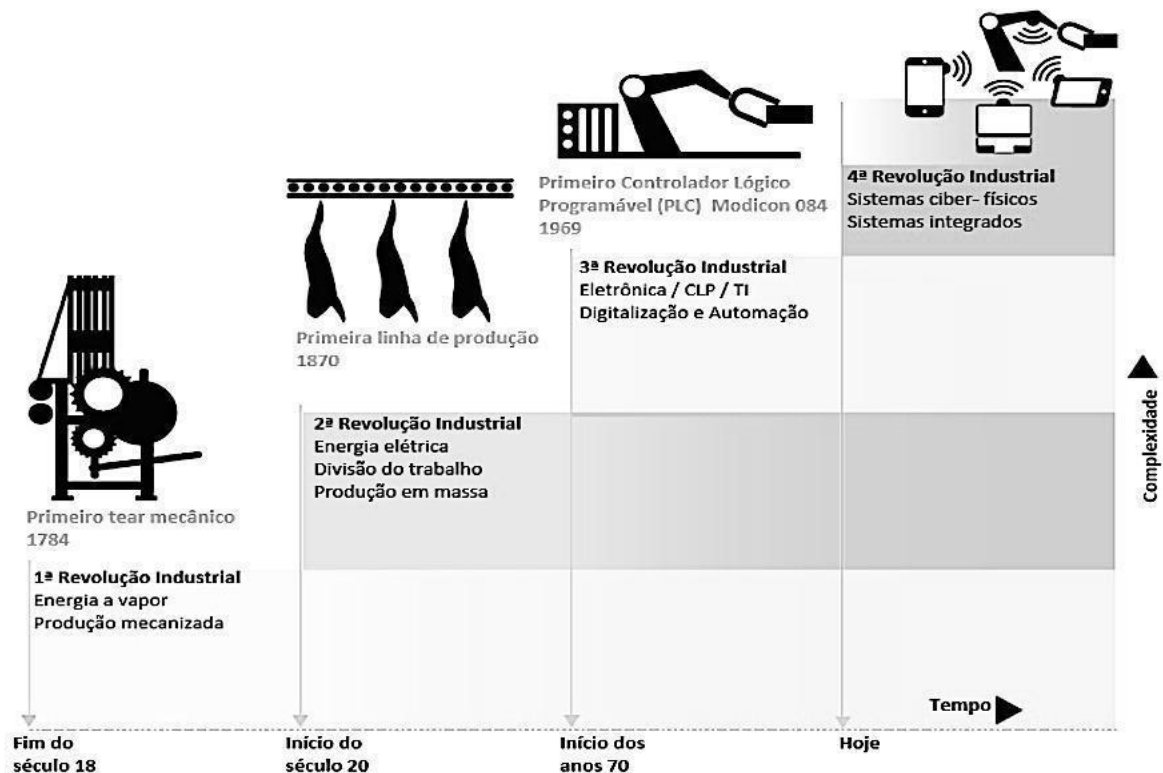
De acordo com o próprio significado denotativo, a ferramenta corresponde a um conjunto de instrumentos e utensílios empregados em um ofício. A técnica, por sua vez, se traduz pelo conjunto dos métodos, práticas e processos essenciais à execução perfeita de uma arte ou profissão. Enquanto a filosofia representa o conjunto de estudos ou de considerações que tendem a reunir uma ordem determinada de conhecimento e um número reduzido de princípios que lhe servem de fundamento (AURÉLIO, 2013).

2.1 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 é caracterizado pela forte conexão entre processos, produtos e serviços, representados pela Internet das Coisas (IoT). Seu conceito tem sido amplamente discutido por acadêmicos e organizações, e seu alto nível de integração forma uma rede de trabalho que conecta o espaço físico e o mundo virtual por meio de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) (KAGERMANN et al. 2013).

A Indústria 4.0, considerada a Quarta Revolução Industrial, teve sua origem no ano de 2011, na “Hannover Messe”, uma feira de ciência e tecnologia que ocorre anualmente em Hannover, na Alemanha. Nesta edição foi apresentado o termo “Indústria 4.0” e citado o quanto as organizações e sua cadeia global serão revolucionadas pela chegada dos novos conceitos tecnológicos que são capazes de transformar as indústrias comuns em *Smart Factories*, ou seja, fábricas inteligentes (SCHWAB, 2016). Em escala global, a chamada quarta revolução industrial levará à integração completa entre os sistemas de manufatura virtuais e físicos, e essas integrações colaborarão entre si de maneira flexível. A figura 1 ilustra a evolução das quatro revoluções industriais.

Figura 1 – Os quatro estágios da Revolução Industrial



Fonte: Adaptado de Kagermann et al (2013)

Com base na figura 1, podemos observar uma evolução temporal desde a 1ª revolução industrial que se iniciou no fim do século 18, no ano de 1784, marcada pelo aprimoramento das máquinas a vapor e com a criação do tear mecanizado. No ano de 1870, a segunda revolução industrial teve seu início impulsionado pela utilização de aço em grande escala na produção industrial. Com isso, surgiu, nessa época, a primeira linha de produção contando com o uso de combustíveis fósseis, energia elétrica e motores elétricos. Posteriormente, no ano de 1969 deu-se início à 3ª revolução industrial que ficou marcada pela utilização de sistemas programáveis, computadorizados e robótica na indústria de produção, tecnologias advindas do avanço da eletrônica e informática.

As revoluções industriais estão historicamente associadas a rupturas nos modelos de produção. Conforme citado anteriormente, o processo disruptivo começou com o surgimento das máquinas a vapor, avançando para o uso da eletricidade e culminando na Revolução Digital, que introduziu a aplicação de inovações computacionais no contexto da manufatura. O rápido ritmo de desenvolvimento tecnológico está mudando a forma como a sociedade trabalha e se relaciona com o meio ambiente (ELIASSEN et al., 2018).

Na sociedade hodierna, a quarta revolução industrial visa alcançar uma inovação mais rápida nos processos de manufatura com maior eficiência da cadeia de valor (BEN-DAYA et al., 2019). Com foco na automação do fluxo de processos, a Indústria 4.0 permite flexibilidade e personalização de produtos e serviços e, conseqüentemente, aumenta a maximização da lucratividade (SCHMIDT et al., 2015).

De acordo com a ACATECH (Academia Alemã de Ciências e Engenharia), ser 4.0 significa gerar dados para transformar a empresa em uma organização ágil e que aprende, permitindo rápida tomada de decisão e adaptação flexível de processos em todas as áreas de negócio (DA SILVA et al., 2019).

Logo, a Indústria 4.0 pode ser considerada um novo momento da produção, uma vez que visa desenvolver uma plataforma de manufatura inteligente e aberta para a aplicação de dados em uma rede industrial. Convertendo máquinas comuns em equipamentos autoconscientes e de autoaprendizagem para melhorar seu desempenho e gerenciamento gerais, as fábricas inteligentes são capazes de monitorar dados em tempo real, rastrear o status e as posições dos produtos, além de manter as instruções para controlar os processos de produção (JAVAID e HALEEM, 2019; VAIDYA et al., 2018).

A revolução digital impactou de forma complexa nos sistemas de produção, provendo soluções por meio das combinações de tecnologias da Indústria 4.0. Essas associações levam as organizações a repensar a cadeia de valor de seus novos produtos e como desenvolvê-los para inserção no mercado (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015; MAYR et al., 2018; PEREIRA et al., 2019; SANDERS et al., 2016). Neste estudo, serão abordadas as técnicas e ferramentas da Indústria 4.0 mais relevantes para o escopo do trabalho, incluindo *Big Data*, *Cybersecurity*, *Cloud Computing*, Realidade Aumentada (AR), Realidade Virtual (VR), *Virtual Simulation* (VS) Inteligência Artificial (IA) e *Internet of Things* (IOT).

2.1.1 Big Data

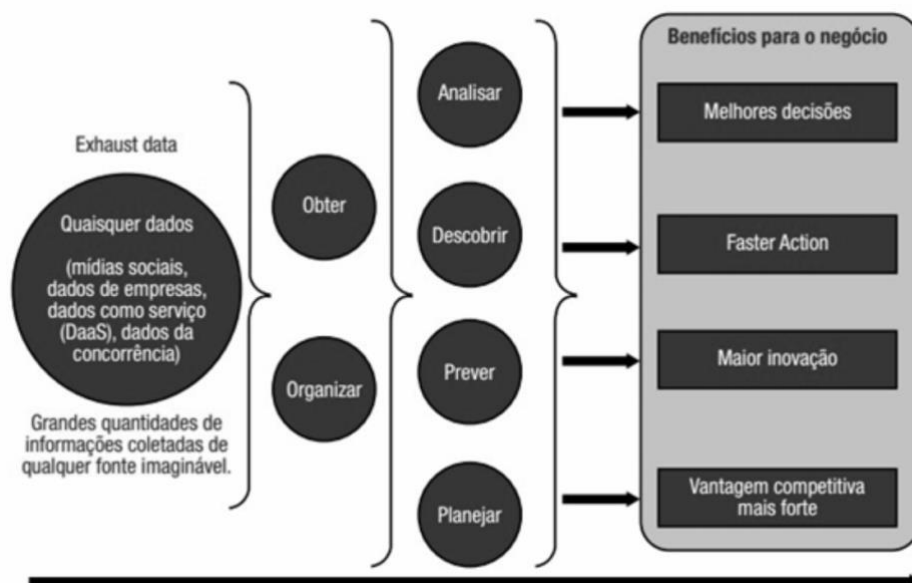
Atualmente, o crescimento explosivo dos dados globais torna o conceito de big data uma realidade. Comparado com conjuntos de dados tradicionais, este termo é usado principalmente para descrever grandes conjuntos de dados, incluindo grandes quantidades de dados não estruturados e dados em tempo real gerados rapidamente que requerem armazenamento e

análise imediata. O rápido desenvolvimento de hardware de computação, redes, estruturas de processamento massivamente paralelas e a economia de custos de infraestrutura de computação promoveram o desenvolvimento da computação. O advento de tecnologias de computação como *Big Data*, computação em nuvem e IOT. Essas tecnologias possibilitam a geração rápida de grandes quantidades de dados (ATZORI et al., 2010; ARMBRUST et al., 2010).

Big Data é um termo que descreve a enorme quantidade de dados que afetam os negócios cotidianamente. Mas o que importa não é a quantidade de dados e sim como a empresa lida com os dados importantes. O Big Data pode ser analisado para obter insights que ajudam a tomar as melhores decisões e direções estratégicas de negócios (SAS, 2017).

De acordo com Gil et al. (2017), as principais tecnologias relacionadas ao Big Data são complexas de usar e estão em constante mudança. Também faltam plataformas que possam simplificar a construção e o desenvolvimento de componentes de análise de big data que possam lidar com requisitos de algoritmos avançados. Além disso, o número de pacotes de software existentes que fornecem algoritmos para gerenciar e analisar big data ainda é limitado e seu formato é padronizado (mais simples). Os algoritmos existentes geralmente funcionam individualmente para tarefas e campos específicos, e não fornecem pistas para trabalhar de forma coordenada para resolver tarefas novas, emergentes e desafiadoras. Na verdade, ao avaliar em um sistema de visualização em um painel de controle de *business intelligence*, isso muitas vezes leva a soluções de dados de baixa qualidade (GIL et al., 2017).

Figura 2 –Benefícios positivos da análise do Big Data



Fonte: Adaptado de ISACA (2013)

A figura 2 retrata que uso adequado de Big Data vai além de analisar e coletar grandes quantidades de dados, pois também exige a compreensão de como e quando usar os dados ao tomar decisões cruciais para uma empresa ou organização.

2.1.2 Segurança Cibernética (Cybersecurity)

O termo em inglês *Cybersecurity*, ou segurança cibernética, se caracteriza pelo sistema projetado para proteger programas, computadores, redes e dados, para garantir a segurança, confiabilidade das comunicações e o gerenciamento de recursos e informações. As fábricas inteligentes usam protocolos de comunicação padrão e alcançam um alto grau de conectividade entre todos os elos da cadeia de valor (Rüßmann et al., 2015; Ustundag e Cevikcan, 2018).

Em maio de 2017, empresas em mais de 70 países ao redor do mundo sofreram ataques cibernéticos, sequestrando informações em computadores e servidores, bloqueando o acesso até que um resgate fosse pago. De acordo com especialistas em segurança, como não podem descifrar dados por conta própria, as vítimas de ataques sem dados de backup enfrentam uma escolha: viver sem dados ou pagar (Perlroth & Sanger, 2017).

Tendo em vista esse incidente, a importância da segurança de rede é óbvia para qualquer classe de negócio, indústria ou empreendimento que preze pela integridade de seus dados. Por isso, organizações usam protocolos de comunicação padrão e estabelecem um alto grau de conectividade. Todos os elos da cadeia de criação de valor precisam dominar técnicas da segurança cibernética a fim de proteger seus dados. Logo, a comunicação confiável e segura e o gerenciamento complexo de identidade e acesso à máquina e ao usuário são essenciais para proteger dados institucionais (Rüßmann et al., 2015).

2.1.3 Computação na Nuvem (Cloud Computing)

A *Cloud Computing* ou computação em nuvem, é uma técnica que fornece comunicação unificada entre o nível de tecnologia (produtos inteligentes e sistemas ciberfísicos) e o nível de hierarquia mais alto em uma organização. Com o advento dessa técnica foi possível aumentar o compartilhamento de dados entre as fronteiras da empresa, melhorando o desempenho do

sistema e o tornando mais ágil e flexível, reduzindo assim uma série de custos empresariais (MA et al., 2017; VAIDYA et al., 2018).

A computação em nuvem fornece principalmente sites de armazenamento, infraestrutura de computação, plataformas e serviços de software para recursos de dados. Por meio de uso de um sensor IoT, a coleta e a transmissão de dados globais são armazenadas e processadas na nuvem criando novas propostas de serviços inteligentes integrados com diversas arquiteturas baseadas em ontologia, link e nuvem (GIL et al. 2016). Mayoral et al. (2017) enfatizou que os serviços de computação em nuvem estão se tornando uma parte importante de qualquer infraestrutura de TI.

A computação em nuvem apresenta um novo paradigma de funcionalidades no qual a infraestrutura de armazenamento e servidor são hospedados e compartilhados, economizando custos e inovando em serviços e aplicativos. Essas inovações fornecem um modelo de distribuição baseado em servidores compartilhados. Nesse caso, o conceito de plataforma como serviço (PaaS) foi introduzido como um novo modelo de serviço para construir a futura rede de Internet (MAYORAL et al., 2017).

2.1.4 Realidade Aumentada (*Augmented Reality* - AR)

A tecnologia da *Augmented Reality* (AR), ou realidade aumentada, funciona por meio de uma sobreposição de objetos virtuais com o ambiente existente. Em visores de AR, as informações virtuais e reais, previamente adquiridas com uma câmera, são fundidas digitalmente e representadas em uma tela, criando uma interface entre os funcionários e os produtos ou equipamentos digitais (Mayr et al., 2018; Rüßmann et al., 2015).

Gomes et al. (2017) concluíram que a tecnologia de realidade aumentada pode ser amplamente utilizada em muitos campos, como medicina, educação e atividades industriais. Logo, o uso da tecnologia AR permite que a experiência visual do usuário seja expandida, adicionando informações à cena real sendo visualizada, ajudando assim a aumentar potencialmente a compreensão do ambiente físico usado.

Dessa forma, a AR também pode ser interpretada como uma maneira de aprimorar a percepção humana através da utilização de objetos virtuais. Por meio da AR, as informações

relevantes podem ser adicionadas diretamente ao campo de visão do trabalhador, ação que é possível com o uso de dispositivos móveis, como smartphones, tablets e smartglasses (GORECKY et al, 2014).

Figura 3 – Uso de Realidade Aumentada para visualizar modelo de automóvel.



Fonte: JESUS; SILVA (2009).

A figura 3 exemplifica o uso da realidade aumentada para expor um modelo de automóvel em terceira dimensão.

2.1.5 Realidade Virtual (Virtual Reality - VR)

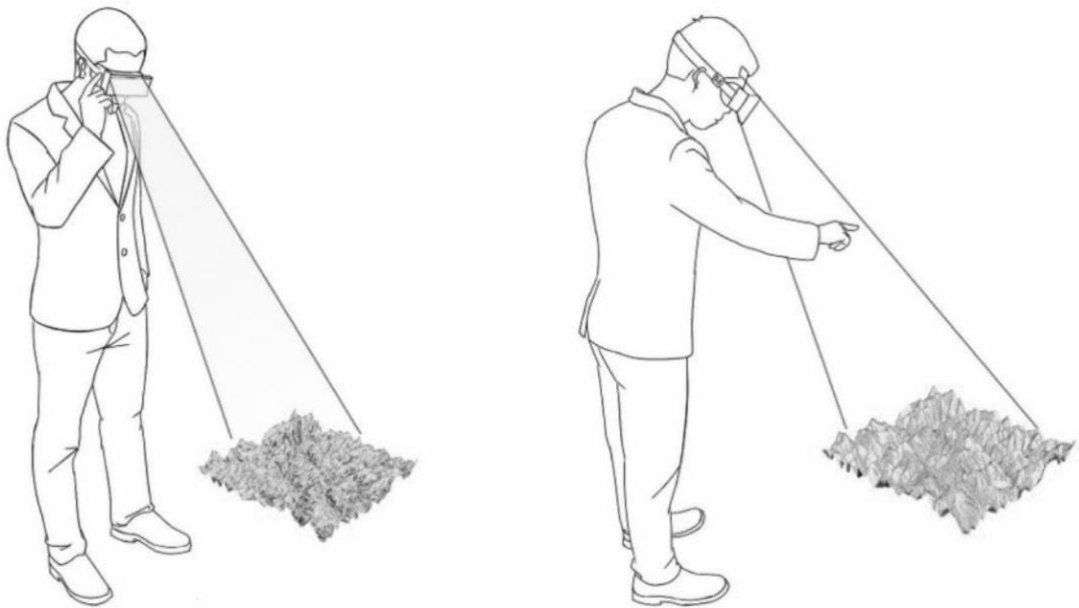
A Virtual Reality (VR), termo em inglês que significa realidade virtual, é uma síntese da "realidade" e um meio de criar uma forma intuitiva de interação humano-computador. Os participantes do mundo virtual podem realizar tarefas que são impossíveis no mundo real. Por meio da VR a interação em tempo real é enfatizada sendo uma nova interface de usuário 3D. A realidade virtual da interação humano-computador é semelhante à interação entre pessoas e objetos reais em um ambiente real (LV, LI e LI, 2017).

De acordo com Lahti (2012), foi possível constatar que o rápido desenvolvimento da Internet enfatizou que a realidade virtual, a tecnologia móvel e a adoção em massa de dispositivos móveis e inteligentes por todos os indivíduos na sociedade moderna criaram

enormes oportunidades para aplicar o *E-learning*, ensino eletrônico *online* não presencial amparado nas inovações da tecnologia da informação e comunicação.

Na figura 4 pode-se observar um exemplo de uma aplicação prática e real de VR, onde são destacados objetos em 3D, a partir do uso de um óculos de realidade virtual que fornece ao usuário a sensação de estar em contato direto com a imagem visualizada no dispositivo.

