

## **MATURITY IN INDUSTRY 4.0: STUDY IN ELEVEN COMPANIES LOCATED IN GREATER SÃO PAULO**

Giovanna Bertho Pereira - FOC - FACULDADES OSWALDO CRUZ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4042-0088>

Guilherme Campelo Nogueira - FOC - FACULDADES OSWALDO CRUZ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9712-1065>

Gilberto Francisco De Oliveira - UNIP - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5806-175X>

Industry 4.0 concepts have been studied over the past few years, as well as how to implement them within companies. Due to the recent discussion of Industry 4.0, organizations are experiencing a moment of transition, where they deal with analog and digital technologies at the same time (hybridism). The transformation to Smart Factory impacts the company's operational processes, technological development and strategies. In this context, it is possible to analyze companies according to the level of adoption of Industry 4.0 concepts, named as "maturity" in Industry 4.0. This study aims to analyze the maturity level in eleven companies located in Greater São Paulo, classifying them into five distinct levels (from no application of Industry 4.0 to application of practices provided for in Smart Factory). The main contributions of this work are to present an analysis in relation to the different levels of maturity in the companies surveyed and to suggest a checklist that can support companies in the analysis of their current level of maturity and, in this way, enable a plan to reach higher levels of maturity to reach the Smart Factory. This work is characterized as an exploratory qualitative case study in which answers were collected from key people in the organizations surveyed, through a questionnaire developed from a literature review on maturity in Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, Smart Factory, Maturity in Industry 4.0, Digital Transformation, Hibridism

## **MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0: ESTUDO EM ONZE EMPRESAS LOCALIZADAS NA GRANDE SÃO PAULO**

Os conceitos de Indústria 4.0 vem sendo estudados ao longo dos últimos anos, assim como a forma de implementá-los dentro das empresas. Em razão de ser recente a discussão da Indústria 4.0, as organizações vivem um momento de transição, onde lida com tecnologias analógicas e digitais ao mesmo momento (hibridismo). A transformação para Smart Factory impacta os processos operacionais, o desenvolvimento tecnológico e as estratégias da empresa. Neste contexto, é possível analisar as empresas de acordo com o nível de adoção de conceitos da Indústria 4.0, assim nomeado como "maturidade" na Indústria 4.0. Esse estudo tem o objetivo de analisar o nível de maturidade em onze empresas localizadas na Grande São Paulo, classificando-as em cinco níveis distintos (desde nenhuma aplicação de Indústria 4.0 a aplicação de práticas previstas em Smart Factory). As principais contribuições deste trabalho são apresentar uma análise em relação aos diferentes níveis de maturidade nas empresas pesquisadas e sugerir um check-list que possa apoiar empresas na análise de seu atual nível de maturidade e, desta forma, viabilizar um plano para atingir níveis maiores de maturidade para atingir a Smart Factory. Caracteriza-se este trabalho como estudo de caso qualitativo exploratório em que foram colhidas respostas de pessoas chaves nas organizações pesquisadas, por meio de um questionário desenvolvido a partir de revisão da literatura sobre maturidade na Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Smart Factory, maturidade em Indústria 4.0, transformação digital, Hibridismo