Figura 4 – Uso de Realidade Virtual para visualizar objetos em 3D.



Fonte: LV et al. (2017).

2.1.6 Simulação (Virtual Simulation - VS)

Virtual Simulation (VS) ou simulação virtual é uma modelagem baseada em sistema computacional que promove dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual que inclui máquinas, produtos e humanos. Essa simulação fornece uma análise prévia de todas as etapas que compõem o processo, apresentando estimativas de desempenho para os indicadores de produção (BAHRIN et al., 2016).

Conforme exposto por Netto, Machado e Oliveira (2002), a simulação virtual, criada por meio dos sistemas de realidade virtual, é bastante usada para simular equipamentos de movimentação e treinamento de operadores. Estas simulações são concebidas com uma

arquitetura de computadores trabalhando interconectados em rede. Esta estrutura permite aumentar a capacidade de processamento e maximizar a eficiência da troca de informações entre módulos do sistema, e constitui-se em uma base completa para emular todos os aspectos operacionais do sistema através de consoles, painéis e displays de computadores.

Em geral, o sistema de simulação deve conter o modelo dinâmico do equipamento de movimentação e seus sub-sistemas de acionamento, e interação. A movimentação do usuário, sonorização e visualização do ambiente devem permitir a imersão total e a melhor proximidade com a realidade. Todas estas funcionalidades devem ser calculadas em tempo real durante a simulação, o que exige uma elevada capacidade de computação (NETTO, MACHADO E OLIVEIRA, 2002).

Ainda de acordo com os autores, o uso do simulador oferece como vantagem a disponibilidade de ferramentas de análise que permitem a um instrutor avaliar o desempenho de seu aluno e atuar diretamente na correção da inabilidade na operação para garantir o domínio adequado do equipamento, visando a eficiência da produtividade na operação. Ademais, sabe-se que eventos capazes de provocar dano ao equipamento durante o uso ou insegurança de operação, são fenômenos indesejáveis no ambiente empresarial, pois impactam negativamente em custo material e humano. Neste sentido, surge outra grande vantagem no uso da simulação virtual: a possibilidade de realizar o treinamento do operador em condições adversas. Com o uso da VS é possível realizar um treinamento do operador para que o mesmo atue adequadamente durante um mau funcionamento ou pane do equipamento ou mesmo na iminência de um acidente, sem de fato produzir o risco, garantindo um treinamento com segurança economizando recursos e tempo.

2.1.7 Inteligência Artificial (IA)

A inteligência artificial pode ser entendida como um campo da ciência da computação onde as máquinas realizam tarefas de raciocínio, logo, o termo IA é usado quando uma máquina simula funções que os humanos associam a outras mentes humanas, como aprendizado e resolução de problemas (CIOFFI,2020).

No século 21, por oferecer uma enorme vantagem competitiva, a IA se tornou uma importante área de pesquisa em todos os campos: engenharia, ciência, educação, medicina,

negócios, contabilidade, finanças, marketing, economia, mercado de ações e direito, entre outros (HALAL, 2003). Ademais, o alcance da IA cresceu enormemente, uma vez que a inteligência das máquinas com recursos de aprendizado de máquina criou impactos profundos nos negócios, governos e sociedade (OKE, 2008).

De acordo com Hinojo-Lucena (2019), quando a técnica de inteligência artificial é desenvolvida e aplicada na educação, esses sistemas e técnicas podem ser poderosos recursos para a melhoria do processo ensino-aprendizagem, uma vez que são capazes de gerar uma espécie de professor virtual totalmente formado e com características humanas, mas capaz de interagir de forma ubíqua.

Um sistema de IA é desenvolvido para obter e codificar regras e fatos suficientes para exercer domínio sobre um problema. Este processo de compilação é denominado engenharia do conhecimento (SCHUTZER, 1986).

2.1.8 Internet of Things (IOT)

O termo *Internet of Things* (IOT) ou Internet das coisas, em português, é usado com a ideia de integrar objetos físicos e virtuais em redes conectadas à *internet* possibilitando a coleta, troca e armazenagens de dados que, após serem processados e analisados, geram informações que possam aprimorar o relacionamento entre os humanos com os objetos e máquinas (ASHTON, 2009).

A Internet das coisas compreende a comunicação de sistemas inteligentes usando um endereço IP, criando um sistema de dispositivos de computação inter-relacionados, objetos, máquinas mecânicas e digitais, animais ou pessoas que são fornecidos com identificadores únicos e têm a capacidade de transferir dados por meio de uma rede sem a necessidade de interação humano-humano ou humano-computador (ANDERL, 2014).

De acordo com Giusto et al. (2010), a IOT permite que coisas e objetos, como sensores, atuadores e telefones celulares, interajam entre si e cooperem com os componentes inteligentes ao seu redor para alcançarem um objetivo comum. A aplicação da IOT nas indústrias pode ocorrer em várias áreas, inclusive por meio da interação com a computação em nuvem. Seu uso

é frequente no setor industrial/manufatura, no ramo da construção de cidades inteligentes, no setor de transportes, no comércio e também em áreas da saúde (GIUSTO et al., 2010).

De acordo com o modelo de maturidade de Indústria 4.0 da ACATECH, a integração de objetos físicos e virtuais por meio da internet é importante para a elevação do nível de maturidade de uma empresa. Porém, antes de aplicar as medidas necessárias visando alcançar o estágio inicial do modelo, a informatização, é necessário que os seus processos estejam enxutos, ou seja em consonância com os princípios do *Lean Manufacturing* (SCHUH et al., 2017).

2.2 Modelo de Maturidade ACATECH

A Academia Nacional de Ciências e Engenharia Alemã - ACATECH, reconheceu, por meio de estudos e projetos que tanto na área de negócios como na política existem enormes oportunidades de melhorias fornecidas pela digitalização, interconectividade e tecnologias de manufatura (SCHUH et al., 2017). Ainda de acordo com os autores, esses fenômenos podem criar novos modelos de negócio, auxiliar no uso sustentável e eficiente de recursos limitados e produzir produtos altamente customizados por um ótimo custo-benefício. Todos esses fatos estão ligados ao termo Indústria 4.0, fenômeno capaz de transformar a indústria, tornando-a cada vez mais ágil e flexível.

Conforme explicado no subcapítulo 2.1, a Indústria 4.0 tem como objetivo alcançar uma maior eficiência da cadeia de valor por meio inovações mais rápidas nos processos de manufatura (BEN-DAYA et al., 2019). Por isso, a quarta revolução industrial foca na automação do fluxo de processos, permitindo assim uma personalização e flexibilidade de produtos e serviços aumentando o potencial lucrativo de uma organização (SCHMIDT et al., 2015).

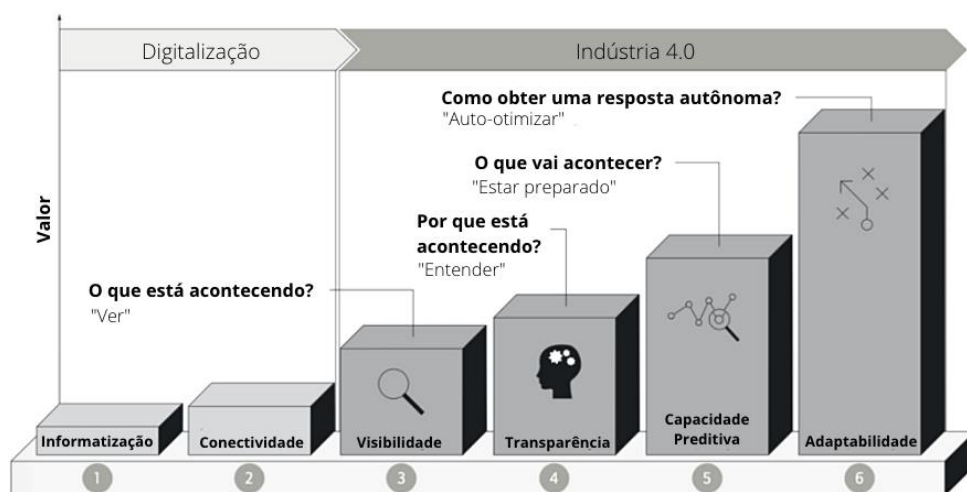
Entretanto, o estudo da ACATECH (2017) afirma que a I4.0 não é somente uma questão de conectar máquinas, equipamentos, produtos e serviços por meio da internet. O uso de novas tecnologias e a aquisição de conhecimento por meio do processamento de informações é capaz de conduzir uma organização para um novo tipo de trabalho e formas de trabalhar. Porém, para isso é necessário realizar mudanças na estrutura das companhias e em suas relações com outras companhias.

Assim, os autores reforçam que não é justo enxergar o desenvolvimento da quarta revolução industrial apenas por uma perspectiva tecnológica, visto que as companhias também precisam transformar sua organização e cultura para se tornarem indústrias 4.0. As tecnologias tornam possível acessar muitos mais dados, mas a habilidade para aproveitar o potencial secundário desses dados depende da cultura e estrutura organizacional de uma companhia. Por isso, a habilidade para analisar a cultura anterior de uma empresa e o seu padrão de pensamento crítico representa o sucesso da implementação de I4.0 (SCHUH et al., 2017).

O estudo de Schuh et al. (2017) foi realizado, por meio de uma série de projetos desenvolvidos pelos autores, visando de prover informação e orientação futura para a sociedade. Dessa forma, foi possível criar um guia prático para desenvolver uma estratégia individual de implementação da I4.0 que esteja alinhada com o modelo de negócio de determinada organização, chamado de *Industrie 4.0 Maturity Index* ou, em português, Índice de Maturidade de Indústria 4.0. Assim, o objetivo final desse modelo de maturidade é que uma organização se torne inteligente, ágil e capaz de realizar aprendizado contínuo em um ambiente de mudanças.

O modelo faz a sugestão de seis estágios para o correto desenvolvimento do processo de transformação, conforme evidenciado na figura 5. Cada estágio desenvolve as capacidades necessárias para avançar ao próximo, seguindo uma jornada de transformação contínua que deve ser respeitada e definida, buscando um equilíbrio entre custo e benefício, e tendo em mente o objetivo alvo de cada companhia. Os estágios são descritos a seguir.

Figura 5 – Estágios de desenvolvimento para a I4.0.



2.2.1 Estágios do Modelo ACATECH

2.2.1.1 Estágio 1: *Computerisation* ou Informatização

O primeiro estágio no caminho de desenvolvimento é a Informatização visto que este fornece a base para a etapa de Digitalização. Nesse estágio, diferentes informações e tecnologias são usadas isoladamente dentro da companhia. A Informatização é usada para realizar tarefas repetitivas de forma mais eficiente, sendo capaz de agregar benefícios importantes, permitindo assim que a produção fique mais barata e siga uma padronização precisa e segura.

2.2.1.2 Estágio 2: *Connectivity* ou Conectividade

No segundo estágio, o uso isolado das tecnologias de informação, como acontecia no primeiro estágio, é substituído por componentes conectados. Aplicações de negócios são usadas e conectadas entre si para refletir os principais processos das empresas. Nesse estágio, partes dos sistemas de tecnologia operacional (TO) fornecem conectividade e interoperabilidade, mas a integração total dos sistemas de informação e de operação ainda não está consolidada.

Uma das aplicações práticas dos recursos de conectividade pode ser vista em algumas fábricas, onde encontramos máquinas com 50 anos, ou mais, que ainda estão em uso no chão de fábrica, porém não geram dados de produção. Por meio da conectividade do Protocolo de Internet e com o uso da tecnologia de sensores é possível realizar uma comunicação padronizada entre os sistemas e as máquinas para que estas forneçam dados de produção.

2.2.1.3 Estágio 3: *Visibility* ou Visibilidade

O terceiro estágio é responsável por fornecer visibilidade de informações que foram captadas por meio de aquisição de dados e tecnologia de sensores. Porém, as informações não se restringem aos dados da produção, pois também incluem dados de toda a companhia que são fornecidos aos integrantes de toda a cadeia de valor por meio do *Big Data*. Para o

desenvolvimento desse estágio de maturidade, é importante que os sistemas de planejamento de recursos (ERP), sistemas de execução de manufatura (MES) e os sistemas de gestão do ciclo de vida do produto (PLM) estejam integrados.

Nesse estágio é importante criar uma sombra digital da empresa. A sombra digital ajuda a mostrar o que está acontecendo na empresa em um determinado momento para que as decisões de gestão possam ser baseadas em dados reais. É, portanto, um bloco de construção central para os estágios posteriores.

2.2.1.4 Estágio 4: *Transparency* ou *Transparência*

O estágio de Transparência consiste no entendimento dos dados e problemas que possam estar acontecendo e usar essa informação para produzir conhecimento por meio de análises de causa raiz. Para identificar e interpretar as interações na sombra digital, os dados capturados devem ser analisados por meio da aplicação de conhecimentos de engenharia. A vinculação semântica e a agregação de dados para criar informações e a contextualização correspondente fornecem o conhecimento do processo necessário para dar suporte à uma tomada de decisão rápida e complexa.

Sistemas de mineração de dados, simulações e de análise de probabilidade são frequentemente usados nesse estágio. A transparência quanto às interações relevantes pode, por exemplo, ser utilizada para realizar o monitoramento de condições de máquinas e equipamentos, dados informacionais de vendas, estoques e outras informações relevantes para a organização. A transparência é, portanto, um requisito para a manutenção preditiva.

2.2.1.5 Estágio 5: *Predictive Capacity* ou *Capacidade Preditiva*

Ao atingir o estágio de capacidade preditiva, a empresa consegue simular diversos cenários futuros e identificar os mais prováveis. Isso envolve projetar a sombra digital no futuro a fim de representar uma variedade de cenários que podem então ser avaliados em termos da probabilidade de ocorrerem. Como resultado, as empresas são capazes de antecipar

desenvolvimentos futuros para que possam tomar decisões e implementar as medidas adequadas em tempo útil.

Após atingir esse estágio, os impactos negativos serão minimizados visto que os eventos inesperados causados por interrupções ou variação de planejamento serão reduzidos, permitindo uma operação mais robusta do negócio. A Capacidade Preditiva possibilita, por exemplo, sinalizar problemas logísticos recorrentes, como falha de transportadora, antes mesmo de ocorrerem, para que possam ser evitados, neste caso, por meio da troca da transportadora. Além disso, as capacidades conquistadas nesse estágio se tornam um requisito fundamental para ações e tomadas de decisão automatizadas.

2.2.1.6 Estágio 6: *Adaptability* ou Adaptabilidade

O último estágio de desenvolvimento se define por uma adaptação contínua, permitindo que uma empresa delegue certas decisões aos sistemas de TI para que possa se adaptar a um ambiente de negócios em constante mudança da forma mais ágil possível.

O grau de adaptabilidade conquistado por uma organização, depende da complexidade das decisões e do custo-benefício de sua implementação. Dessa forma, a viabilidade de executar operações repetitivas de forma autônoma deve ser investigada. Frequentemente, é melhor apenas automatizar processos individuais, sendo importante avaliar os riscos de automatizar aprovações e reconhecimentos para clientes e fornecedores.

O objetivo da Adaptabilidade é alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados da sombra digital para tomar decisões que tenham os melhores resultados possíveis no menor tempo possível e implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem ajuda humana.

2.2.2 Áreas Estruturais, Princípios e Capacidades de Transformação

O modelo de maturidade define quatro áreas estruturais: recursos, sistemas de informação, cultura organizacional e estrutura organizacional. Conforme descrito no quadro 1, cada área

contém dois princípios fundamentais e cada princípio introduz suas respectivas capacidades de transformação que são requisitos responsáveis pelo desenvolvimento da I4.0.

Quadro 1 – Áreas estruturais, princípios e capacidades de transformação (continua)

ÁREA ESTRUTURAL	PRINCÍPIO FUNDAMENTAL	CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO
1. RECURSOS	Capacidade digital	Prover competências digitais
		Aquisição automatizada de dados por meio de sensores e atuadores
		Processamento descentralizado de dados por meio de sistemas embarcados
	Comunicação estruturada	Comunicação eficiente
Projeto de interfaces baseado em tarefas		
2. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	Auto aprendizado no processamento de informação	Análise automatizada de dados
		Entrega de informação contextualizada
		Interfaces adaptadas às tarefas específicas
		Construir uma infraestrutura de TIC resiliente e implementar armazenagem de dados baseada no contexto
	Integração dos sistemas de informação	Integrar os sistemas de informação de forma vertical e horizontal
		Padronizar as interfaces de dados
		Implementar governança de dados
		Atualizar e aumentar a proteção de dados

Quadro 1 – Áreas estruturais, princípios e capacidades de transformação (conclusão)

ÁREA ESTRUTURAL	PRINCÍPIO FUNDAMENTAL	CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO
3. CULTURA ORGANIZACIONAL	Abertura para mudança	Reconhecer o valor dos erros
		Abertura para inovação
		Aprendizado baseado em dados e tomada de decisão
		Desenvolvimento profissional contínuo
		Responsividade à mudança
	Colaboração social	Estilo de liderança democrático
		Comunicação aberta
		Confiança nos processos e nos sistemas de informação
	4. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL	Organização interna orgânica
Gerenciamento sobre os níveis de autonomia de decisões		
Sistema de metas motivadoras		
Gerenciamento ágil		
Colaboração dinâmica ao longo da cadeia de valor		Foco nos benefícios para o cliente
		Cooperação na rede de valor

Fonte: Schuh et al. (2017)

No quadro 1, foram apresentadas as áreas estruturais, princípios fundamentais e capacidades de transformação a serem desenvolvidas para que uma organização eleve seu nível de maturidade.

Conforme demonstrado na primeira linha do quadro, a primeira área estrutural corresponde aos recursos de uma organização. De acordo com o modelo, os recursos se referem, primeiramente, a recursos físicos tangíveis, como a força de trabalho de uma empresa (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final. Entretanto, a

força de trabalho deve possuir certas competências para aproveitar ao máximo as informações capturadas (SCHUH et al., 2017).

Além disso, os autores afirmam que as empresas devem tentar garantir que seus recursos tenham uma interface entre o mundo físico e o digital a fim de criar um ponto de vista da informação no mundo digital (a sombra digital) que facilita o processo de aprendizagem necessário para aumentar a agilidade da empresa.

Na área estrutural de recursos estão presentes dois princípios fundamentais, o primeiro é descrito por um conjunto de requisitos básicos para o trabalho e a aprendizagem baseados em informações que é chamado no modelo de Capacidade Digital. Este princípio é interpretado pela coletividade de ações capazes de gerar e analisar dados e implementar decisões correspondentes. Por isso, é importante que os recursos existentes em uma organização, ou seja, todo o corpo funcional, máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais e produtos adquiram certas competências ou sejam atualizados de acordo com os seus componentes tecnológicos relevantes.

No princípio de capacidade digital estão presentes três capacidades de transformação defendidas pelo modelo da ACATECH, são elas:

1. Prover competências digitais: os funcionários de uma indústria devem estar cada vez mais envolvidos com os processos de inovação e domínio das ferramentas de trabalho para desenvolver responsabilidades individuais para tomadas ágeis de decisão.
2. Aquisição automatizada de dados por meio de sensores e atuadores: os dados provenientes dos processos produtivos de uma indústria devem ser coletados por meio do uso de sensores e atuadores.
3. Processamento descentralizado de dados por meio de sistemas embarcados: os dados de uma indústria devem ser processados por sistemas embarcados descentralizados para reduzir atrasos na propagação de sinal, permitindo que cálculos críticos de tempo possam ser realizados mais rapidamente.

O segundo princípio da área estrutural de recursos é a Comunicação Estruturada, este defende o uso da tecnologia de comunicação para criar redes temporárias permitindo assim que os recursos interajam uns com os outros por meio de um processo que visa a otimização. O princípio citado possui duas capacidades de transformação:

1. Comunicação eficiente: a comunicação entre os funcionários de uma indústria deve ser sempre documentada de forma rastreável, livre de redundância e disponibilizada atendendo às necessidades das partes interessadas.
2. Projeto de interfaces baseado em tarefas: os sistemas de assistência de tarefas de uma indústria devem conter soluções de identificação automática, permitindo o reconhecimento direto de pessoas, objetos e seus atributos.

O nível de maturidade da I4.0, de acordo com o Índice de Maturidade da ACATECH, se baseia em sua capacidade de mudança e adaptação contínua. Logo, as quatro áreas estruturais representam o reflexo dos seis níveis de desenvolvimento. Por esse motivo, para que ocorram transformações em uma empresa e seja alcançado um nível mais alto de maturidade, é necessário que as 4 áreas estruturais também atinjam este nível.

Dessa forma, considera-se que as medidas de desenvolvimento são assimiladas e implementadas por toda a organização. Mesmo que os sistemas de informação de uma organização estejam bem desenvolvidos e dispondo de tecnologias avançadas para capacidade preditiva, por exemplo, é necessário habilitar sua estrutura organizacional a fim de executar as decisões provenientes das previsões gerando ações sucessíveis para a implementação da solução.

2.2.3 Aplicação do Modelo de Maturidade ACATECH

O estudo de Schuh et al. (2017) criou também um guia que pode ser usado como técnica de aplicação prática. Esta é capaz de prover os fundamentos teóricos para que outras companhias, seja do setor industrial ou de serviços de consultoria, desenvolvam capacidades adequadas à sua realidade e ao mercado em que atuam.

O uso deste guia inclui uma abordagem de três estágios:

1. Identificação do atual estágio de maturidade de Indústria 4.0
2. Identificação de capacidades que requerem desenvolvimento
3. Identificando medidas concretas

O primeiro se baseia na correta identificação do estágio atual de maturidade nas diferentes áreas estruturais, por meio de entrevistas ou aplicações de questionários, que

relacionam a capacidade de conversão de cada área estrutural a um determinado nível de maturidade.

O segundo estágio é onde a organização define o estágio de maturidade que pretende atingir ao final do processo de transformação de acordo com a estratégia interna da empresa. Dessa forma, ela é capaz de analisar a lacuna entre sua situação atual e o objetivo que está perseguindo, bem como as capacidades necessárias para atingir o nível de maturidade almejado.

Por fim, o terceiro estágio foca em definir ações para que a organização desenvolva e incorpore as capacidades necessárias para atingir o nível de maturidade desejado por meio da formulação de um *development roadmap*, ou em português, um roteiro de desenvolvimento. Neste roteiro, estão contidas as medidas de desenvolvimento para a organização que foram formuladas de acordo com os dois estágios anteriores.

2.2.3.1 Exemplo de Aplicação do Modelo de Maturidade ACATECH em uma organização

Em uma nova publicação a ACATECH apresentou resultados diante da aplicação de seu modelo. Dessa forma, o modelo pôde ser validado em uma empresa chamada Harting que fabrica conectores industriais, tecnologia de conexão de dispositivo e componentes de rede. A sede da empresa está localizada na cidade de Espelkamp, na Alemanha, local onde está localizada sua maior fábrica. Em 2016, a Harting empregava cerca de 4.300 pessoas em um total de 43 empresas de vendas e 13 fábricas (SCHUH et al., 2020).

A empresa elaborou um inventário detalhado dos processos em todas as áreas funcionais relevantes. Além de entrevistas com especialistas nas áreas funcionais individuais, foi realizada uma visita ao local durante o processo de confecção de um produto padrão. Nessa oportunidade o processo foi demonstrado de modo que as interações entre os diferentes departamentos e a disponibilidade de informações no chão de fábrica pudessem ser avaliadas.

A Harting já havia realizado investimentos relativos à Indústria 4.0, especialmente em suas instalações de manufatura. A atualização de sua infraestrutura de TI nos últimos anos e o fornecimento sistemático de *feedback* do chão de fábrica possibilitaram a criação de um modelo digital do ambiente de produção nos sistemas de informação da empresa. Dessa forma, projetos-piloto individuais em diferentes áreas de produção estão gerando um entendimento profundo

da tecnologia. A empresa também aprendeu muito com o processo de integração desses projetos-piloto aos processos operacionais existentes. Um exemplo relevante de um dos projetos-piloto envolve a detecção automática da condição dos cortadores de molde usando o som transmitido pela estrutura.

A avaliação concluiu que a empresa atingiu o terceiro estágio de maturidade (Visibilidade) devido à implementação dos projetos pilotos na cadeia de valor e à existência de um modelo digital desenvolvido pela companhia. Além disso, foram formuladas medidas para garantir que todos os aspectos desse estágio de maturidade atingissem um nível consistente antes de propor medidas para ajudar a empresa a atingir o próximo estágio de maturidade.

O roteiro desenvolvimento da Harting continha mais de 30 medidas a serem tomadas em diferentes áreas funcionais da empresa com o objetivo de atingir o estágio de maturidade 4 (Transparência). Entretanto, medidas para atingir os níveis de maturidade 5 e 6 não foram incluídas no roteiro atual, visto que essas ações serão integradas aos resultados de uma avaliação posterior.

Tal conduta está pautada no princípio de que antes de buscar a evolução para um nível de maturidade mais elevado, a organização deve garantir que todos os aspectos do estágio atual estejam consolidados e bem desenvolvidos. Ou seja, todos os processos do estágio atual de uma indústria devem estar enxutos, otimizados e, conseqüentemente, de acordo com os princípios do *Lean Manufacturing* (SCHUH et al., 2017).

2.3 Lean Manufacturing

O cenário crítico do Japão no final da II Guerra Mundial afetou diretamente o desenvolvimento das empresas japonesas. Neste contexto, a Toyota, uma das principais empresas automobilísticas do Japão, se encontrava inserida em uma conjuntura bastante desafiadora. Os autores Womack, Jones e Ross (2004) destacam que os principais problemas enfrentados na época eram: mercado limitado, com uma vasta demanda por veículos; aumento das leis trabalhistas introduzidas pela ocupação norte-americana, que reforçou o poder de barganha dos sindicatos; a economia devastada que impedia a compra de tecnologias mais recentes e produtores externos de veículos motorizados que buscavam operar no Japão e evitar exportações japonesas.

Por outro lado, a proibição pelo governo japonês dos investimentos externos diretos na indústria automobilística japonesa, beneficiou a Toyota para conquistar um espaço no ramo. Além disso, o engenheiro japonês, Eiji Toyoda, realizou algumas visitas na fábrica Rouge da Ford, em Detroit. Ao retornar ao Japão, Eiji concluiu que seria possível aprimorar o sistema de produção observado e junto com Taichi Ohno, o principal engenheiro de produção da Toyota, concluíram que a Produção em Massa não funcionaria se aplicada no Japão. Desse início experimental nasceu o que a Toyota veio a chamar de Sistema de Produção Toyota (SPT) e, finalmente, *Lean Manufacturing* também conhecida como Produção Enxuta.

Por volta de 1950, o LM surgia como alternativa às dificuldades financeiras que atingiam o Japão no período pós-guerra (OHNO, 1997). A nova abordagem adotada objetivava a eliminação de desperdícios e ficou conhecida no Brasil por Womack e Jones (2004) com o livro “A Máquina que Mudou o Mundo”. O sistema de produção LM tornou-se conhecido no ocidente somente a partir da década de 1970, devido à primeira crise do petróleo, que chamou a atenção sobre a indústria japonesa e assim por uma primeira vez, os líderes executivos das indústrias ocidentais tomaram conhecimento dos resultados que a Toyota estava desenvolvendo com a sua infatigável busca à eliminação dos desperdícios (WOMACK e JONES, 2004).

Dessa época em diante, a Toyota carregou o título de referência no ramo produtivo automobilístico por meio do novo sistema de gerenciamento e produção implementado, o LM (Amasaka, 2002). Posteriormente, o *Lean Manufacturing*, no decorrer da década de 80, chamou a atenção quando ficou claro que havia algo de diferente na eficiência e qualidade da indústria de produção de automóveis japonesa. Porém, o LM vai muito além de sua aplicação automobilística (Liker, 2005).

De acordo com Benders (2004), a reputação em rapidez e qualidade da gigante de produção automobilística japonesa é motivada pela aplicação do SPT, principalmente devido ao avanço do processo de desenvolvimento de produtos no mundo. Ademais, a área de serviços alcançou níveis superiores de competitividade e eficiência devido aos princípios enxutos utilizados pela Toyota (Arbós, 2002).

Godinho (2004) afirma que existem várias definições para a Manufatura Enxuta e que Womack e Jones (2004) denominam o Sistema de Produção Toyota de Manufatura Enxuta e definem como uma abordagem que procura uma maneira de gerenciar o relacionamento de uma empresa com os seus stakeholders, além de organizar os processos operacionais e de

desenvolvimento de produtos, onde seja possível fazer cada vez mais com menos, utilizando menos equipamentos, menos esforço humano e menos tempo.

O LM possui dois métodos alternativos de organização de produção: o primeiro método é o de produção empurrada, que pode ser explicado por:

“... Processamento de grandes lotes de produtos em um ritmo máximo, com base em previsão de demanda, movimentando esses lotes para o processo seguinte, fluxo abaixo, sem levar em conta as variações do processo seguinte.” (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003).

O segundo método, chamado de produção puxada, consiste no:

“... controle da produção em que as atividades de fluxo abaixo avisam às atividades fluxas acima sobre suas necessidades...” (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003).

A produção puxada busca eliminar a produção em excesso, deixando o processo mais enxuto, base do Lean Manufacturing.

Em consonância com os autores Hayes (1982) e Krafcik (1988), décadas atrás, o conceito de Produção Enxuta era visto como uma forma alternativa ao modelo de manufatura tradicional e, no contexto atual, é um modelo indiscutível para as operações. Dessa forma, a sua influência pode ser amplamente encontrada tanto em estratégias das empresas de manufatura como de serviços (KATAYAMA e BENNETT, 1996).

Por isso, na última década a literatura documentou a implantação da Produção Enxuta, que foi implementada em vários setores industriais no ocidente. Assim, o *Lean Manufacturing* teve sua prática popularizada no ramo da produção industrial, o que tornou as indústrias, principalmente do setor automotivo, mais competitivas (MARUDHAMUTHU e KRIDHNASW, 2012). Visto que o LM visa otimizar a produção e o uso de recursos ao longo de toda a cadeia produtiva e gera resultados positivos, o mesmo auxilia na eliminação das atividades não agregadoras de valor para as empresas (CORBETT e KLASSEN, 2006).

O termo “produção enxuta” recebeu essa nomenclatura pois o foco dessa técnica é fazer mais com menos por meio da diminuição dos desperdícios (WOMACK E JONES, 2004). De acordo com os referidos autores, o desperdício é toda e qualquer atividade humana que utiliza recursos, porém não cria valor.

De acordo com Suzuki (1987), o desperdício também pode ser interpretado como qualquer quantidade de materiais, peças, equipamentos, tempo de serviço e espaço que ultrapassam o mínimo necessário para garantir a agregação de valor ao produto. Em 1997, Taichi Ohno abordou os sete tipos de desperdício:

1. Superprodução: é interpretada como a perda mais prejudicial, pois é a mais difícil de ser eliminada e tem a capacidade de diminuir a visibilidade das outras perdas e gerar estoques desnecessários. O desperdício de superprodução pode ser classificado em duas classes:
 - a. Superprodução por quantidade: produzir além do volume necessário;
 - b. Superprodução por antecipação: produzir antecipadamente à demanda.
2. Espera: longos períodos de ausência, inatividade e ociosidade de pessoas, bens ou informações que podem gerar fluxos maiores impactando no aumento do *lead time* que é o tempo entre o momento que o consumidor faz o pedido até o de seu recebimento;
3. Transporte: desperdício causado por movimentação excessiva de materiais que não agrega valor ao produto e podem comprometer sua qualidade.
4. Processamento: uso inadequado das ferramentas, sistemas ou procedimentos quando se pode realizar uma aproximação mais simples e efetiva.
5. Estoque: excesso de armazenamento e falta de informação ou produtos, acarretando baixa performance do serviço prestado ao cliente e custos excessivos.
6. Movimentação: falta de ordem e organização do ambiente de trabalho, resultando em perda frequente de itens ou equipamentos e posicionamento inadequado de peças e máquinas que geram movimentação desnecessária.
7. Defeitos: erros frequentes no processamento de informação e problemas na qualidade do produto ou baixo desempenho na entrega.

À luz do exposto, neste estudo, serão apresentadas as técnicas do *Lean Manufacturing* mais importantes para o escopo do trabalho e que são mais efetivamente utilizadas para eliminação de desperdícios nas organizações, incluindo o *Kanban* e o Diagrama de Ishikawa.

2.3.1 Kanban

O Kanban é uma técnica do LM usada para implementar a produção puxada e promover um fluxo de material contínuo com processos livres de desperdício, enquanto mantém um nível de estoque predefinido para garantir o fornecimento ininterrupto de material. Por meio do Kanban, é possível realizar monitoramento adequado da quantidade de materiais fornecidos à linha de produção, bem como mudanças no cronograma de produção (MAYR et al., 2018; SANDERS et al., 2016).

A aplicação do Kanban ocorre por meio de um sistema de movimentação de cartões coloridos que norteia a disponibilização de materiais entre estações de trabalho em uma linha de produção. Um fornecedor só deve entregar peças para a linha de produção quando e conforme a necessidade, de forma que não haja armazenamento de peças na área de produção, que é a necessidade básica do sistema Kanban (GUPTA e JAIN, 2013).

Em estudo realizado por Abdulmalek e Rajgopal (2007), um sistema Kanban foi gerado para substituir um sistema de produção empurrado por um sistema puxado. Os autores desenvolveram um modelo de simulação para mostrar as condições antes e depois da implementação de um sistema Kanban. Durante a análise, uma grande quantidade de estoques de trabalho em processo e menor tempo de valor agregado foram percebidos, revelando os principais pontos fracos da organização analisada e o sistema Kanban desempenhou um papel vital em melhorar o fluxo de produção.

Diante do exposto, pode-se concluir que o Kanban é uma técnica ágil e visual que visa evitar perda de informações, facilita a comunicação da equipe, organiza o cronograma do processo de produção reduzindo assim os custos e desperdícios de um processo produtivo.

2.3.2 Diagrama de Ishikawa

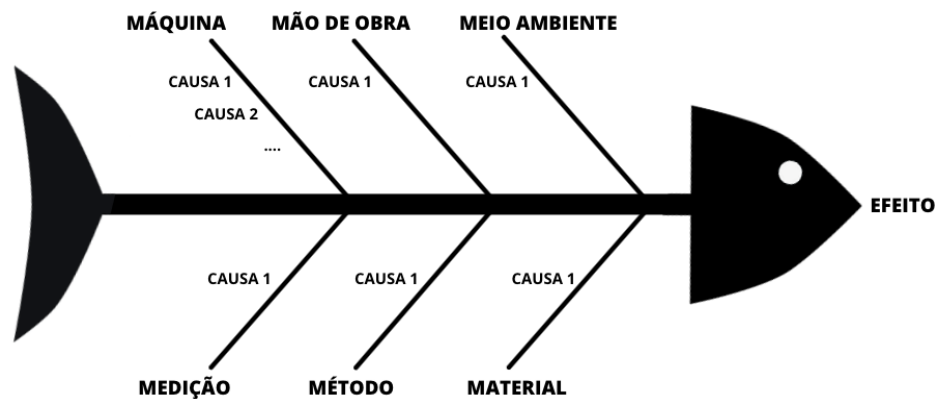
O Diagrama de Ishikawa é uma técnica visual do LM muito importante para garantir a qualidade dos processos de uma organização. De acordo com Falconi (1989), o diagrama contribui para a melhoria da qualidade gráfica utilizada para o gerenciamento e o controle em diversos processos.

Ainda de acordo com o autor, esta técnica permite definir, seguindo uma hierarquia, as causas de certo problema e o foi projetada para representar as causas que afetam um processo de forma clara, por meio da classificação e relação das causas. Ademais, por meio do diagrama é possível compor um sistema que fornece uma melhor compreensão e visualização do conteúdo. Ou seja, o mesmo proporciona uma visão holística e minuciosa sobre o assunto estudado (FALCONI, 1989).

O Diagrama de Ishikawa também é chamado de Diagrama de Causa e Efeito, pois esta técnica permite que sejam analisados uma série de fatores de um processo a fim de descobrir as causas sobre um determinado problema ou efeito que nele esteja ocorrendo (MIGUEL, 2006).

Este diagrama também ficou conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe devido ao seu formato que imita a estrutura de um vertebrado aquático, conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6 – Representação do Diagrama de Espinha de Peixe



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Por meio da observação da estrutura do diagrama na figura 6, podemos perceber que as causas dos problemas são analisadas sob seis possíveis agentes, sendo eles, máquina, mão de obra, meio ambiente, medição, método e o material. Por meio dessa análise é possível mapear as causas dos problemas, ou seja, o que causa efeitos indesejados no processo (CARPINETTI, 2012).

Ademais, ainda de acordo com o autor, é importante que mais de uma pessoa participe do processo de preenchimento do Diagrama de Ishikawa para evitar que possíveis informações

sejam omitidas no diagnóstico dos processos. Dessa forma, haverá uma interação coletiva da equipe tornando a análise mais efetiva diante da diversidade de ideias e troca de conhecimento.

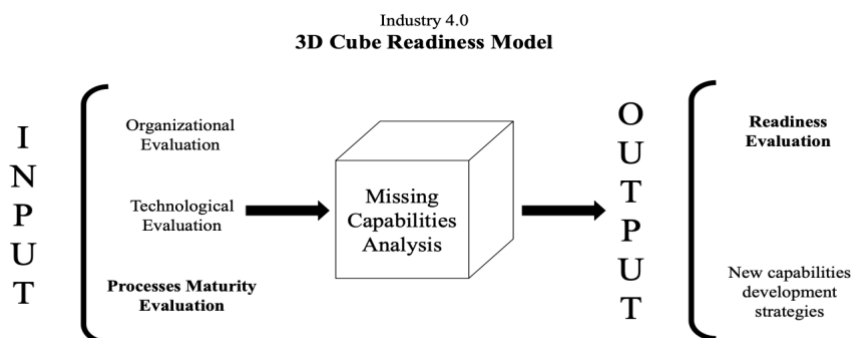
2.4 Modelo de Prontidão: O modelo de cubo 3D

O modelo de cubo 3D surgiu a partir do estudo de diversos modelos de maturidade estudados, onde pode-se perceber que todos os modelos avaliavam a maturidade de uma empresa em relação à Indústria 4.0 com base em diferentes capacitadores e dimensões tecnológicas de uma empresa. Porém, estes não visavam a maturidade como uma dimensão própria (SILVA et al., 2019).