# **Maturidade em Indústria 4.0: Estudo em onze empresas localizadas na grande São Paulo**

## **Maturity in Industry 4.0: Study in eleven companies located in greater São Paulo**

### **Resumo**

Os conceitos de Indústria 4.0 vem sendo estudados ao longo dos últimos anos, assim como a forma de implementá-los dentro das empresas. Em razão de ser recente a discussão da Indústria 4.0, as organizações vivem um momento de transição, onde lida com tecnologias analógicas e digitais ao mesmo momento (hibridismo). A transformação para *Smart Factory* impacta os processos operacionais, o desenvolvimento tecnológico e as estratégias da empresa. Neste contexto, é possível analisar as empresas de acordo com o nível de adoção de conceitos da Indústria 4.0, assim nomeado como “maturidade” na Indústria 4.0. Esse estudo tem o objetivo de analisar o nível de maturidade em onze empresas localizadas na Grande São Paulo, classificando-as em cinco níveis distintos (desde nenhuma aplicação de Indústria 4.0 a aplicação de práticas previstas em *Smart Factory*). As principais contribuições deste trabalho são apresentar uma análise em relação aos diferentes níveis de maturidade nas empresas pesquisadas e sugerir um check-list que possa apoiar empresas na análise de seu atual nível de maturidade e, desta forma, viabilizar um plano para atingir níveis maiores de maturidade para atingir a *Smart Factory*. Caracteriza-se este trabalho como estudo de caso qualitativo exploratório em que foram colhidas respostas de pessoas chaves nas organizações pesquisadas, por meio de um questionário desenvolvido a partir de revisão da literatura sobre maturidade na Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Smart Factory, maturidade em Indústria 4.0, transformação digital, Hibridismo

### **Abstract**

Industry 4.0 concepts have been studied over the past few years, as well as how to implement them within companies. Due to the recent discussion of Industry 4.0, organizations are experiencing a moment of transition, where they deal with analog and digital technologies at the same time (hybridism). The transformation to Smart Factory impacts the company's operational processes, technological development and strategies. In this context, it is possible to analyze companies according to the level of adoption of Industry 4.0 concepts, named as “maturity” in Industry 4.0. This study aims to analyze the maturity level in eleven companies located in Greater São Paulo, classifying them into five distinct levels (from no application of Industry 4.0 to application of practices provided for in Smart Factory). The main contributions of this work are to present an analysis in relation to the different levels of maturity in the companies surveyed and to suggest a checklist that can support companies in the analysis of their current level of maturity and, in this way, enable a plan to reach higher levels of maturity to reach the Smart Factory. This work is characterized as an exploratory qualitative case study in which answers were collected from key people in the organizations surveyed, through a questionnaire developed from a literature review on maturity in Industry 4.0.

Key words: Industry 4.0, Smart Factory, Maturity in Industry 4.0, Digital Transformation, Hybridism

## **1 Introdução**

A sociedade vivenciou momentos de transições com três revoluções industriais, e diante dos avanços tecnológicos, com foco na transformação digital e a integração de sistemas automatizados, uma

nova revolução começou a se formar, conhecida como Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (ESPINOLA; DINIZ; OLIVEIRA, 2020).

Segundo Passos (2020), a indústria vem passando por muitas mudanças significativas desde a Primeira Revolução Industrial, que impactam na qualidade dos produtos que são fabricados. Iniciada na segunda metade do século XVIII até meados do século XIX, a Primeira Revolução Industrial teve como principais avanços tecnológicos a máquina a vapor, gerando uma substituição da produção artesanal pela produção fabril. Durante o século XIX até a metade do século XX, aconteceu a Segunda Revolução Industrial, que trouxe a automação e a produção em massa, além da divisão do trabalho manual e intelectual. Na Terceira Revolução Industrial, que teve início na segunda metade do século XX até o final do mesmo, trouxe o avanço das comunicações e o surgimento da informática, assim como o sistema de produção flexível.

A Quarta Revolução industrial, a qual começou na primeira década do século XXI, vem com a fusão das tecnologias e a interação entre domínios físicos, digitais e biológicos, e, também, com sistemas e máquinas inteligentes conectados possibilitando um sistema de produção de personalização em massa. (LIMA; GOMES, 2020).

De acordo com Hernandez-de-Menendez et.al (2020) a Indústria 4.0 traz excelentes vantagens, como a produção digitalizada que proporciona maior qualidade com menor custo dos produtos, proteção do meio ambiente, e, torna empresas mais competitivas, porém, algumas barreiras precisam ser ultrapassadas para alcançar os benefícios. A principal barreira é a falta de mão de obra qualificada para gerenciar os diferentes sistemas, tornando necessário novos perfis profissionais.

Vários fatores motivam as empresas a se preocuparem com o desenvolvimento sustentável, como legislação, pressão dos *stakeholders*, oportunidade econômica e questões éticas decorrentes dos valores da liderança corporativa (ROZI, 2020). Uma maneira de impulsionar a lógica do desenvolvimento sustentável nos negócios é buscando alinhamento com estratégia de negócios e dinâmica do mercado, a fim de contribuir para a vantagem competitiva. Além disso, vale ressaltar que o envolvimento de diversas áreas de conhecimento dentro da gestão de operações sobre o desenvolvimento sustentável é muito relevante, uma vez que os impactos econômicos, sociais e ambientais são gerados a partir de diferentes processos em toda a organização. (MORIOKA; DE CARVALHO, 2017).

A Indústria 4.0, envolve tecnologias, além de englobar fenômenos, como o Big Data, a Internet das Coisas, a Inteligência Artificial, a Robótica, entre muitos outros. Uma análise em evidência para entender a implementação da Indústria 4.0 é o conceito de maturidade, pois através da maturidade é possível mensurar como a organização se encontra para adequação à atual Revolução Industrial, em busca da posição de *Smart Factory* (nível mais alto de maturidade). Criando, portanto, níveis de adequação ao contexto tecnológico, em que cada nível representa um grau de flexibilidade, autonomia e conectividade em seus processos a fim de adquirir vantagens competitivas (SILVA et al., 2020).

A transformação para *Smart Factory* impacta as estratégias da organização, os processos operacionais e o desenvolvimento tecnológico. Um modelo de maturidade pode ser utilizado como forma de avaliar e transformar o escopo de negócios das empresas, entendendo os recursos internos e externos necessários para implementar essas estratégias (LIN; WANG; SHENG, 2019).

Ao se referir ao nível de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas, dois conceitos vêm à tona, na qual é importante diferenciar: prontidão e maturidade, onde a principal diferença está relacionada ao instante em que se ocorre. Prontidão, associado ao início do processo, na qual é definido o grau de descoberta que a empresa pode chegar para se beneficiar dessas tecnologias. Já maturidade, referente a etapas específicas do processo, mostrando o estado completude referente a um sistema operacional em andamento. (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ et al., 2020)

Conforme Lin, Whang e Sheng (2019), para revelar o status de avaliação de cada empresa na Indústria 4.0 é preciso identificar o seu nível de maturidade, na qual se divide em 1 níveis (1 -5). No nível 1 (Realizado), o processo é levemente planejado com uma fraca gestão e falta de organização. No nível 2 (Gerenciado), possuem bom gerenciamento e infraestrutura, porém faltando a integração entre ambos. No nível 3 (Estabelecido), a padronização está presente com sistemas ERP. Chegando no nível 4 (Integrado e Interoperado), há processos automatizados com gerenciamento independente com novas tecnologias. Finalmente no nível 5 (Otimizado), a integração digital é de ponta a ponta adaptando-se a novas tecnologias.

Segundo Silva et.al (2020), as empresas visam a adoção do hibridismo em seus processos produtivos e na esfera social, com, por exemplo, a criação de grupos de colaboradores com o intuito de buscar treinamento funcional para se adequarem ao novo sistema, buscando uma maior interação humana com tecnologias inteligentes. Proveniente da Ciência da Informação, traz como definição uma convergência, exercida pela gestão, de princípios da comunidade aprofundando em abordagens socioculturais através da fusão das tecnologias advindas da Indústria 4.0.

No cenário brasileiro, a Indústria 4.0 está atrasada em comparação a outros países, mas há levantamentos mostram que existe oportunidade de crescimento (AMORIM et al., 2020). Para isso é necessário melhorar condições para acelerar a absorção de tecnologias, o que necessita de melhorias no ambiente industrial, na infraestrutura, nos programas de difusão tecnológica, entre outros (PASSOS, 2020).