Desta forma, segundo Silva et al. (2021), para desenvolver o modelo de cubo 3D foram consideradas as dimensões dos critérios organizacionais, tecnológicos e, pela primeira vez na literatura, a maturidade dos processos da própria empresa como *input*, conforme exposto na figura 7.

Por meio dessa dimensão inédita de maturidade de processos, o modelo de cubo 3D pode quantificar a maturidade de forma mais completa e em vários níveis, para que a prontidão possa ser medida de forma mais objetiva, ou seja, por meio de uma pontuação vetorial que indica se a empresa está pronta ou não para ingressar na jornada de transformação para a I4.0 (CORRÊA et al., 2021). É importante frisar que o modelo cubo 3D está em construção e o presente trabalho faz parte de sua concepção e dos primeiros testes do modelo, tendo ocorrido em parceria com seus idealizadores.

Figura 7 – Estrutura do modelo de prontidão proposto



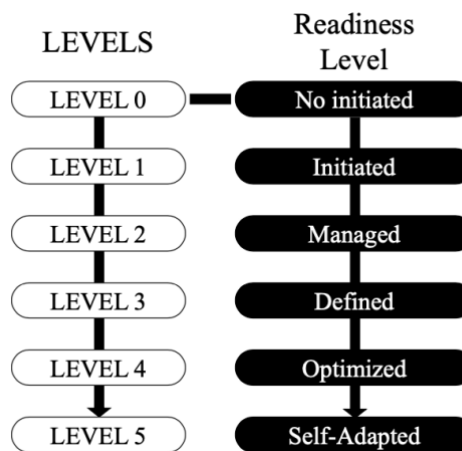
Fonte: Corrêa et al. (2021).

Analisando a figura 7 podemos perceber que o input (entrada) do modelo de prontidão citado é formado pelo conjunto de dados relativos a fatores organizacionais, tecnológicos e maturidade de processos de uma empresa, enquanto o output (saída) é descrito pelo próprio nível de prontidão e estratégias de desenvolvimento de novas capacidades.

2.4.1 Níveis de Prontidão

Os níveis de prontidão do Modelo de Cubo 3D são compostos por seis estágios onde uma organização pode se encontrar e este nível é obtido por meio da análise das dimensões de maturidade de processos, critérios tecnológicos e critérios organizacionais de uma organização. Na figura 8, podemos observar os valores de 0 a 5 de acordo com o nível de prontidão correspondente.

Figura 8 - Níveis de Prontidão para a Indústria 4.0 - Modelo de Cubo 3D



Fonte: Corrêa et al. (2021).

O modelo atribui cada estado de prontidão a um nível específico de acordo com as características de uma organização. Os níveis serão descritos a seguir de acordo com cada estado de prontidão:

1. Nível 0 - Não iniciado: empresa não atende a pelo menos uma das três dimensões de prontidão. Logo, a empresa possui seus processos internos, porém, não tem capacidade para utilizar os conceitos de I4.0. Portanto, a mesma não possui, de forma satisfatória,

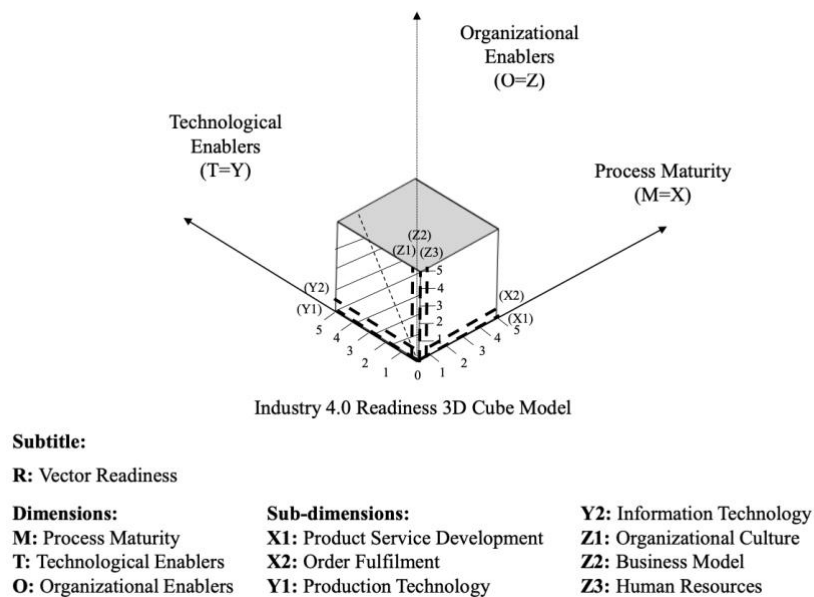
estrutura organizacional, tecnologia e/ou maturidade de processos que a tornam pronta para esta nova realidade. Por isso, a prontidão da empresa é considerada não iniciada.

2. Nível 1 - Iniciado: a empresa cumpre as três dimensões da prontidão, mas não de forma sistemática e gerenciada.
3. Nível 2 - Gerenciado: a empresa planeja ter resultados por meio de capacitadores tecnológicos, organizacionais ou maturidade de processos e aloca recursos, pessoas e infraestrutura, mas não define um processo.
4. Nível 3 - Definido: a empresa planeja melhorar sua performance e construir processos padronizados que devem ser seguidos e mensurados.
5. Nível 4 - Otimizado: a empresa realiza com eficácia a coleta de dados e análise estatística e conseqüentemente a otimização e melhorias de processo são realizadas em conjunto para identificar as causas tecnológicas e organizacionais da variabilidade.
6. Nível 5 - Auto-adaptado: com base no conceito de adaptabilidade, conforme Schuh et al. (2017), a empresa possui um conjunto de tecnologias e processos adaptáveis que permitem a auto-otimização.

2.4.2 As 3 dimensões do Modelo de Cubo

O Modelo de Cubo fornece três dimensões de prontidão e o resultado do seu processo de avaliação é um vetor de prontidão $R = (M, T, O)$, onde **M** corresponde ao indicador de maturidade dos processos, **T** se refere ao indicador dos critérios tecnológicos e **O** condiz com o indicador de critérios organizacionais. Por meio da figura 9, é possível perceber que uma organização possui níveis de prontidão diferentes em cada dimensão, subdimensão e em uma terceira granularidade chamada de elementos.

Figura 9 – Modelo de cubo 3D



Fonte: Corrêa et al. (2021).

Cada dimensão varia de 0 a 5, em seis níveis, onde 0 corresponde a uma organização que ainda não está pronta para se comprometer e se adaptar às mudanças associadas com a evolução rumo à Indústria 4.0. Por outro lado, o nível 5 significa que a mesma está completamente pronta para ingressar na jornada da I4.0. Assim como para as dimensões, cada nível de subdimensão e elemento também varia do 0 ao 5.

2.4.3 Cálculo da pontuação do Vetor de Prontidão da Empresa

A avaliação da prontidão da empresa pode ser realizada por meio de uma autoavaliação ou por entrevista. Porém, o modelo recomenda que na primeira avaliação de uma empresa seja realizada preferencialmente a entrevista para coleta de dados e quando a mesma estiver mais experiente com o processo será possível realizar a autoavaliação.

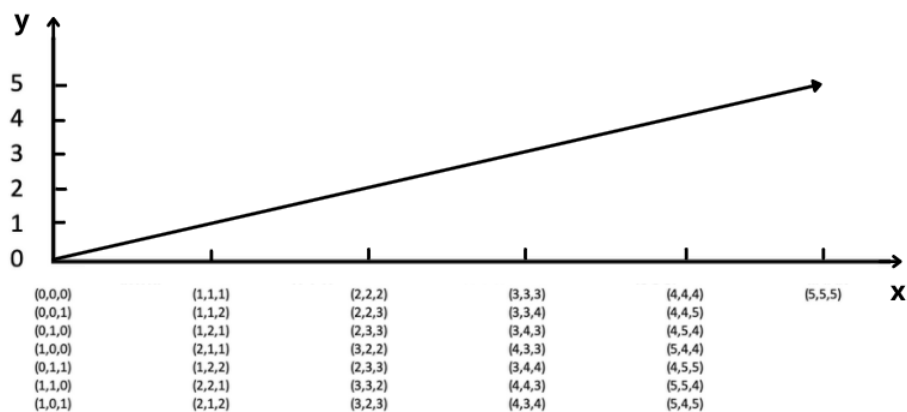
No modelo de cubo 3D, a pesquisa e a avaliação da empresa se concentram primeiramente em cada elemento. Assim, os elementos são avaliados e recebem uma pontuação de 0 a 5. Em seguida, cada subdimensão receberá a mesma pontuação do seu respectivo elemento que obteve a pontuação mais baixa, ou seja, as pontuações de todos os elementos de

uma subdimensão específica serão comparadas e a pontuação mais baixa encontrada será a pontuação da subdimensão.

A mesma lógica para pontuar a subdimensão se aplica para definir a pontuação da dimensão respectiva. Por isso, não é aconselhável que a empresa foque e invista apenas em um elemento, pois os outros elementos não desenvolvidos irão comprometer o nível de prontidão da empresa para a I4.0.

Como o Cubo 3D possui 3 dimensões, ou seja, 3 habilitadores, a pontuação final da empresa será um vetor 3D conforme evidenciado na figura 10. Assim, de acordo com a pontuação final do vetor, é possível definir se a prontidão da empresa está no nível 0, 1, 2, 3, 4 ou 5.

Figura 10 – Gráfico Vetor de Prontidão x Nível de Prontidão



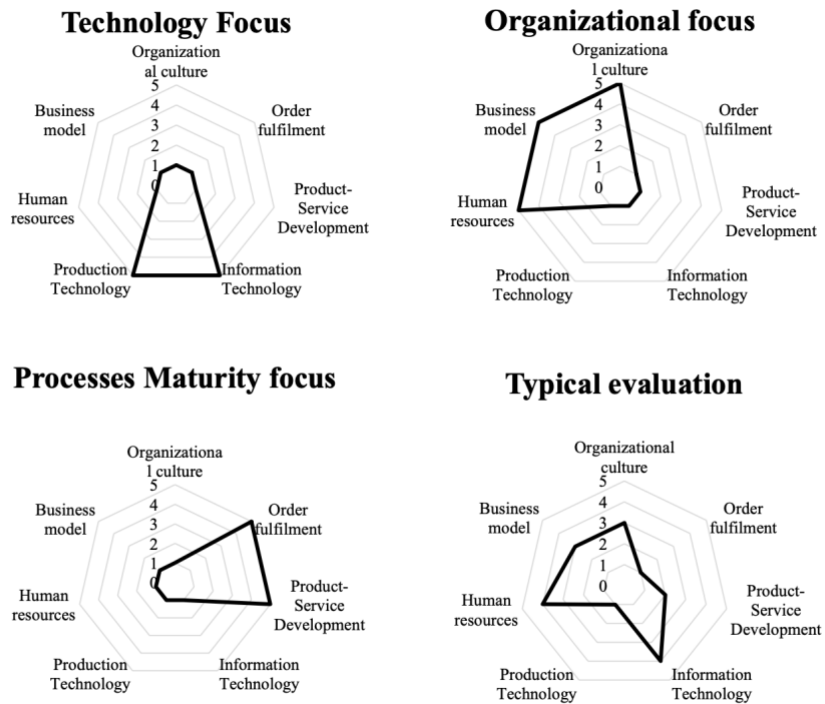
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

De acordo com o modelo de cubo 3D, para avaliar a prontidão de uma empresa deve-se aplicar uma série de perguntas específicas capazes de avaliar cada elemento da organização estudada. Então, com base nas respostas obtidas, cada elemento receberá uma pontuação, conforme o exemplo: Elemento 1: pontuação 3; Elemento 2: pontuação 1, Elemento 3: pontuação 4. Assim, a subdimensão que possui esses três elementos receberá a pontuação 1 (a menor), e a mesma pontuação será atribuída para a dimensão. Portanto, a empresa terá uma pontuação vetorial final (O, T, M), que é o seu resultado final indicando a prontidão para a I4.0.

O modelo ilustra um exemplo prático, plotando o resultado da análise final em um gráfico de radar, conforme a figura 11, pois este tipo de gráfico permite uma visão mais aprofundada das possíveis melhorias a serem implementadas. Por último, os elementos do

modelo podem ser avaliados e podem oferecer uma análise ainda mais profunda e, portanto, soluções de melhoria adequadas. Na figura 11, também são apresentados quatro gráficos: três que demonstram o resultado de organizações que focam em apenas uma das três dimensões avaliadas e um quarto exemplo que distribui seu foco nas três dimensões disponíveis.

Figura 11 - Análise gráfica das subdimensões do modelo de cubo



Fonte: Corrêa et al. (2021).

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Nesta etapa do trabalho será apresentada a metodologia empregada para desenvolver o estudo visando a realização de uma análise de maturidade de I4.0 e a aprimoração de processos de planejamento e controle de produção de uma empresa do ramo de bens de capital.

3.1 Classificação da Pesquisa

A pesquisa pode ser definida por uma busca incessante de aproximação da realidade por meio de uma união entre dados e teoria (MINAYO, 1993). Ainda de acordo com a autora, uma pesquisa pode ser segmentada diante de várias perspectivas: podendo ser classificada de acordo com sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos.

Baseado na classificação de pesquisa proposta pelas autoras Da Silva e Menezes (2011), o presente estudo possui natureza aplicada, visto que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. A abordagem pode ser definida como qualitativa, pois considera que existe uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, ou seja, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.

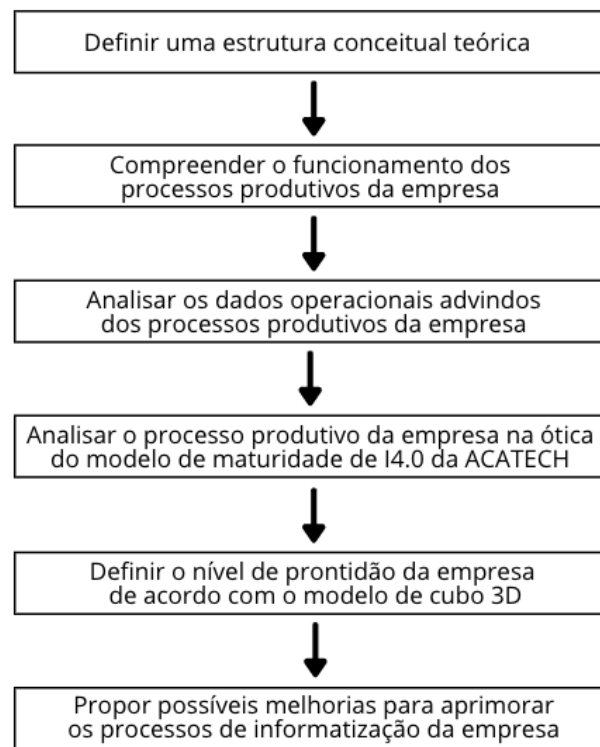
Quanto ao objetivo da pesquisa, este pode ser classificado como exploratório visando proporcionar maior familiaridade com o problema a fim de torná-lo explícito ou construir hipóteses e envolve o levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado. Considerando o procedimento técnico da pesquisa, foi realizado o estudo de caso buscando uma compreensão extensiva e mais objetiva da realidade da empresa observada no estudo.

3.2 Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

Visando atender aos objetivos específicos do trabalho, foi realizada uma avaliação de prontidão para a I4.0 com base no modelo de cubo 3D e também uma análise complementar

para definir o nível de maturidade da empresa estudada pautada no modelo de maturidade de I4.0 da ACATECH. Por fim, foi proposta uma sugestão de melhoria por meio da aplicação de tecnologias da quarta revolução industrial e foi realizado o desenvolvimento de uma planilha de controle de produção para elevar o nível de informatização da indústria. Com base na classificação da pesquisa foi possível estruturar a figura 16 que demonstra as etapas escolhidas para desenvolver o estudo.

Figura 12 – Etapas para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.2.1 Definir uma estrutura conceitual teórica

Para realizar essa etapa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de Indústria 4.0, *Lean Manufacturing*, Modelo de Maturidade I4.0 (ACATECH) e Modelo de Cubo 3D abordando a origem e princípios dos respectivos temas. Foram estudados livros, artigos científicos e trabalhos que tratavam sobre o tema da pesquisa.

3.2.2 Compreender o funcionamento dos processos produtivos da empresa

O objeto de estudo é composto pelos processos produtivos de uma indústria de corte e dobra de metais, desde o recebimento do pedido, planejamento da produção, fabricação do pedido até a entrega do produto para o cliente. Para compreender o funcionamento de cada processo foram realizadas visitas ao chão de fábrica da empresa estudada, preenchidos diagramas de Ishikawa e realizadas entrevistas com o gestor da unidade de produção.

3.2.3 Analisar os dados operacionais advindos dos processos produtivos da empresa

Os dados operacionais da empresa são dados que fazem parte do conjunto de informações transmitidas entre etapas de um processo ou atividades desenvolvidas no cotidiano industrial. Dessa forma, foi necessário entender como eram gerados e armazenados os dados no processo produtivo da empresa estudada para analisar qualitativamente os mesmos. Esse entendimento ocorreu por meio dos questionários aplicados nas entrevistas com o gestor da indústria estudada e pelo preenchimento dos Diagramas de Ishikawa, após observar a operação da linha de produção.

3.2.4 Analisar o processo produtivo da empresa na ótica do modelo de maturidade de I4.0 da ACATECH

Para cumprir com essa etapa da metodologia, foi realizada uma análise qualitativa na empresa estudada com base no modelo de maturidade I4.0 (ACATECH), citado no referencial teórico. Levando em conta as capacidades de transformação defendidas pelo modelo supracitado, foi elaborada uma lista de verificação apresentada no quadro 2. A análise das capacidades presentes na empresa ocorreu por meio da observação das atividades de produção e gestão da Pinheiro Indústria.

3.2.5 Definir o nível de prontidão da empresa de acordo com o modelo de cubo 3D

Nessa etapa da metodologia foi aplicado um questionário com o gestor da Pinheiro Indústria e com base nas respostas pode-se calcular o nível de prontidão da empresa seguindo as orientações do modelo de cubo 3D, conforme citado no item 2.4 da revisão bibliográfica.

3.2.6 Propor possíveis melhorias para aprimorar os processos de informatização da empresa

Após estudar os resultados obtidos por meio das análises qualitativas realizadas, foi indicado pelo autor de como deveria ser gerida a organização e o armazenamento de dados de produção por meio de uma planilha eletrônica desenvolvida no trabalho. Também foi sugerida a aplicação de possíveis tecnologias de I4.0 capazes de elevar o seu nível de maturidade, tomando por base os princípios do *Lean Manufacturing* e o modelo de maturidade da ACATECH.

3.3 Caracterização dos instrumentos de Pesquisa

Etapa do trabalho destinada à apresentação e descrição dos instrumentos utilizados para compor a metodologia da pesquisa realizada. Cada instrumento será caracterizado individualmente e será explicado como se deu a sua aplicação no ambiente da indústria estudada.