O presente trabalho tem como objetivo compreender como um grupo de onze empresas estão situadas em iniciativas de implementar a Indústria 4.0 e como estão lidando com a implementação dos conceitos para atingir *Smart Factory*. Entendendo qual o nível de maturidade destas em relação as tecnologias envolvidas, além de analisar como essas modificações afetam a economia do país e os trabalhadores envolvidos. É importante observar como as empresas se posicionam frente as alterações de paradigma dos novos modelos de negócios, que integram ferramentas sofisticadas e automação dos processos, almejando a otimização, autonomia e flexibilidade de produção e redução dos custos.

A automação digital oferecida pela Indústria 4.0 tem como propósito reduzir paradas nas fábricas, redução de erros humanos e elevar o rendimento da produção, mas também gerar uma necessidade de mão de obra qualificada. Existe um paradoxo na implementação de tecnologias, pois observa-se que o progresso tecnológico elimina a necessidade de muitos tipos de trabalho, deixando muitos funcionários desempregados e em situação pior do que anteriormente (ROZI, 2020). Além disso, uma pesquisa apresenta que a renda média não está aumentando, mesmo com o aumento do PIB, ou seja, mesmo com a produtividade em níveis recordes e com inovações tão rápidas, existe um número menor de empregos e uma renda mediana decrescente. (ESPINOLA; DINIZ; OLIVEIRA, 2020).

Por conta disso, é tão importante estudar e compreender todas as implicações na introdução dos conceitos da *Smart Factory*. Por parte das empresas, há uma compreensão do valor acrescido para a empresa pela implantação da *Smart Factory* através de tecnologias apresentadas pela Quarta Revolução Industrial, entretanto essas empresas constataram um impasse em relação aos trabalhadores, visto a falta de qualificações e conhecimentos avançados para as novas tecnologias impostas pela Indústria 4.0. (SILVA et al., 2020).

Verificado algumas características a respeito da Indústria 4.0, da *Smart Factory* e conceito de maturidade, o problema de pesquisa abrangeu a seguinte questão: “Como as empresas estão posicionadas para atingir a *Smart Factory*?”.

Este estudo caracteriza-se por ser uma pesquisa qualitativa, na qual foram selecionadas onze empresas para obter informações em relação ao nível de maturidade, as relações tecnológicas, pessoas e processos, o conhecimento dos trabalhadores, o nível de hibridismo de suas empresas e por fim, validar a mensuração de maturidade em *Smart Factory*.

## 2 Referencial Teórico

A estrutura deste artigo foi baseada em uma pesquisa e revisão bibliográfica sobre a Indústria 4.0 e os conceitos relacionados com a *Smart Factory*, tais como suas tecnologias, e análises dos conceitos e níveis de maturidade que as empresas possuem para aderência desses aspectos em sua infraestrutura e processos de manufatura. Antes do aprofundamento do referencial teórico na Quarta Revolução Industrial, é importante o entendimento das revoluções que antecederam a da Indústria 4.0 e como se chegou nela.

### 2.1 Primeira revolução industrial

Iniciada no final do século XVII foi impulsionada a partir da construção de ferrovias na qual foram promovidos avanços da agricultura para ambientes mecanizados com a utilização de sistemas movidos a vapor (SOLTOVSKI, 2020). Segundo Ribeiro e Silva (2020), a Primeira Revolução Industrial deu-se início aos mecanismos que buscavam a maximização das máquinas e equipamentos e a potencialização dos recursos necessários através do vapor, substituindo o trabalho artesanal por máquinas à vapor permitindo o aumento na velocidade de produção e a diminuição de custos. O impacto gerado pela revolução não se limitou apenas em bens de consumo, sendo muito utilizada em produção de derivados do ferro e do próprio ferro. Sendo assim, surgiu-se a primeira indústria de produção em massa, criada por Eli Whitney.

### 2.2 Segunda revolução industrial

Segundo Ribeiro e Silva (2020). Já a Segunda Revolução Industrial, entre os anos 1870 e 1914, foi marcada pelo avanço das tecnologias e estudos científicos provenientes da primeira revolução, trazendo como principal marco o desenvolvimento de máquinas movidas a energia elétrica.