3.3.1 Diagrama de Ishikawa

Conforme afirmado no referencial teórico, o Diagrama de Ishikawa é uma técnica essencial para auxiliar na busca da causa de problemas que foram identificados e estão ocorrendo em uma organização. Além disso, a aplicação desta técnica também fornece uma visualização mais ampla de um processo facilitando assim a sua análise.

Por isso, foram elaborados Diagramas de Ishikawa para compreender os processos produtivos da indústria de forma integral por meio de um diagnóstico da máquina, mão de obra, meio ambiente, medição, método e material envolvidos em cada processo.

A fim de elaborar corretamente os Diagramas de Causa e Efeito, foi necessário realizar visitas ao chão de fábrica da indústria, analisar a linha de produção de cada processo e preencher o seu respectivo diagrama. Os diagramas preenchidos no trabalho serão apresentados na seção relativa ao estudo de caso.

3.3.2 Questionário para definir o nível de maturidade

Nesta etapa do trabalho será explicado o funcionamento do questionário para definir o nível de maturidade. O citado questionário foi desenvolvido por professores, alunos e pesquisadores da Universidade de Brasília e da RWTH de Aachen, das áreas de engenharia de produção e mecânica, e consolida o modelo de prontidão desenvolvido pelo grupo. O questionário pode ser aplicado regularmente, por meio de uma entrevista presencial, ou eletronicamente, via Google Forms, plataforma de formulários eletrônicos da Google.

Vale ressaltar que o entrevistado deve colaborar com as respostas e responder todas as perguntas prezando pela veracidade e integridade das informações. Por isso, é muito importante que o entrevistado assuma, de preferência, um cargo de gestão na empresa onde está sendo aplicado o questionário. Dessa forma, o entrevistado irá conhecer todos os processos internos da organização e assim poderá fornecer respostas de qualidade sem prejudicar o resultado do questionário.

O principal objetivo do questionário é identificar o quão preparada uma empresa está para ter sucesso no novo cenário de transformação digital, cultural e organizacional, a Indústria 4.0. Logo, o questionário, que pode ser visualizado no anexo deste documento, é composto por cinco seções e uma série de perguntas objetivas que auxiliam o entrevistador a conduzir a entrevista de modo padronizado e receber respostas claras e bem definidas.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do *locus* do Estudo

Nesta etapa do trabalho serão apresentadas informações importantes sobre o local da pesquisa, ou seja, será descrito o lugar onde foi realizada a pesquisa, o porte da empresa, seu espaço físico, suas instalações e maquinários, número de funcionários e o histórico da organização.

4.1.1 Empresa estudada

A indústria alvo do estudo pode ser descrita por uma empresa de médio porte fornecedora de materiais de construção e especializada nos processos de fabricação de corte e dobra. A empresa, chamada Pinheiro Indústria pertence ao grupo familiar, Ferragens Pinheiro, que iniciou sua formação desde a época da construção de Brasília, mais precisamente no ano de 1960, e foi pioneira no fornecimento de produtos em aço para a construção civil. Com isso, a empresa ajudou a suprir a necessidade de insumos de construção para as principais obras da cidade como os ministérios, a Catedral, o Congresso Nacional, a Praça dos Três Poderes, o Aeroporto de Brasília e o Estádio Nacional.

A empresa trabalha principalmente com produtos de aço manipulados como chapas dobradas e lisas, telas de alambrado, arames, vergalhões, telhas, tubos e também uma linha de artigos para agropecuária e serralheria em suas duas lojas localizadas nas regiões do SIA (Setor de Indústria e Abastecimento) e de Taguatinga da cidade de Brasília DF.

O estudo de caso será realizado na Pinheiro Indústria, que é a empresa responsável pelo abastecimento de produtos de metal de ambas as lojas. A mesma está localizada no setor industrial da Ceilândia, cidade satélite de Brasília, e opera de segunda a sábado, seguindo o horário comercial, em um galpão de 1800 m² de área. O espaço produtivo da organização é equipado com maquinários especializados de corte e dobra como: perfiladeiras, máquinas de dobra para aços planos, estribadeiras, carros de corte, máquinas de corte à plasma e máquinas para confecção de alambrado.

A empresa possui o quadro de funcionários reduzido, contando com apenas seis operários, sendo 1 engenheiro civil, 1 administrador e 4 operadores formados na própria empresa para atender toda a demanda de produção que varia em torno de 150 toneladas de aço por mês. Além dos operários que trabalham no chão de fábrica operando as máquinas semi-automáticas de corte e dobra, a operação é monitorada e comandada pelo gestor da unidade produtiva que é responsável por todos os processos de planejamento e controle da produção, gestão do estoque e gestão da qualidade.

Além disso, cabe destacar que a Pinheiro Indústria produz produtos personalizados para os seus clientes. O processo se inicia com o recebimento de pedidos nas lojas e termina na área de produção da indústria onde as ordens de produção são finalizadas. Entre estas duas etapas os pedidos passam por uma análise do gestor que verifica a viabilidade de execução, fornece um orçamento e, quando necessário, solicita informações adicionais a respeito do pedido.

4.2 Procedimentos para realização do estudo de caso

A fim de atingir ao objetivo geral do trabalho, foi necessário praticar visitas, aplicar entrevistas e enviar de mensagens de comunicação para a empresa estudada. Dessa forma, foram realizadas seis visitas presenciais ao longo do estudo, as mesmas tiveram duração média de quatro horas. As visitas presenciais foram muito importantes para observação e compreensão dos processos na prática, bem como entendimento do cotidiano da empresa nas comunicações realizadas com o gestor durante as visitas.

Em relação as entrevistas, foram aplicadas duas entrevistas presenciais, durante as visitas, e uma entrevista à distancia de modo *online*. Essas foram essenciais para a obtenção de resultados do estudo e contaram com a colaboração do gestor e de outros representantes da empresa que não se opuseram ao fornecimento de informações verídicas da Pinheiro Indústria.

Por fim, pode-se ressaltar que além das comunicações realizadas nas visitas presenciais, foi realizado contato semanalmente com o gestor da empresa por meio do envio de mensagens, via WhatsApp ou via correio eletrônico, para alinhar o desenvolvimento do estudo e sanar dúvidas pontuais que surgiam ao longo do estudo. No total, foram intercambiadas 168 mensagens.

4.3 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após a interpretação dos diagramas preenchidos, avaliações de maturidade realizadas e questionários preenchidos, conforme descrito na metodologia, onde foram apresentados os instrumentos de pesquisa.

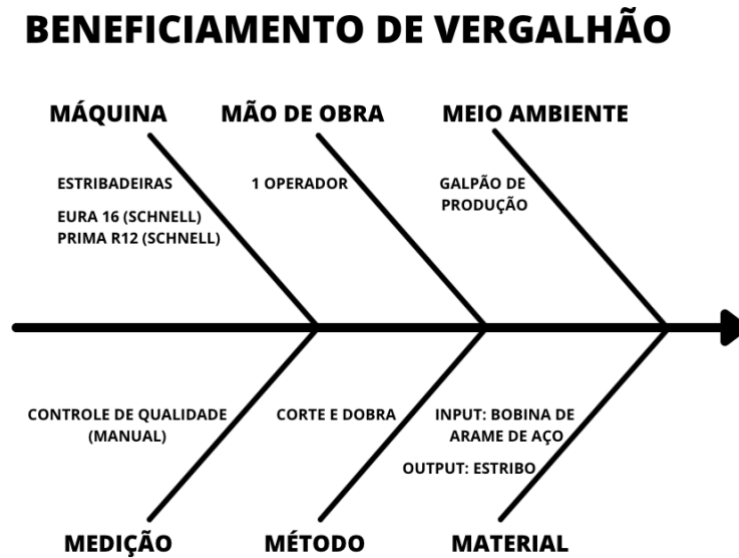
4.3.1 Análise dos Processos Produtivos da empresa

Ao analisar os principais processos produtivos da Pinheiro Indústria, por meio de visitas ao chão de fábrica, entrevistas com o gestor da unidade produtiva e preenchimento dos diagramas de Ishikawa foi possível chegar a conclusões e compreender o total funcionamento da empresa. A seguir serão descritas as conclusões obtidas diante das análises realizadas.

A técnica escolhida para interpretar e realizar o diagnóstico dos processos da empresa, o Diagrama de Ishikawa, foi essencial para o entendimento de cada operação de maneira detalhada e individual. Observando os diagramas de Ishikawa elaborados para os processos de beneficiamento de vergalhão, corte de bitola e perfilação de telha pode-se perceber que todos eram realizados no galpão de produção da empresa estudada com apoio de no máximo 2 operadores para operar as máquinas de corte e dobra envolvidas nas atividades.

O primeiro processo observado na empresa foi o de beneficiamento de vergalhão, realizado por duas máquinas estribadeiras, EURA16 e PRIMAR12 (SCHNELL), gerando um estribo de aço como produto final. Conforme ilustrado na figura 13, pode-se observar o Diagrama de Ishikawa elaborado para o diagnóstico desse processo.

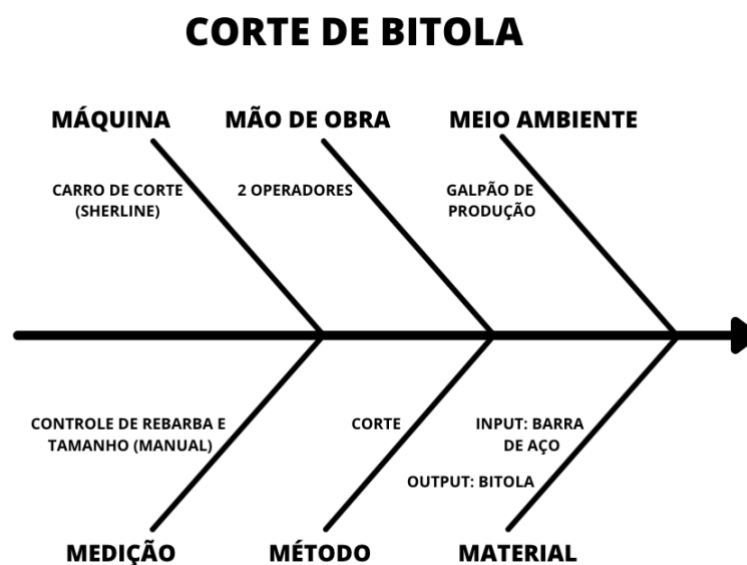
Figura 13 – Diagrama de Ishikawa: Processo de Beneficiamento de Vergalhão



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Na figura 14, podemos observar o diagrama elaborado para o processo de corte de bitola. Este processo realizado pelo carro de corte (SHERLINE) necessita de no mínimo 2 operários para ser executado e gera como produto final uma bitola de aço, material usado em diversos setores da construção civil.

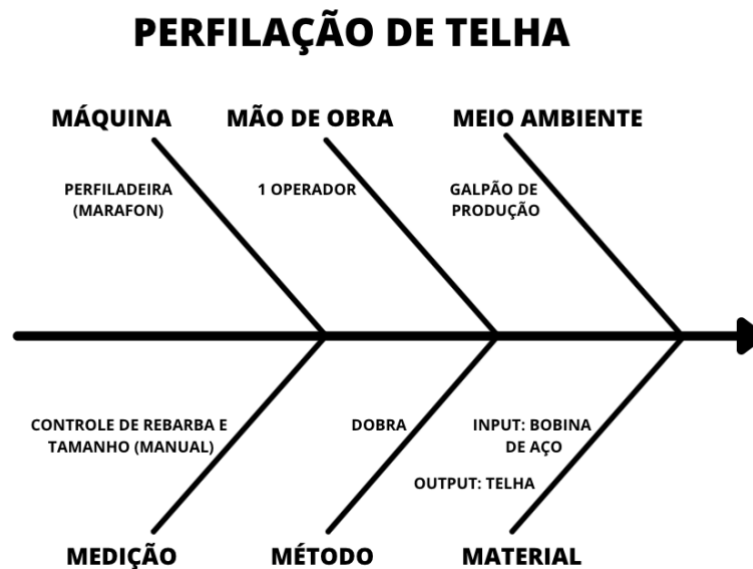
Figura 14 – Diagrama de Ishikawa: Processo de Corte de Bitola



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Por fim, a figura 15 exibe o diagrama relativo ao processo de perfilação de telha onde são fabricadas telhas de aço galvanizado. A operação da máquina perfiladeira (MARAFON) conta com no mínimo 1 operário para ser realizada. Ao final do processo, as telhas assumem o formato trapezoidal e passam por um processo de controle de qualidade manual, onde o operário realiza a verificação de rebarba e tamanho das telhas produzidas.

Figura 15 – Diagrama de Ishikawa: Processo de Perfilação de Telha



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Dessa forma, pode-se perceber que a empresa desempenha sua operação de forma enxuta em termos de mão de obra e número de funcionários que somam apenas seis ao todo. Na equipe dos seis, um executa o papel de gestor e os outros cinco são operadores que trabalham de forma flexível, sendo capazes de alternar as suas tarefas. Além disso, também foi possível concluir que todos os processos da empresa passam por um controle de qualidade manual realizado pelos próprios funcionários que operam as máquinas e verificam a qualidade dos produtos finais obtidos: bitolas, telhas e estribos.

Todos os processos dependem imediatamente de máquinas de grande porte semi-automatizadas como perfiladeiras, estribadeiras, e carros de corte que transformam materiais de aço como bobinas, arames e barras em produtos de alto valor agregado para a indústria de construção civil. Vale destacar que tais máquinas precisam ser pré-configuradas manualmente, por meio de um painel de controle, antes de iniciarem a produção.

Por meio das entrevistas realizadas com o gestor da empresa, foi possível concluir que todos os processos produtivos da Pinheiro Indústria não geram dados automaticamente, quando possível a empresa armazena os dados relativos à produção em planilhas eletrônicas que foram criadas e são manipuladas pelo gestor da unidade. Porém, a inserção dos dados nas planilhas de controle de produção nem sempre é realizada devido ao atual modelo de trabalho da equipe da Pinheiro Indústria que possui um ritmo acelerado e ao corpo funcional enxuto para suprir a demanda de pedidos mensal que às vezes ultrapassa 150 toneladas de aço.

Logo, o controle de produção da Pinheiro Indústria é realizado pela comparação entre o valor obtido após a pesagem do estoque inicial e do estoque final, composto pelos produtos gerados para cada pedido. As lojas da Ferragens Pinheiro armazenam os históricos em formato de relatório com os dados de todos os pedidos que são recebidos mensalmente, entretanto, as lojas e a indústria não possuem sistemas de informação integrados.

4.3.2 Análise das Capacidades de Transformação presentes na empresa

Com base no diagnóstico e na avaliação crítica após estudo dos processos da indústria foi realizada uma verificação das capacidades de transformação para compreender as características da organização bem como os seus recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional existentes. Para realizar o preenchimento da lista de verificação foram analisadas as capacidades de transformação do modelo da ACATECH individualmente e os seus requisitos foram comparados com a realidade da Pinheiro Indústria.

Dessa forma, a lista de verificação foi preenchida corretamente e quando necessário foi realizada a consulta ao gestor da unidade produtiva para auxiliar no julgamento da presença ou ausência de determinada capacidade de transformação. Com isso, foi elaborado o quadro 2 que expõe a lista de verificação das capacidades de transformação da empresa estudada, demonstrando também as áreas estruturais e princípios fundamentais, defendidos pelo modelo de maturidade da ACATECH.

Quadro 2 – Capacidades de Transformação presentes na Pinheiro Indústria (continua)

ÁREA ESTRUTURAL, PRINCÍPIO FUNDAMENTAL E CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO	PINHEIRO INDÚSTRIA		
	PRESENTE	AUSENTE	JUSTIFICATIVA
1. Recursos			
1.1 Capacidade digital			
1.1.1 Prover competências digitais		X	A empresa não preza pelo envolvimento contínuo de seus funcionários com novos recursos tecnológicos.
1.1.2 Aquisição automatizada de dados por meio de sensores e atuadores		X	A empresa não utiliza sensores e atuadores para gerar dados em seus processos produtivos.
1.1.3 Processamento descentralizado de dados por meio de sistemas embarcados		X	A empresa não processa seus dados por meio de sistemas embarcados.
1.2 Comunicação estruturada			
1.2.1 Comunicação eficiente		X	A empresa não possui sistema/ registro de comunicação.
1.2.2 Projeto de interfaces baseado em tarefas		X	A empresa não possui sistemas de suporte inteligente para auxiliar na rotina de trabalho operacional.

Quadro 2 – Capacidades de Transformação presentes na Pinheiro Indústria (continuação)

ÁREA ESTRUTURAL, PRINCÍPIO FUNDAMENTAL E CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO	PINHEIRO INDÚSTRIA		
	PRESENTE	AUSENTE	JUSTIFICATIVA
2. Sistemas de Informação			
2.1 Auto aprendido no processamento de informação			
2.1.1 Análise automatizada de dados		X	A empresa realiza a análise de dados de produção manualmente.
2.1.2 Entrega de informação contextualizada		X	O colaborador deve pesquisar as informações em outros sistemas.
2.1.3 Interfaces adaptadas às tarefas específicas		X	Os colaboradores não recebem instruções verbais de sistemas para orientá-los durante seu trabalho.
2.1.4 Construir uma infraestrutura de TIC resiliente e implementar armazenagem de dados baseada no contexto		X	A empresa não armazena seus dados em uma estrutura de TI bem consolidada, não possui armazenamento em nuvem.
2.2 Integração dos sistemas de informação			
2.2.1 Integrar os sistemas de informação de forma vertical e horizontal		X	Os sistemas de informação da empresa não são integrados.
2.2.2 Padronizar as interfaces de dados		X	As interfaces de dados da empresa não são padronizadas e integradas.
2.2.3 Implementar governança de dados		X	A empresa não possui uma política de governança de dados.
2.2.4 Atualizar e aumentar a proteção de dados		X	A empresa não segue padrões de segurança/proteção de dados.

Quadro 2 – Capacidades de Transformação presentes na Pinheiro Indústria (continuação)

ÁREA ESTRUTURAL, PRINCÍPIO FUNDAMENTAL E CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO	PINHEIRO INDÚSTRIA		
	PRESENTE	AUSENTE	JUSTIFICATIVA
3. Cultura Organizacional			
3.1 Abertura para mudança			
3.1.1 Reconhecer o valor dos erros	X		Os colaboradores da empresa informam seus erros abertamente, quando eles ocorrem, para encontrar as causas dos erros e suas soluções.
3.1.2 Abertura para inovação	X		As áreas da empresa estão abertas para inovação em seus processos.
3.1.3 Aprendizado baseado em dados e tomada de decisão		X	A empresa ainda não analisa e interpreta seus dados com eficiência.
3.1.4 Desenvolvimento profissional contínuo		X	A empresa não investe em treinamentos ou cursos de especialização para seus funcionários.
3.1.5 Responsividade à mudança	X		A empresa é capaz de responder rapidamente à mudanças inesperadas em seus processos.
3.2 Colaboração social			
3.2.1 Estilo de liderança democrático	X		Os colaboradores são reconhecidos como parte da empresa e não só como meros funcionários.
3.2.2 Comunicação aberta	X		Os colaboradores possuem liberdade de comunicação na empresa.
3.2.3 Confiança nos processos e nos sistemas de informação		X	Os sistemas de informação da empresa não estão bem consolidados.

Quadro 2 – Capacidades de Transformação presentes na Pinheiro Indústria (conclusão)

ÁREA ESTRUTURAL, PRINCÍPIO FUNDAMENTAL E CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO	PINHEIRO INDÚSTRIA		
	PRESENTE	AUSENTE	JUSTIFICATIVA
4. Estrutura Organizacional			
4.1 Organização interna orgânica			
4.1.1 Grupos de trabalho flexíveis	X		Os funcionários da empresa podem alternar suas tarefas no trabalho.
4.1.2 Gerenciamento sobre os níveis de autonomia de decisões		X	Nem todos os funcionários possuem autonomia de decisão nos processos da empresa.
4.1.3 Sistema de metas motivadoras		X	A empresa não fornece treinamentos e incentivos financeiros.
4.1.4 Gerenciamento ágil	X		A empresa trabalha com um sistema de produção rápido e personalizado focado no desenvolvimento contínuo do produto com base no feedback do cliente.
4.2 Colaboração dinâmica ao longo da cadeia de valor			
4.2.1 Foco nos benefícios para o cliente	X		Os produtos de construção civil da empresa são desenvolvidos com foco total no benefício do cliente.
4.2.3 Cooperação na rede de valor	X		A empresa colabora e possui uma boa relação com seus clientes, parceiros e fornecedores.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Por meio do preenchimento da lista de verificação das capacidades de transformação presentes na Pinheiro Indústria pode-se concluir que apesar de a empresa possuir algumas capacidades das áreas de Cultura e Estrutura Organizacional, a mesma não está muito bem desenvolvida em relação às áreas de Recursos e Sistemas de Informação.

Este resultado indica que a empresa não possui uma boa estrutura para prover competências digitais, adquirir dados automaticamente e também não dispõe de sistemas de comunicação eficientes. Além disso, podemos perceber que seus sistemas de informação não estão bem desenvolvidos e nem integrados. Tais características denotam que a Pinheiro Indústria se encontra no início do estágio de informatização, o primeiro estágio de desenvolvimento do Modelo de Maturidade da ACATECH.

4.3.3 Definição do nível de prontidão da empresa

O nível de prontidão para a I4.0 da empresa foi definido por meio do Modelo de Cubo 3D, conforme apresentado na revisão bibliográfica. Para isso, foi aplicado um questionário desenvolvido com base no modelo citado acima, levando em conta as dimensões, sub-dimensões e elementos do mesmo. Por meio das respostas do questionário foi possível calcular a pontuação do vetor de prontidão da Pinheiro Indústria.

4.3.4 Aplicação do questionário de nível de prontidão para a I4.0

Conforme citado no item 3.3.2, o questionário foi desenvolvido com base no Modelo de Cubo 3D para a I4.0. O mesmo foi respondido de modo *online* via Google Forms pelo gestor da unidade produtiva da Pinheiro Indústria. Logo, as respostas foram respondidas com veracidade e integridade por um colaborador que conhecia plenamente os processos e áreas da empresa estudada.

Além de representarem um papel essencial para a definição do nível de prontidão da Pinheiro Indústria, as respostas também contribuíram para a análise crítica dos critérios organizacionais, tecnológicos e de maturidade dos processos da Pinheiro Indústria. O quadro 3 foi desenvolvido para exemplificar como era descrito o texto das respostas disponíveis para seleção no questionário.

Quadro 3 – Exemplo de Padrão de Respostas do Questionário de Definição do nível de Prontidão: Pergunta 1

Pergunta 1	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
Como é o suporte TOP-DOWN (da Alta Diretoria) para a Indústria 4.0 em sua empresa?	Não tem suporte da Diretoria.	0
	Os principais gerentes mostram interesse em I4.0 e verificam o que é implementado na empresa sem planejamento prévio.	1
	Os principais gerentes conhecem o I4.0 e planejam implementar melhorias na empresa. As melhorias são monitoradas.	2
	Os principais gerentes definem metas e métodos para que os projetos I4.0 possam ser iniciados, executados e concluídos a nível da empresa.	3
	Um processo de auto-otimização é executado sem uma aprovação específica do top-manager, incluindo alterações nas metas.	4
	A empresa possui sistemas para se adaptar a mudanças contextuais ou de mercado, redefinindo processos e metas sem aprovação prévia.	5

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para as 22 perguntas, o gestor entrevistado da empresa poderia selecionar apenas uma alternativa que correspondia a uma pontuação de 0 a 5, definida pela escala do Modelo de Cubo 3D. Com isso, foi desenvolvido o quadro 4 para demonstrar os resultados individuais de cada

pergunta sobre os critérios organizacionais, tecnológicos e de maturidade dos processos da Pinheiro Indústria.

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (continua)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
1. Critérios Organizacionais		
1.1 Cultura Organizacional		
1.1.1 Como é o suporte TOP-DOWN (da Alta Diretoria) para a Indústria 4.0 em sua empresa?	Não tem suporte da Diretoria.	0
1.1.2 Como você definiria o grau de AGILIDADE dos processos em sua empresa?	A agilidade é uma ideia bem recebida, desde que focada na melhoria dos processos na empresa.	1
1.1.3 Como definiria a VONTADE DE MUDAR na sua empresa?	A vontade de mudar é uma ideia bem publicizada em toda a empresa e felicitada quando acontece.	1

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (continuação)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
1.2 Modelo de Negócios		
1.2.1 Como são os modelos de negócios baseados em TI / COMPUTAÇÃO EM NUVEM, em sua empresa?	Não há esse tipo de modelo de negócio.	0
1.2.2 Como são os modelos de negócios baseados em SERVIÇOS, em sua empresa?	Existe uma orientação bem comunicada para que o pessoal da área de negócios (vendas, marketing, etc) proponha modelos de negócio baseados em serviços nas unidades empresariais.	1
1.2.3 Como são os modelos de negócios baseados em SPIN-OFFS (DERIVAGEM), em sua empresa?	Não há esse tipo de modelo de negócio.	0
1.2.4 Como são os modelos de negócios baseados em PARCERIAS, em sua empresa?	Existe uma orientação bem comunicada para que o pessoal da área de negócios (vendas, marketing, etc) proponha modelos de negócio baseados em parcerias nas unidades de negócio.	1

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (continuação)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
1.3 Recursos Humanos		
1.3.1 Como é a COMUNICAÇÃO (vertical e horizontal) em sua empresa?	Não há comunicação vertical e/ou horizontal.	0
1.3.2 Como é o processo de TREINAMENTO em sua empresa?	Não há treinamentos em minha empresa.	0
1.3.3 Como é a gestão da atualização das NOVAS RELAÇÕES CONTRATUAIS na sua empresa?	Não há atualização formal das relações contratuais.	0
2. Critérios Tecnológicos		
2.1 Tecnologia da Produção		
2.1.1 Como estão os sistemas de suporte ANTROPOMÓRFICO em sua empresa?	Somente algumas áreas de apoio físico ao trabalho são abrangidas pela empresa, mas de forma incipiente (sem uso de tecnologia) e individual.	1

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (continuação)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
2.1.2 Como estão os sistemas de suporte COGNITIVO (hiper automação inteligente) em sua empresa?	Não tem.	0
2.1.3 Como estão os sistemas de suporte GERENCIAL em sua empresa?	Somente algumas áreas de apoio à gestão são abrangidas pela empresa, mas de forma incipiente (sem uso de tecnologia) e individual.	1
2.1.4 Como é a PRODUÇÃO EM REDE (produção integrada, isto é, horizontal com base nos serviços e não nas hierarquias) na sua empresa?	Não há produção integrada.	0
2.2 Tecnologia da Informação		
2.2.1 Como os DADOS estão interligados em sua empresa?	Não são interligados.	0

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (continuação)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
2.2.2 Como é a TRANSPARÊNCIA DA INFORMAÇÃO na sua empresa?	Os diferentes serviços têm um procedimento de gestão de dados. Este procedimento, no entanto, difere de departamento para departamento pois desenvolveram uma solução individual.	2
2.2.3 Como estão as DECISÕES DESCENTRALIZADAS (isto é, que usam ferramentas de decisão) em sua empresa?	Diferentes departamentos têm uma ferramenta de decisão orientada por dados. No entanto, é uma solução individual, ajustada individualmente por cada departamento.	2
3. Critérios de Maturidade dos Processos		
3.1 Desenvolvimento de Produtos (Bens ou Serviços)		
3.1.1 Como é o DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS (DNP) centrado no cliente, em sua empresa?	Não tem esse tipo de DNP.	0

Quadro 4 – Respostas do Questionário para Definição do nível de Prontidão da Pinheiro Indústria (conclusão)

Critério, Subcritério e Perguntas	Respostas disponíveis para seleção	Pontuação atribuída para cada resposta
3.1.2 Como é o processo de ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO ENTRE EMPRESAS, para sua empresa?	Não há engenharia e/ou desenvolvimento entre a minha e outras empresas.	0
3.2 Atendimento de Pedidos		
3.2.1 Como é o sistema de PRODUÇÃO PERSONALIZADA / CUSTOMIZADA em sua empresa?	O sistema de produção permite o tamanho de um lote e é autônomo e adaptável.	5
3.2.2 Como é a integração da CADEIA DE SUPRIMENTOS em sua empresa?	A logística está parcialmente integrada. É mantido um grande inventário para garantir flexibilidade.	1
3.2.3 Como é a integração entre VENDAS e OPERAÇÕES em sua empresa?	A empresa efetua integração ad hoc (temporária e específica) entre os processos de vendas e operações. Às vezes são integrados, às vezes têm objetivos e metas diferentes.	1

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

4.3.5 Cálculo e Definição do nível de prontidão de I4.0

O cálculo foi realizado em consonância com as diretrizes de cálculo do vetor de prontidão do Modelo de Cubo 3D, conforme citado na revisão bibliográfica. Observando as respostas do questionário de modo geral, pode-se perceber uma baixa pontuação de resposta para quase todos os elementos, os resultados das dimensões e sub-dimensões foram descritos a seguir:

1. Critérios Organizacionais: 0
 - 1.1. Cultura Organizacional: 0
 - 1.2. Modelo de Negócios: 0
 - 1.3. Recursos Humanos: 0
2. Critérios Tecnológicos: 0
 - 2.1. Tecnologia da Produção: 0
 - 2.2. Tecnologia da Informação: 0
3. Critérios de Maturidade dos Processos: 0
 - 3.1. Desenvolvimento de Produtos: 0
 - 3.2. Atendimento de Pedidos: 1

De acordo com os resultados apresentados, o cálculo do vetor de prontidão R (M, T, O) foi equivalente a R (0, 0, 0), onde M corresponde ao nível de maturidade de processos, T ao nível de critérios tecnológicos e O ao nível de critérios organizacionais. Este resultado indica que a Pinheiro Indústria visto que se encontra no nível 0 de prontidão para a I4.0, ou seja, a mesma não atende a pelo menos uma das três dimensões de prontidão.

Assim, a empresa possui seus processos internos, porém, não tem capacidade para utilizar os conceitos de I4.0. Por conseguinte, a mesma não possui, satisfatoriamente, estrutura organizacional, tecnologia e/ou maturidade de processos que a tornem pronta para esta nova realidade. Diante do exposto, de acordo com o Modelo de Cubo 3D, a prontidão da empresa é considerada não iniciada.

Ao inserir os resultados obtidos na avaliação para definição do nível de prontidão da Pinheiro Indústria em um gráfico de radar (figura 16), podemos perceber que a empresa ainda precisa se desenvolver em todas as sub-dimensões para elevar os níveis das suas dimensões e por consequência o nível de seu vetor de prontidão.

Figura 16 – Gráfico de Radar da Avaliação Pinheiro Indústria



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ademais, após analisar crítica e individualmente as 22 perguntas exibidas no quadro 4, foi possível conceber, considerando os critérios organizacionais, que tanto a cultura organizacional quanto o modelo de negócios e os recursos humanos da Pinheiro Indústria não estão bem desenvolvidos ou orientados para os conceitos de I4.0.

Também se percebe que inexistem um modelo de negócios baseado em TI/ Computação em Nuvem na empresa, representando uma fraca estrutura dos pré requisitos de digitalização, informatização e conectividade. Examinando os recursos humanos da empresa, percebemos que a comunicação ainda é incipiente, não existem processos de treinamentos periódicos e não ocorre uma atualização formal das relações contratuais.

Avançando para os critérios tecnológicos, foi constatado que inexistem sistemas de suporte cognitivo e os sistemas de suporte antropomórficos são disponibilizadas apenas para algumas áreas da empresa e sem uso de tecnologia. Além disso, não há uma produção integrada e apenas algumas áreas da indústria contam com sistema de suporte gerencial para trabalhar. Ou seja, com o baixo desenvolvimento desses sistemas tecnológicos a visibilidade e a transparência da empresa ficam comprometidas, prejudicando a visualização e entendimento do que está acontecendo e por qual motivo está acontecendo algum evento nos processos da organização.

Apreciando os critérios de maturidade dos processos, percebeu-se a inexistência do processo de desenvolvimento de novos produtos e de engenharia e desenvolvimento entre empresas. Já em relação ao atendimento de pedidos, o sistema de produção personalizada da empresa permite que o tamanho dos lotes seja autônomo e adaptável, o que representa um ponto positivo para a indústria. Porém, a logística da empresa está parcialmente integrada, assim como a integração entre o setor de vendas da Ferragens Pinheiro e de operações da Pinheiro Indústria.

4.4 Proposta de possíveis melhorias para aumentar o nível de informatização

A partir da análise das capacidades de transformação da empresa (Modelo ACATECH), da definição do seu nível de prontidão (Modelo Cubo 3D) e das análises críticas realizadas ao longo do estudo, pode-se perceber que a empresa ainda está no início do processo de desenvolvimento da sua jornada rumo à I4.0. Por isso, foi proposto que a empresa focasse em desenvolver a sua informatização, primeiro estágio de desenvolvimento do modelo ACATECH.

Dessa forma, seria importante também que a empresa investisse na instalação de sensores para que seus processos passem a gerar dados automaticamente durante a produção, dessa forma os dados ficariam mais acessíveis para o gestor e assim seria possível realizar uma otimização no controle de produção, gestão de estoque e da qualidade. Outro ponto relevante seria o investimento em sistemas TI e Computação em Nuvem, que atualmente inexistem na empresa, pois esses são pilares para criar uma rede de conectividade e integração de sistemas em uma organização que visa ser ágil, inteligente e adaptável.

Sobre os aspectos relativos aos recursos humanos da empresa, seria ideal que a Pinheiro Indústria realizasse mais investimentos em treinamentos para os colaboradores na empresa, pois atualmente cursos, palestras e workshops não tendem a acontecer. Além disso, também seria necessário investir em sistemas de suporte cognitivo e disponibilizar mais sistemas de suporte antropomórfico para mais áreas da empresa.

4.4.1 Proposta de Planilha de Controle

Além das melhorias propostas acima, este estudo também focou na aprimoração dos processos de informatização para organização e armazenamento de dados de produção da empresa. Para isso, foi sugerido um modelo de planilha eletrônica de preenchimento facilitado desenvolvido em Excel, que pode ser visualizado no apêndice do trabalho. A planilha foi desenvolvida levando em consideração a técnica visual de organização do LM, o *Kanban*, e

respeitando as preferências expressas pelo gestor da Pinheiro Indústria, o colaborador que será responsável pelo manuseio da planilha cotidianamente.

A seguir será explicado o funcionamento da planilha anterior e serão citadas as melhorias que foram realizadas na estrutura da nova planilha desenvolvida. A figura 17, ilustra a tela da planilha anterior que caiu em desuso na Pinheiro Indústria por não atender às necessidades do gestor e por apresentar falta de praticidade no preenchimento, o que causava um vasto desperdício de tempo para o gestor da unidade produtiva.

Figura 17 – Planilha de controle de produção antiga

IDENTIFICAÇÃO	CLIENTE	VENDEDOR	QUANTIDADE	MATERIAL	INICIO	DIAS DE PRODUÇÃO	UNID	FIM DE PRODUÇÃO	SITUAÇÃO
58477	MATRIZ	BRUNO	0,00	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	EM PRODUÇÃO
58483	MATRIZ	BRUNO	0,00	PLANOS	01/08/2019	3	KG	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59857	FILIAL	HELIO	0,00	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	EM PRODUÇÃO
59858	FILIAL	HELIO	0,00	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	EM PRODUÇÃO
61205	RUMO NORTE	LUCAS	734,00	PLANOS	01/08/2019	3	M2	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59146	SKA	RODOLFO	248,00	PLANOS	01/08/2019	2	M2	05/08/2019	EM PRODUÇÃO
1625	CONSORCIO ADE	RODRIGO	7.466,02	VERGALHÃO	23/07/2019	1	KG	24/07/2019	EM PRODUÇÃO
59190	MRT	RONNY	780,00	PLANOS	01/08/2019	3	M2	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59191	OSCS	RONNY	90,00	PLANOS	01/08/2019	1	M2	02/08/2019	EM PRODUÇÃO
1680	CATOLICA	EDSON	671,84	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
60295	JOSANIO	ELIEZIO	1.173,00	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	FINALIZADA
1678	DIOGO	GILDEVAN	918,37	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
59864	FILIAL	HELIO	2.000,00	PLANOS	24/07/2019	10	M2	07/08/2019	FINALIZADA
1679	FLAVIO	RAYFFER	20,00	VERGALHÃO	02/08/2019	1	KG	05/08/2019	FINALIZADA
1624	CONSORCIO ADE	RODRIGO	7.466,02	VERGALHÃO	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	FINALIZADA
1676	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1.002,14	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
1677	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1.273,36	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
59213	RENATA	ADONY	76,50	PLANOS	29/07/2019	2	M2	31/07/2019	OK
58476	MATRIZ	BRUNO	2.400,00	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK
58478	MATRIZ	BRUNO	228,00	PLANOS	23/07/2019	1	KG	24/07/2019	OK
58481	MATRIZ	BRUNO	1.600,00	PLANOS	24/07/2019	3	M2	29/07/2019	OK
1664	ATLANTIDA	FAUSTO	2.328,69	VERGALHÃO	23/07/2019	3	KG	26/07/2019	OK
60816	OTAVIO FELIX	FAUSTO	59,20	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK
60830	MV FERREIRA	FAUSTO	60,50	PLANOS	29/07/2019	2	M2	31/07/2019	OK
1670	DIOGO	GILDEVAN	935,71	VERGALHÃO	24/07/2019	2	KG	26/07/2019	OK
59984	JOSE	LUCAS	230,40	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK
59988	LUIZ OTAVIO	LUCAS	369,16	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK
60003	SEBASTIAO	NITTON	16,00	PLANOS	23/07/2019	2	M2	26/07/2019	OK

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Por meio da observação da figura 17, podemos perceber que a planilha antiga não possuía o desenvolvimento de um formulário capaz de facilitar o preenchimento de dados. A inserção ou exclusão de novos dados deveria ocorrer de forma manual, preenchendo coluna por coluna, o que demandava um tempo excessivo por parte do gestor e fornecia o risco de comprometer a integridade dos dados caso ocorresse algum erro operacional de preenchimento.