A invenção e a inovação andaram de mãos dadas na Segunda Revolução Industrial, e, um dos marcos mais importantes desta, foi a descoberta e o aproveitamento de novas fontes de energia como o petróleo, através da queima do uso no motor à combustão, as usinas hidrelétricas, a energia nuclear, entre outras descobertas que mudaram a produção industrial. (ESPINOLA; DINIZ; OLIVEIRA, 2020).

### 2.3 Terceira revolução industrial

No início dos anos 70, início da Terceira Revolução Industrial, surgiu o Modicon, primeiro controlador lógico programável, permitindo sistemas de automação. Através dos conceitos advindos da engenharia de sistemas de automação foi desenvolvido sistemas com muita flexibilidade e eficiência, trazendo ganhos produtivos. (SOUZA et al., 2020)

A revolução digital, conhecida como Terceira Revolução Industrial, trouxe como avanços os computadores, automação e robotização no processo de produção. Na década de 1990, buscou-se o avanço da integração com a indústria automatizada, programável e flexível. Tendo como base a eletromecânica, mostrou a automação industrial para processos industriais com a utilização de medidores digitais controlados, controladores lógicos e sensores. Por conta da sua automatização, foi fundamental para o surgimento de tecnologias presentes na Quarta Revolução Industrial. (RIBEIRO; SILVA, 2020).

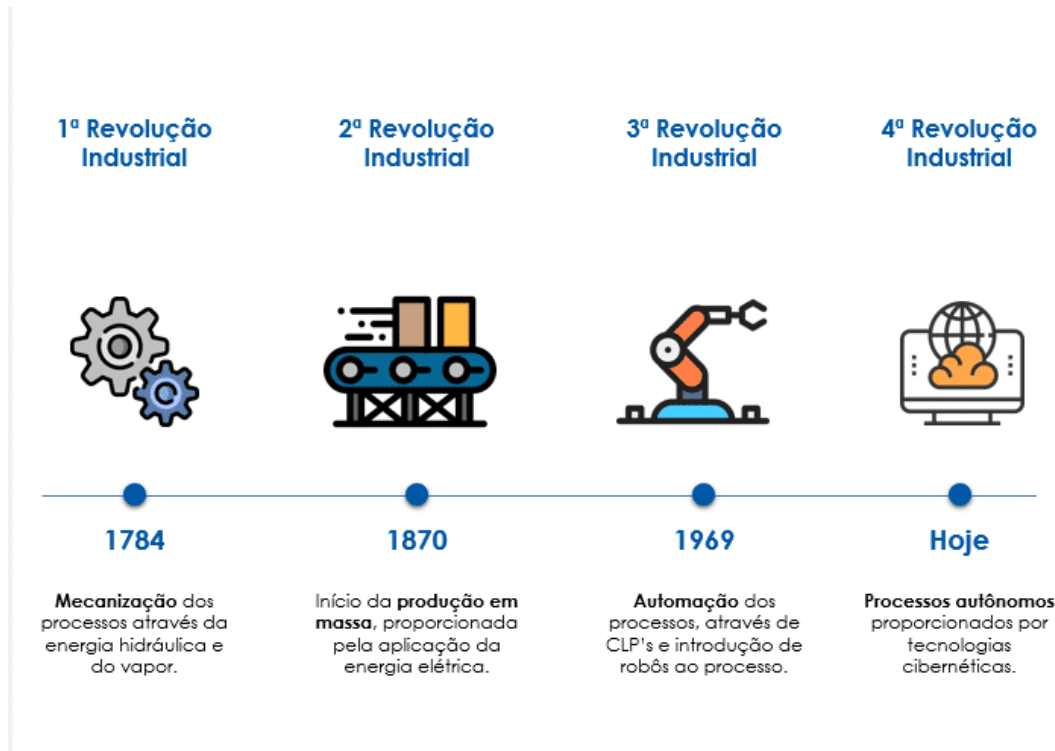
### 2.4 Quarta revolução industrial ou indústria 4.0.

A Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, baseou-se em sua antecessora Terceira Revolução Industrial, e trouxe a tecnologia da informação para o processo, porém com uma interação e comunicação mais forte entre máquinas (M2M) (REBECHI; PINTO, 2020). Essa nova Revolução Industrial traz conceitos tecnológicos importantes de serem citados como: Big Data,

Integração de Sistemas verticais e horizontais, Inteligência Artificial, IoT (Internet das Coisas), dentre outras. (NGUYEN; LUU, 2020).

Todas as revoluções foram importantes para que a indústria se desenvolvesse e chegasse até o atual momento. Na figura 1 é possível observar as fases da industrialização até a atualidade, mostrando suas contribuições para as indústrias.

Figura 1: Ordem cronológica das fases da industrialização.



Fonte: Souza et al. (2020)

A Indústria 4.0 busca a integração entre fábricas que se aproveitam e utilizam de tecnologias modernas com o objetivo de elevar a eficiência e agilidade dos seus sistemas de manufatura e de produção (CHIARINI, 2020). Devido aos avanços tecnológicos advindos da Quarta Revolução Industrial, é permitido a análise em tempo real juntamente com o monitoramento contínuo dos processos e produtos (SOUZA et al., 2020).

Essas tecnologias farão com que as máquinas e os insumos interajam durante o processo industrial, trazendo flexibilidade, autonomia e integração, que vai além da produção e distribuição, alcançando as diferentes etapas da cadeia de valor, indo do desenvolvimento do produto até o pós-venda. (RIBEIRO et al., 2020; ESTEVES et al., 2020).

Segundo Belinski et.al (2020) a base da Indústria 4.0 está em produtos tecnológicos, procedimentos e processos mais ágeis, em ambientes complexos e sujeitos a interrupções e desvios. Um de seus objetivos é conectar seres humanos, máquinas e equipamentos em uma grande rede de comunicação, visando mobilidade, flexibilidade e o estabelecimento de redes inteligentes, promovendo integração vertical (compartilhamento de informações entre o chão de fábrica até os executivos da empresa) e horizontal (conexão entre todos os setores da cadeia de produção).

Um dos conceitos-chave da Indústria 4.0 é a chamada *Smart Factory*, que representa um estado futuro de um sistema de fabricação totalmente conectado, operando principalmente sem força humana, gerando, transferindo, recebendo e processando os dados necessários para realizar todas as tarefas necessárias para a produção de todos os tipos de bens. (OSTERRIEDER; BUDDE; FRIEDLI, 2020)

Segundo Belinski et al. (2020), o foco principal da aprendizagem da Indústria 4.0 está na digitalização, seguida pelos seguintes desafios:

- Integração horizontal, que possui maior volume de dados e informações que melhoram a manufatura, a qual se refere ao compartilhamento de dados e informações entre diversos sistemas de informação, softwares e dispositivos que suportam a atividade produtiva.
- Implantação de engenharia digital entre parceiros.
- Integração vertical, a qual permite maior agilidade na reconfiguração, tanto do sistema de manufatura, quanto no sistema de produção. Ela se refere à capacidade de integrar, reconfigurar e flexibilizar os processos produtivos, desde o desenvolvimento de produtos até a manufatura.
- Estabelecimento de novas infraestruturas sociais e implantação de sistemas de produção.

A transformação digital ganhou significado entre os principais executivos, explorando formas de digitalizar suas organizações quanto operações, produções e serviços. Tecnologias digitais estão transformando fundamentalmente negócios, estratégias de negócios, processos, capacidades da empresa, produtos e serviços, e, relacionamentos entre empresas. (LIN; WANG; SHENG, 2019).

A Indústria 4.0 permitiu a integração de alguns meios tecnológicos, permitindo a unificação dos processos relacionados à produção e a distribuição, unindo o mundo físico e o mundo virtual (NÚÑEZ-MERINO et al. 2020). De acordo com estudos da Confederação Nacional da Indústria (CNI), as principais tecnologias habilitadoras compreendem os seguintes meios e materiais: a internet das coisas, o Big Data, a computação em nuvem, a robótica avançada, a inteligência artificial, novos materiais, e, as novas tecnologias de manufatura aditiva (impressão 3D) e manufatura híbrida (funções aditivas e usinagem numa mesma máquina). (PASSOS, 2020).