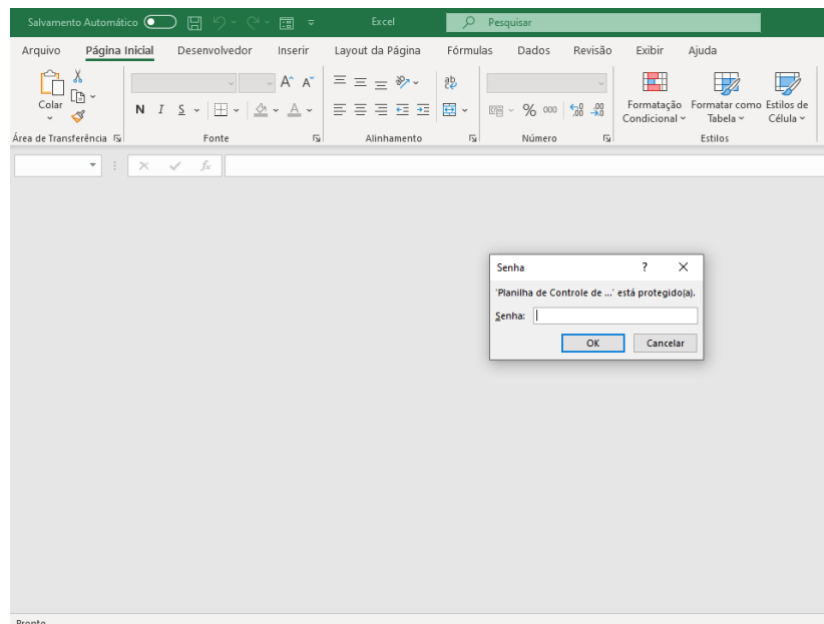
Além disso, a planilha antiga não era protegida por código ou senha, facilitando o acesso de terceiros não autorizados, o que comprometia a segurança dos dados da organização. Ademais, a planilha não possuía um "Menu Inicial" capaz de facilitar a navegação entre as suas abas e nem botões interativos de comandos. A planilha anterior não possuía a função de rastreamento de pedidos, o que tornava extremamente trabalhoso o processo de localização de um registro

específico em meio a tantos dados. Por fim, a planilha passada não apresentava regras para formatação de cores de acordo com os valores dos dados de produção.

A nova planilha proposta foi elaborada com uso do programa Excel explorando os recursos de programação em VBA e desenvolvimento de MACROS. Esta ferramenta foi criada com a função de organizar, registrar e armazenar os dados de produção da Pinheiro Indústria. Ademais, no desenvolvimento da planilha foram inseridas regras de formatação das cores das células de acordo com os valores dos dados de produção para alertar o gestor de acordo com o nível de criticidade dos pedidos. Dessa forma a planilha se tornou uma ferramenta mais visual e aprimorada, em consonância com os princípios e filosofia do *Kanban*.

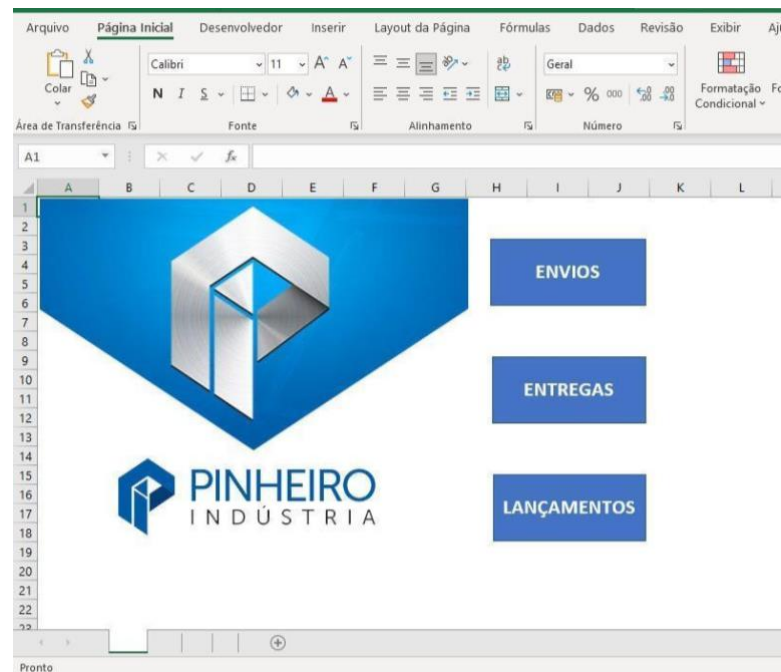
A "Planilha de Controle de Produção - Pinheiro Indústria" é protegida por um código de acesso escolhido pelo gestor da empresa. Conforme exposto na figura 18, a proteção da planilha foi uma das melhorias introduzidas visto que o modelo anterior era completamente desprotegido, fato este que a tornava suscetível à invasão de usuários não autorizados e comprometia a segurança dos dados da organização.

Figura 18 – Planilha de Controle de Produção protegida por código de acesso.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 19 – Menu inicial da Planilha de Controle de Produção.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A figura 19 exibe o menu inicial da planilha que possui três botões de seleção disponíveis. O primeiro, localizado no canto superior direito, direciona o usuário para a aba de controle de envios que é composta por uma tabela contendo colunas com informações relativas aos envios de pedidos para produção de acordo com o seu número identificador, conforme evidenciado na figura 20.

Figura 20 – Aba de controle de envios.

ID	CLIENTE	VENDEDOR	QUANTIDADE	MATERIAL	UND	SITUAÇÃO
58477	MATRIZ	BRUNO	0,00	PLANOS	KG	EM PRODUÇÃO
58483	MATRIZ	BRUNO	0,00	PLANOS	KG	EM PRODUÇÃO
1680	CATOLICA	EDSON	671,84	VERGALHÃO	KG	FINALIZADA
60295	JOSANIO	ELIEZIO	1173,00	PLANOS	M2	FINALIZADA
1678	DIOGO	GILDEVAN	918,37	VERGALHÃO	KG	FINALIZADA
59858	FILIAL	HELIO	0,00	PLANOS	KG	EM PRODUÇÃO
59864	FILIAL	HELIO	2000,00	PLANOS	M2	FINALIZADA
61205	RUMO NORTE	LUCAS	734,00	PLANOS	M2	EM PRODUÇÃO
1679	FLAVIO	RAYFFER	20,00	VERGALHÃO	KG	FINALIZADA
59146	SKA	RODRIGO	248,00	PLANOS	M2	EM PRODUÇÃO
1625	CONSORCIO ADE	RODRIGO	7466,02	VERGALHÃO	KG	EM PRODUÇÃO
1624	CONSORCIO ADE	RODRIGO	0,00	PLANOS	KG	FINALIZADA
1676	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1002,14	VERGALHÃO	KG	FINALIZADA
1677	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1273,36	VERGALHÃO	KG	FINALIZADA
59190	MRT	RONNY	780,00	PLANOS	M2	EM PRODUÇÃO
59191	OSCS	RONNY	90,00	PLANOS	M2	EM PRODUÇÃO

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Na figura 20 ainda é possível observar dois botões de seleção disponíveis, o botão "ABRIR FORMULÁRIO DE ENVIO" e o "REGISTRAR NOVO ENVIO", o primeiro cumpre a função de direcionar novamente o usuário para o menu inicial da planilha e o segundo abre um formulário com a funcionalidade de registrar, excluir ou rastrear um novo envio. Tal formulário é uma melhoria em relação à antiga planilha de controle utilizada pela Pinheiro Indústria, por meio do formulário é possível realizar o preenchimento dos dados do envio de modo mais rápido e eficiente, reduzindo também falhas operacionais que possam prejudicar a integridade dos dados contidos na planilha.

A figura 21 exibe o formulário de preenchimento citado, este disponibiliza o total de registros contidos na aba de envios e permite inserir ou excluir um novo registro. Além disso, o formulário também possibilita pesquisar por determinados registros que atendam aos critérios de busca desejados, clicando no botão "critérios".

Ao clicar no botão critérios é possível definir os critérios de busca relativos ao registro procurado. Além disso, é válido destacar que os critérios de busca podem ser exatos, pesquisando pelo número identificador correto de um pedido, ou variáveis, pesquisando, por exemplo, por um pedido com quantidade em kg maior que 2000 (>2000), conforme demonstrado na figura 22. Posteriormente, basta selecionar o botão "Localizar próximo" que serão exibidos apenas os registros que atendam ao critério especificado no formulário.

Figura 21 – Formulário de preenchimento de envios.

The image shows a software window titled with a question mark and a close button. On the left, there are several input fields with labels: ID (containing 58477), CLIENTE (MATRIZ), VENDEDOR (BRUNO), QUANTIDADE (0.00), MATERIAL (PLANOS), UND (KG), and SITUAÇÃO (EM PRODUÇÃO). On the right side, there is a vertical stack of buttons: 'Novo', 'Excluir', 'Restaurar', 'Localizar antes', 'Localizar próximo', 'Critérios', and 'Fechar'. A scroll bar is visible between the input fields and the buttons.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 22 – Formulário - função critérios de busca.

This image shows the same software window as Figure 21, but with the 'Critérios' button highlighted. The 'QUANTIDADE' field now contains the text '>2000'. The other input fields are empty. The buttons on the right are now: 'Novo', 'Limpar', 'Restaurar', 'Localizar antes', 'Localizar próximo', 'Formulário', and 'Fechar'. The scroll bar is also visible.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A figura 23 apresenta a aba de controle de entregas, que é preenchida quase totalmente por fórmulas pré-configuradas que fazem a procura dos dados na aba de lançamentos. Na aba de controle de entregas, o gestor deve apenas preencher o código identificador de cada pedido, selecionar a unidade do material corretamente e definir a situação do pedido, se ele está em produção ou finalizado. Seguindo a mesma lógica da aba de envios, a aba de entregas também possui um botão de abrir formulário para facilitar a inserção, exclusão ou rastreamento dos registros por parte do gestor, conforme evidenciado na figura 24.

Figura 23 – Aba de controle de entregas.

ID	CLIENTE	VENDEDOR	QUANTIDADE	MATERIAL	INICIO	DIAS DE PRODUÇÃO	UNID	FIM DE PRODUÇÃO	SITUAÇÃO
58477	MATRIZ	BRUNO	0	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	EM PRODUÇÃO
58483	MATRIZ	BRUNO	0	PLANOS	01/08/2019	3	KG	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59858	FILIAL	HELIO	0	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	EM PRODUÇÃO
61205	RUMO NORTE	LUCAS	734	PLANOS	01/08/2019	3	M2	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59146	SKA	RODOLFO	248	PLANOS	01/08/2019	2	M2	05/08/2019	EM PRODUÇÃO
1625	CONSORCIO ADE	RODRIGO	7466,02	VERGALHÃO	23/07/2019	1	KG	24/07/2019	EM PRODUÇÃO
59190	MRT	RONNY	780	PLANOS	01/08/2019	3	M2	06/08/2019	EM PRODUÇÃO
59191	OSCS	RONNY	90	PLANOS	01/08/2019	1	M2	02/08/2019	EM PRODUÇÃO
1680	CATOLICA	EDSON	671,84	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
60295	JOSANIO	ELIEZIO	1173	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	FINALIZADA
1678	DIOGO	GILDEVAN	918,37	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
59864	FILIAL	HELIO	2000	PLANOS	24/07/2019	10	M2	07/08/2019	FINALIZADA
1679	FLAVIO	RAYFFER	20	VERGALHÃO	02/08/2019	1	KG	05/08/2019	FINALIZADA
1624	CONSORCIO ADE	RODRIGO	0	PLANOS	23/07/2019	6	KG	31/07/2019	FINALIZADA
1676	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1002,14	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
1677	JOSE OLIMPIO	RODRIGO	1273,36	VERGALHÃO	01/08/2019	2	KG	05/08/2019	FINALIZADA
59213	RENATA	ADONY	76,5	PLANOS	29/07/2019	2	M2	31/07/2019	OK
58476	MATRIZ	BRUNO	2400	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK
58478	MATRIZ	BRUNO	228	PLANOS	23/07/2019	1	KG	24/07/2019	OK
58481	MATRIZ	BRUNO	1600	PLANOS	24/07/2019	3	M2	29/07/2019	OK
1664	ATLANTIDA	FAUSTO	2328,69	VERGALHÃO	23/07/2019	3	KG	26/07/2019	OK
60816	OTAVIO FELIX	FAUSTO	50,2	PLANOS	23/07/2019	1	M2	24/07/2019	OK

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 24 – Formulário de preenchimento de entregas

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A terceira aba da planilha, que é aberta ao selecionar o botão "LANÇAMENTOS" do menu inicial, pode ser interpretada como o banco de dados da planilha de controle de produção desenvolvida, conforme figura 25. Nesta aba estão presentes diversas informações sobre os pedidos, tais como identificação do cliente, identificação do vendedor, dados do vergalhão, início da produção e entre outras. Assim como nas outras abas, o registro dos dados deverá ocorrer por meio de um formulário específico de lançamentos, conforme evidenciado na figura 26.

Figura 25 – Aba de lançamentos.

IDENTIFICAÇÃO	CLIENTE	VENDEDOR	TESTE	DADOS	VERGALHÃO	QUAN	DESC	NICIO PRODUÇÃO	DIA
1624	CONSORCIO AD	RODRIGO	F	84,76 Kg	385,93 Kg	2.827,86 Kg	4.187,57 Kg	2307/2019	5
1681	VALTER CESAR	RONNY	V	2.00160 Kg				2307/2019	2
1663	TUBOMX	RODRIGO	V	226,56 Kg	14104 Kg	110252 Kg	896229 Kg	696,72 Kg	1
1664	ATLANTIDA	FAUSTO	V	87,68 Kg	332,01 Kg	662,82 Kg	626,19 Kg	597,91 Kg	3
1685	ALVARO	RODRIGO	V	47,06 Kg	32189 Kg	17,70 Kg	283,00 Kg	36,49 Kg	60,66 Kg
58476	MATRIZ	BRUNO	T						
58477	MATRIZ	BRUNO	T						
58478	MATRIZ	BRUNO	T						
58950	FLUX	HELIO	T						
58960	SERGIO LUIZ	NITON	T						
58984	JOSE	LUCAS	T						
58988	LUIZ OTAVIO	LUCAS	T						
60296	JOSAMIO	ELIEZIO	T						
60986	OTAVIO FELIX	FAUSTO	T						
61926	VIG	RODRIGO	T						
58481	MATRIZ	BRUNO	T						
1668	EVE E SABORCE	REGIANE	V	100,92 Kg	84,29 Kg	528,20 Kg			
1667	EVE E SABORCE	REGIANE	V	254,83 Kg	80,24 Kg	480,34 Kg	181,90 Kg	260,81 Kg	1127,63 Kg
1668	FLAVIO	FRANZEBER	V	70,00 Kg					
1669	ALVARO	RODRIGO	V	299,72 Kg	5,63 Kg	58,01 Kg	47989 Kg	56,99 Kg	2226,62 Kg
1695	ALABARCE	RODRIGO	T						
1694	ALABARCE	RODRIGO	T						
1670	DIDGO	GILDEVAN	V	158,80 Kg	297,90 Kg		479,01 Kg		
58864	FLUX	HELIO	T						
58131	AUTO HAUSS	RODOLFO	T						
58210	RENATA	ADONY	T						
60820	MI FERREIRA	FAUSTO	T						
1672	TUBOMX	RODRIGO	V	339,84 Kg	754,69 Kg	1699,44 Kg	1487,60 Kg		
1673	ALVARO	RODRIGO	V	289,72 Kg	5,63 Kg	58,01 Kg	479,89 Kg	36,38 Kg	227,82 Kg
1676	JOSE OLMPHO	RODRIGO	V	201,95 Kg	6,20 Kg	68,87 Kg	177,23 Kg		
1677	JOSE OLMPHO	RODRIGO	V	231,39 Kg	276,37 Kg	236,21 Kg	334,90 Kg	184,49 Kg	
1678	DIDGO	GILDEVAN	V	23,92 Kg	256,39 Kg	185,02 Kg	370,20 Kg	147,84 Kg	
1678	FLAVIO	FRANZEBER	V	20,00 Kg					
1680	CATOLICA	EDSON	V	86,83 Kg	147,76 Kg	187,92 Kg	86,69 Kg	46,60 Kg	158,14 Kg
58982	FOCO	RONNY	T						

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Analisando a figura 26, pode-se perceber que o formulário da aba "LANÇAMENTOS" possui mais campos de preenchimentos disponíveis do que os formulários das abas "ENVIOS" e "ENTREGAS". Tal fato ocorre, pois, a maior parte dos dados apresentados nas abas de envios e entregas são extraídos da aba de lançamentos, visto que esta aba contém o maior volume de informações relativas aos pedidos.

Figura 26 – Formulário de preenchimento de lançamentos.

The image shows a software interface window titled "Novo Registro" with a close button (X) and a help button (?). The window is divided into two main sections. The left section contains a list of input fields for data entry, including: ROMANEIO, CLIENTE, VENDEDOR, I/V, a series of thickness options (4,20mm, 5,00mm, 6,30mm, 8,00mm, 10,0mm, 12,5mm, 16,0mm, 20,0mm, 25,0mm, 32,0mm), SOMA, CHAPA, UND, QTD, QUANT, DESC, INICIO PRODUÇÃO, and DIAS. The right section contains a vertical stack of buttons: "Novo", "Excluir", "Restaurar", "Localizar ante", "Localizar próx", "Critérios", and "Fechar".

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Além das melhorias já citadas, também pode-se ressaltar a correção de algumas fórmulas que foi realizada em duas abas da antiga planilha que estava em desuso. As correções realizadas foram relativas às fórmulas de "PROCV" nas abas de entregas e envios, para procurar valores e realizar o preenchimento automático de dados que não estavam sendo extraídos corretamente da aba de lançamentos.

Por fim, pode-se concluir que após as melhorias desenvolvidas a planilha se tornou mais ágil e inteligente, ficando menos suscetível a erros de preenchimento humano. Também vale destacar que apesar do modelo de planilha proposto ser mais prático e de preenchimento facilitado, a organização necessita rever seus métodos de trabalho a fim de usar esta ferramenta ao seu favor no cotidiano de sua produção. Por isso, faz-se necessário que a Pinheiro Indústria realize um esforço inicial para usufruir de um meio eletrônico de controle de produção e abandone o antigo hábito de controle manual.

4.5 Aceitação de tecnologias da I4.0 por parte da empresa e perspectivas de aumento de prontidão pelo uso da planilha proposta

A fim de perceber se a empresa está disposta a aceitar o uso de tecnologias e implementação de I4.0, foram analisadas qualitativamente as respostas fornecidas no questionário aplicado e observado o ambiente de trabalho da indústria durante as visitas ao campo de estudo. Ademais, foram realizadas perguntas pontuais para o gestor sobre a aceitação de tecnologias de I4.0 por parte da Pinheiro Indústria.