O IoT (Internet das Coisas) que traz a inserção das máquinas com a *Smart Factory*, a Inteligência Artificial e avaliações afim de tornar os processos mais eficientes. Essa tecnologia permite a análise e o acesso de grandes quantidades de dados (CONTI; ARAUJO, 2020). Já o Big Data corresponde a análise de grandes dados gerados pelo maquinário da empresa afim de auxiliar nas tomadas de decisões das empresas em tempo real. O Big Data possui seis importantes características que a fazem ser uma tecnologia auxiliadora, sendo elas: volume, variedade, velocidade, veracidade, valor e complexidade. Com isso, essa tecnologia ajuda a otimizar qualidade da produção e economizar energia. Um dos pontos mais importantes da Indústria 4.0 é a geração de dados, por isso o Big Data traz vantagens competitivas. (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ et al., 2020).

Segundo Conti e Araújo (2020), a Internet das Coisas (IoT) é considerada uma rede de informações autônoma na qual são geradas informações necessárias para a sociedade e para a empresa. Por se tratar da fase atual da internet na qual os objetos se relacionam com objetos humanos, os objetos tendem a assumir o controle de atividades do dia a dia sem que o trabalhador esteja totalmente no comando e atento a ação. Suas aplicações são diversas como: design e marketing de produto, manutenção de produto, logística, engenharia de produtos, transporte e até medicina. Essa tecnologia busca uma integração total de dispositivos, o uso de sensores e tecnologias inteligentes o processamento de dados em alta escala, dentre outras vantagens.

Conforme Passos (2020), a computação em nuvem representa um novo modelo de serviço capaz de fornecer todo o tipo de processamento, infraestrutura e armazenamento de dados através da internet (tanto com componentes separados ou uma plataforma completa) baseado na necessidade do usuário. A robótica é a ciência dos sistemas que interagem com o mundo real com ou sem intervenção dos humanos.

Robótica, também conhecido como robôs autônomos, possui tecnologias que desenvolvem máquinas mais eficientes, produtivas e adaptativas em relação ao ambiente e suas condições, devido ao seu controle ser de maneira remota e totalmente integrado, facilitando a troca de informações e

comunicação. Essa tecnologia envolve soluções relacionadas a digitalização. Sua combinação com outras tecnologias 4.0 geram sistemas ciber-físicos, esse que auxiliam na velocidade do feedback dos operadores e além de ajudar em todo processo produtivo, o controle é ampliado também para o pós-venda. (LIMA; GOMES, 2020)

Conforme Pacchini et.al (2019), Inteligência artificial representa, racionaliza e gerencia o conhecimento. Para seres inteligentes, os sistemas devem ser capazes de reconhecer o contexto do ambiente onde são implantados e decidir em tempo real o que fazer na situação dada para atingir o objetivo proposto.

Manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D pode produzir pequenos lotes de produtos personalizados que oferecem vantagens de construção, como no design de peças complexas. O processo compreende depositar material camada sobre camada. (PACCHINI et al., 2019). As características fundamentais da manufatura aditiva são a redução do número de etapas e processos na fabricação de um objeto, a economia de material e a possibilidade de combinação de inéditas geometrias ou materiais. A importância da manufatura aditiva para a Indústria 4.0 está relacionada com a possibilidade de produção personalizada, com grande variedade de formas de peças, produzindo produtos no formato desejado e individualizado, podendo também ser produzida em escala desejada por não depender de moldes. Devido a essa versatilidade, a manufatura aditiva desempenha um papel fundamental na indústria 4.0, economizando custos, tempo e material, sendo uma tecnologia decisiva para a eficiência do processo, reduzindo a sua complexidade e permitindo a prototipagem rápida. (INÁCIO et al., 2020)

Computação em nuvem é um termo genérico que denota acesso remoto com uma resposta extremamente rápida aos dados armazenados em um ambiente externo (PACCHINI et al., 2019). Representa um novo modelo de serviço capaz de fornecer todo o tipo de processamento, infraestrutura e armazenamento de dados através da internet, tanto como componentes separados ou uma plataforma completa, baseado na necessidade do usuário. (PASSOS, 2020).