Após a análise, foi possível inferir que a indústria não possui sistemas de conectividade bem desenvolvidos que colaboraram positivamente para o trabalho dos operadores e do gestor, denotando um baixo engajamento da direção da empresa para com o processo de transformação rumo à I4.0. Além disso,

Por meio do modelo de cubo 3D, foi possível analisar as dimensões, subdimensões e elementos da empresa relativos aos critérios organizacionais, tecnológicos e de maturidade de processos. A análise das respostas fornecidas pelo gestor da Pinheiro Indústria na avaliação do nível de prontidão permitiu concluir aspectos que necessitam de desenvolvimento por parte da Pinheiro Indústria.

Os critérios organizacionais da empresa não se mostram prontos para a I4.0, apesar da mesma apresentar vontade de mudar, a cultura organizacional não é fortemente desenvolvida por não contar com o suporte da diretoria. Ademais, inexistem modelos de negócios da empresa baseados em TI ou computação em nuvem e a área de recursos humanos não possui uma comunicação vertical e/ou horizontal, treinamentos e nem atualizações formais das relações contratuais.

Em relação aos critérios tecnológicos, pode-se constatar que os sistemas de suporte cognitivo e os sistemas de suporte antropomórficos são disponibilizados apenas para algumas áreas da empresa e sem uso de tecnologia. Além do que não há uma produção integrada e somente algumas áreas da indústria contam com sistema de suporte gerencial para desempenhar suas atividades de trabalho.

Analisando os critérios de maturidade dos processos, foi possível perceber a ausência do processo de desenvolvimento de novos produtos e de engenharia e desenvolvimento entre empresas. A empresa conta com sistema de produção personalizada, permitindo que o tamanho dos lotes seja autônomo e adaptável, o que representa um ponto positivo para a indústria e seu atendimento de pedidos. Entretanto, a logística da Pinheiro Indústria é parcialmente integrada, assim como a integração entre o setor de vendas e operações da Pinheiro Indústria.

Apesar do baixo nível de prontidão para a I4.0 apontado pela empresa, o gestor que participou da entrevista, se mostrou muito positivo quando questionado sobre as propostas de melhorias e avanços que poderiam ser realizadas visando o desenvolvimento da indústria em uma I4.0. Vale ressaltar que mesmo com os baixos desenvolvimentos apresentados pela organização, que coadunam com os conceitos de I4.0, a Pinheiro Indústria é uma empresa que se mostra muito competitiva no mercado de produção de produtos de aço para construção civil.

A respeito da interação com sistemas de suporte e sobre o compartilhamento de informações contínua que podem ser fornecidos por uma tecnologia de I4.0, o gestor acrescentou que isso representaria um salto de qualidade para a empresa. Ademais, quando questionado sobre a possibilidade de um trabalho com interação entre homem e máquina, o mesmo foi bastante receptivo. Com isso, percebemos que a equipe de trabalho da Pinheiro Indústria se mostrou aberta para acatar o uso de tecnologias de I4.0.

Por fim, cabe destacar as melhorias que podem ser proporcionadas por meio do uso da planilha de controle de produção desenvolvida no presente estudo. A primeira é o próprio aumento do nível de maturidade e prontidão da empresa para a I4.0 substituindo um método manual e físico de controle por um método digital e informatizado.

A segunda se justifica pelo ganho de tempo fornecido pela planilha para realizar a atividade de registro de dados de produção, desempenhada pelo gestor, e redução das chances de erro operacional que podem ocorrer durante um preenchimento manual. Outras melhorias

fornecidas são representadas pelo aumento de segurança e integridade dos dados que passarão a ser armazenados e organizados com auxílio de uma ferramenta inteligente, ágil e visual de controle. Logo, podemos concluir que o uso da planilha representará um dos passos iniciais para o avanço da empresa rumo à Indústria 4.0.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo geral realizar uma análise de maturidade de I4.0 em uma empresa metal mecânica e sugerir melhorias a fim de elevar o seu nível de maturidade. Para cumprir o objetivo foi adotado o modelo de maturidade da ACATECH de I4.0 e também o modelo de Cubo 3D (SILVA et al, 2019) e desenvolvida uma planilha eletrônica, em Excel, aprimorada para o controle de produção da empresa.

Os instrumentos de pesquisa utilizados foram caracterizados individualmente e devidamente apresentados no referencial teórico. Para compreender e realizar um diagnóstico dos processos da empresa foi utilizado a técnica de Diagrama de Ishikawa. A fim de avaliar a maturidade da indústria estudada foi utilizado o modelo de maturidade da ACATECH e para definir o nível de prontidão para a I4.0 foi usado o modelo de cubo 3D.

Para definir o nível de prontidão da empresa foi adotado um questionário que fora desenvolvido por professores, alunos e pesquisadores da Universidade de Brasília e da RWTH de Aachen, das áreas de engenharia de produção e mecânica. O questionário foi aplicado eletronicamente de modo online, por meio da plataforma Google Forms.

Em relação ao desenvolvimento da planilha eletrônica para auxiliar o trabalho do gestor para organização e armazenamento de dados de produção, este ocorreu respeitando as preferências expressadas pelo mesmo e considerando os princípios e a técnica *Kanban* do Lean Manufacturing para criar um instrumento de trabalho de preenchimento facilitado e intuitivo.

De maneira geral, após as aplicações de todas as ferramentas de pesquisa citadas e realização das análises críticas, a prontidão da empresa foi definida como "Não Iniciada" e índice de maturidade da empresa estudada como o de "Informatização", primeiro estágio de desenvolvimento para a I4.0. Porém, a equipe de produção da empresa, composta por um gestor e cinco operadores, se mostrou muito aberta e empolgada para trabalhar com tecnologias e desenvolver os conceitos da quarta revolução industrial.

Em uma perspectiva organizacional, o trabalho fornece base para melhorias futuras no desenvolvimento da Pinheiro Indústria, organizações protagonistas do estudo realizado. As contribuições podem ser vistas nas análises realizadas, fornecendo um diagnóstico da empresa em relação aos avanços necessários para alcançar o nível de I4.0. Além disso, cabe destacar que

o uso da planilha de controle de produção desenvolvida no estudo representa, para a empresa, um forte desenvolvimento da sua informatização e prontidão para a I4.0, visto que expande a familiaridade da indústria com o uso de sistemas informatizados de trabalho, abandonando práticas manuais de controle.

No que se refere ao meio acadêmico, a pesquisa agrega maior visibilidade para o estudo dos modelos de maturidade de I4.0, na medida que a revisão de literatura realizada buscou apresentar o estado da arte na área. Apesar de uma parte da bibliografia estudada ter sido referente a autores estrangeiros, também foi bastante explorado estudos de autores nacionais e o presente trabalho adotou o uso de um modelo brasileiro para definir o nível de prontidão da empresa.

Cabe ressaltar os limites existentes no presente estudo. O primeiro deles está no próprio formato da pesquisa adotada, que por ter sido aplicada em formato de pesquisa qualitativa abre margem para interpretações enviesadas. Outro fator limitador foi o número de pessoas capacitadas para responder aos questionários aplicados, visto que a unidade produtiva possui apenas um gestor, o que centralizou bastante a opinião de um entrevistado.

Sugere-se que os próximos estudos na área colem mais respostas de outros funcionários da indústria além do gestor, dado que muitas vezes as pessoas que estão no cotidiano produtivo da empresa, apesar de não serem as mais qualificadas para assumir cargos de alta gestão, são as que mais conhecem o processo na prática.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of production economics*, v. 107, n. 1, p. 223-236, 2007.
- AMASAKA, K. “New JIT”: A new management technology principle at Toyota. *International Journal of Production Economics*, v. 80, n. 2, p. 135-144, 2002.
- ARMBRUST, M. et al. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, v. 53, n. 4, p. 50-58, 2010.
- ARBÓS, L C. Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance. *International journal of production economics*, v. 80, n. 2, p. 169-183, 2002.
- ATZORI, L; IERA, A; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- AURÉLIO, B.H. F. et al. (2013). *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Curitiba: Positivo.
- BAHRIN, M. A. K. et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, v. 78, n. 6-13, 2016.
- BENDERS, J.; MORITA, M. Changes in Toyota Motors’ operations management. *International Journal of Production Research*, v. 42, n. 3, p. 433-444, 2004.
- BITTENCOURT, V. L.; ALVES, A. C.; LEÃO, C. P. Lean thinking contributions for Industry 4.0: a systematic literature review. *IFAC-PapersOnLine*, v. 52, n. 13, p. 904-909, 2019.
- BUER, S.; STRANDHAGEN, J.; CHAN, F. TS. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.
- CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro et al. *Gestão da qualidade*. EDa Atlas SA, 2012.
- CIOFFI, R. et al. Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, v. 12, n. 2, p. 492, 2020.
- CORBETT, C. J.; KLASSEN, R. D. Extending the horizons: environmental excellence as key to improving operations. *Manufacturing & Service Operations Management*, v. 8, n. 1, p. 5-22, 2006.
- CORRÊA, B. F. et al. 3D Cube Readiness Model for Industry 4.0: Relating technological, organizational and processes maturity enablers to readiness levels. 2021

- DA SILVA, I. A. et al. Industry 4.0 Maturity Models: A bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2018, 2019.
- DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, v. 123, 2005.
- ELIASSEN, B et al. Digital health revolution: person centric data management models and opportunities in the healthcare sector, the nordic way. 2018.
- FALCONI, V. C. Gerência da qualidade total. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1989.
- GIL, D. et al. Big Data. New approaches of modelling and management. 2017.
- GIL, D. et al. Internet of things: A review of surveys based on context aware intelligent services. Sensors, v. 16, n. 7, p. 1069, 2016.
- GIUSTO, D. et al. (Ed.). The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications. Springer Science & Business Media, 2010.
- GODINHO F., M.; FERNANDES, F. C. Faria. Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. Gestão & Produção, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2004.
- GOMES, Jr., D., REIS, P., PAIVA, A., SILVA, A., BRAZ, Jr. G., GATTASS, M. e ARAUJO, A. (2017). International Journal of Computers, Communications & Control. Aug2017, Vol. 12 Issue 4, p507-518. 12p. 3 Color Photographs, 4 Diagrams, 2 Charts.
- GORECKY, D. et al. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In: 2014 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN). Ieee, 2014. p. 289-294.
- GUPTA, Shaman; JAIN, Sanjiv Kumar. A literature review of lean manufacturing. International Journal of Management Science and Engineering Management, v. 8, n. 4, p. 241-249, 2013.
- HAYES, R. H. Why Japanese factories work. Harv. Bus. Rev., p. 56-66, 1981.
- HINOJO-LUCENA, F. et al. Artificial intelligence in higher education: A bibliometric study on its impact in the scientific literature. Education Sciences, v. 9, n. 1, p. 51, 2019.
- ISACA. Big Data: Impactos e Benefícios. 2013b. Disponível em: < http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/Documents/Big-Data_whp_Por_0413.pdf>.
- JAVAID, M.; HALEEM, Abid. Industry 4.0 applications in medical field: A brief review. Current Medicine Research and Practice, v. 9, n. 3, p. 102-109, 2019.
- JESUS, C.; SILVA, LJOL. Potencialidades dos serviços móveis de Realidade Aumentada aplicados ao Turismo. In: Congresso da Federação Lusófona de Ciências da Comunicação. 2009. p. 2296-2314.

- KAGERMANN, HennH.ing et al. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion, 2013.
- KATAYAMA, H.; BENNETT, David. Lean production in a changing competitive world: a Japanese perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 1996.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, Detlef. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.
- KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. *Sloan management review*, v. 30, n. 1, p. 41-52, 1988.
- LEMOS, Patrícia Brasileiro de Oliveira Machado. Boas Práticas no Apoio à Transformação Digital das PME: o IAPMEI e três organizações congêneres. 2019. Tese de Doutorado.
- LÉXICO, LEAN. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. The Lean Enterprise Institute, p. 98, 2003.
- LIKER, J. K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Bookman Editora, 2016.
- LV, Z.; LI, X.; LI, W.. Virtual reality geographical interactive scene semantics research for immersive geography learning. *Neurocomputing*, v. 254, p. 71-78, 2017.
- MARUDHAMUTHU, R.; KRISHNASWAMY, M. The development of green environment through lean implementation in a garment industry. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 6, n. 9, p. 104-111, 2011.
- MAYR, A et al. Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, v. 72, p. 622-628, 2018.
- MAYORAL, A. et al. SDN orchestration architectures and their integration with cloud computing applications. *Optical Switching and Networking*, v. 26, p. 2-13, 2017.
- NETTO, A V; MACHADO, L.; OLIVEIRA, M. Realidade virtual-definições, dispositivos e aplicações. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica-REIC*. Ano II, v. 2, p. 34, 2002.
- MINAYO, M. C. S. O desafio do conhecimento. São Paulo: Hucitec, 1993
- NUNES, M. L; PEREIRA, A. C.; ALVES, A. C.. Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, v. 13, p. 1215-1222, 2017.
- OKE, S. A. A literature review on artificial intelligence. *International journal of information and management sciences*, v. 19, n. 4, p. 535-570, 2008.
- OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção. Bookman, 1997.

- PEREIRA, A. C. et al. How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions*, v. 47, n. 4, p. 810-822, 2019.
- PERLROTH, N.; SANGER, David E. Hackers hit dozens of countries exploiting stolen NSA tool. *New York Times*, v. 12, 2017.
- RÜBMANN, M. et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. P. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.
- SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- SCHMIDT, R. et al. Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In: *International Conference on Business Information Systems*. Springer, Cham, 2015. p. 16-27.
- SENAI. Portal da Indústria, [s.d.]. Institucional. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/institucional/>>. Acesso em: 15 de out. de 2021.
- SENAI. Senai - SC, [s.d.]. Sobre o Senai. Disponível em: <<https://sc.senai.br/pt-br/sobre-senai>>. Acesso em: 15 de out. de 2021.
- SENAI 4.0. Senai 4.0, [s.d.]. Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0. Disponível em: <<https://maturidade.senai40.com.br/#/auth/login>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.
- SCHUH, Günther et al. Industrie 4.0 maturity index. *Managing the digital transformation of companies*. Munich: Herbert Utz, 2017.
- SCHUH, G. et al. Industrie 4.0 maturity index. *Managing the digital transformation of companies—Update 2020. ACATECH STUDY*, 2020.
- SCHUTZER, D. *Artificial intelligence: an applications-oriented approach*. Van Nostrand Reinhold Co., 1986.
- SILVA, I. A.; BARBALHO, S. C. M.; ADAM, T.; HEINE, I.; SCHMITT, R. H.. Industry 4.0 Readiness: a new framework for maturity evaluation based on a bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2020. *DYNA (MEDELLÍN)*, v. 88, p. 101-109, 2021.
- SILVA, I. A.; BARBALHO, S. C. M.; ADAM, T.; HEINE, I.; SCHMITT, R.. Industry 4.0 Maturity Models: A bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2018. In: *26th EurOMA Conference Operations Adding Value to Society*, 2019, Helsinki. *Operations Adding Value to Society*. Helsinki: Aalto University, 2019. v. 1. p. 1829-1838.
- USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer, 2017.

VALAMEDE, L.; AKKARI, A. Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies, 2020.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, v. 20, p. 233-238, 2018.

WOMACK, J., & JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: Elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J., JONES, D., & ROOS, D. A Máquina que Mudou o Mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

ZHANG, L.; CHEN, X. Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. *Procedia Engineering*, v. 145, p. 1267-1274, 2016.

7 APÊNDICE

Apêndice A - Planilha de PCP, disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1mBs-Ocq3tLOPvdvhzCLfceUWkVjws-rN/view?usp=sharing>

8 ANEXOS

Questionário para definição do nível de maturidade. As perguntas do questionário são divididas em cinco seções conforme descrito a seguir:

1. Primeira Seção - Dados da empresa e do entrevistado
 - 1.1. Email
 - 1.2. Nome Completo
 - 1.3. Número de Celular (com DDD)
 - 1.4. Nome da Empresa
 - 1.5. Endereço Completo da Empresa
 - 1.6. Qual o tamanho da empresa em que trabalha?
 - 1.7. Em que setor você trabalha?
 - 1.8. Qual das opções abaixo melhor caracterizam seu cargo atual?
 - 1.9. Qual é sua área de formação?

2. Segunda Seção - Critérios Organizacionais
 - 2.1. Cultura Organizacional
 - 2.1.1. Como é o suporte TOP-DOWN (da Alta Diretoria) para a Indústria 4.0 (I4.0) em sua empresa?
 - 2.1.2. Como você definiria o grau de AGILIDADE dos processos em sua empresa?
 - 2.1.3. Como você definiria o grau de AGILIDADE dos processos em sua empresa?
 - 2.2. Modelo de negócios
 - 2.2.1. Como são os modelos de negócios baseados em TI / COMPUTAÇÃO EM NUVEM, em sua empresa?
 - 2.2.2. Como são os modelos de negócios baseados em SERVIÇOS, em sua empresa?
 - 2.2.3. Como são os modelos de negócios baseados em SPIN-OFFS (DERIVAGEM), em sua empresa?

- 2.2.4. Como são os modelos de negócios baseados em PARCERIAS, em sua empresa?
- 2.3. Recursos Humanos
 - 2.3.1. Como é a COMUNICAÇÃO (vertical e horizontal) em sua empresa?
 - 2.3.2. Como é o processo de TREINAMENTO em sua empresa?
 - 2.3.3. Como é a gestão da atualização das NOVAS RELAÇÕES CONTRATUAIS na sua empresa?
- 3. Terceira Seção - Critérios Tecnológicos
 - 3.1. Tecnologia da Produção
 - 3.1.1. Como estão os sistemas de suporte ANTROPOMÓRFICO em sua empresa?
 - 3.1.2. Como estão os sistemas de suporte COGNITIVO (hiper automação inteligente) em sua empresa?
 - 3.1.3. Como estão os sistemas de suporte GERENCIAL em sua empresa?
 - 3.1.4. Como é a PRODUÇÃO EM REDE (produção integrada, isto é, horizontal com base nos serviços e não nas hierarquias) na sua empresa?
 - 3.2. Tecnologia da Informação
 - 3.2.1. Como os DADOS estão interligados em sua empresa?
 - 3.2.2. Como é a TRANSPARÊNCIA DA INFORMAÇÃO na sua empresa?
 - 3.2.3. Como estão as DECISÕES DESCENTRALIZADAS (isto é, que usam ferramentas de decisão) em sua empresa?
- 4. Quarta Seção - Critérios de Maturidade dos Processos
 - 4.1. Desenvolvimento de Produtos (Bens ou Serviços)
 - 4.1.1. Como é o DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS (DNP) centrado no cliente, em sua empresa?
 - 4.1.2. Como é o processo de ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO ENTRE EMPRESAS, para sua empresa?
 - 4.2. Atendimento de Pedidos

- 4.2.1. Como é o sistema de PRODUÇÃO PERSONALIZADA / CUSTOMIZADA em sua empresa?
- 4.2.2. Como é a integração da CADEIA DE SUPRIMENTOS em sua empresa?
- 4.2.3. Como é a integração entre VENDAS e OPERAÇÕES em sua empresa?

5. Quinta Seção - Avaliação do Questionário

5.1. Opinião do Entrevistado

- 5.1.1. Como você avaliaria este questionário?
- 5.1.2. Comentários adicionais.