Existem também, os novos materiais e as novas tecnologias de manufatura híbrida que compreendem, também, nanomateriais, materiais mais leves e resistentes, como é o caso do grafeno. Estes mudarão o conceito de estruturas e processos de fabricação, substituindo materiais hoje em uso, como o aço. (PASSOS, 2020).

Pode-se observar as tecnologias apresentadas, juntamente com suas principais características e impactos esperados na figura 2, a seguir.

Figura 2: Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0.

| <b>Tecnologias</b>        | <b>Características</b>   | <b>Impactos Esperados</b>  |
|---------------------------|--|--|
| Internet das Coisas (IoT) | Emprego da internet como plataforma de intercâmbio de informações, permitindo a comunicação entre um número ilimitado de dispositivos. | Provocar múltiplas transformações econômicas e sociais os próximos anos, devido a mesma permear praticamente todas as áreas da economia. |



|   |   |   |
|---|---|---|
| Big Data  | Compreende a coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados.   | Produzir dados em tempo real sobre quase tudo e que se querem disponíveis em todo o lado.   |
| Computação em nuvem                                       | Permite ao usuário final acessar uma grande quantidade de aplicações e serviços em qualquer lugar e independentemente da plataforma, bastando para isso ter um terminal conectado à “nuvem”.                  | Garantir ao usuário uma boa qualidade e quantidade de aplicações e nos que são serviços disponibilizados ao mesmo.  |
| Robótica  | Emprego de robôs cada vez mais velozes nas tarefas operacionais.  | Aumento da eficiência e na produtividade das empresas; aumento do desemprego.   |
| Inteligência Artificial                                   | Sistemas com características associadas à inteligência do comportamento humano (aquelas relacionadas com a compreensão da linguagem natural, aquisição de conhecimentos, raciocínios e processos cognitivos). | Reduzir custos, aumentar ganhos de eficiência e fortalecer pequenas empresas (desenvolvimento de atividade de características inovadoras), perda de postos de trabalho, mudanças legais, prestação de contas, entre outros. |
| Novos materiais e novas tecnologias de manufatura híbrida | Emprego de materiais mais leves e resistente em substituição aos materiais hoje em uso.   | Melhorar as estruturas físicas e processos de fabricação.   |

Fonte: Passos (2020).

Um aspecto relevante, também utilizado para caracterizar uma Indústria 4.0, é a implementação de sustentabilidade ambiental, definida como desenvolvimento que atenda às necessidades do presente

sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. Estratégias de sustentabilidade pelas empresas de manufatura deve levar em conta os impactos e as novas informações sobre as causas e efeitos. A adoção de um Sistema de Gestão Ambiental e a integração ambiental na cadeia de suprimentos, podem minimizar os impactos ambientais e maximizar a sustentabilidade por meio de redes de fornecedores de empresas e clientes. (LIN; WANG; SHENG, 2019).

Segundo Morioka e De Carvalho (2017), vários fatores motivam as empresas a se preocuparem com o desenvolvimento sustentável. Uma maneira de impulsionar a lógica do mesmo nos negócios é buscando seu alinhamento com a estratégia de negócios e a dinâmica do mercado, a fim de contribuir para a vantagem competitiva de um negócio. Um desafio enfrentado por empresas que pretendem desenvolver indicadores sustentáveis para monitorar seus negócios é definir os considerados mais adequados, que são bons substitutos para os três pilares da sustentabilidade, social, econômico e ambiental, e, simultaneamente, exigem coleta de dados viável e confiável.

As empresas de manufatura devem monitorar seu ambiente ao executar projetos ou serviços para garantir que as adoções de soluções de manufatura inteligentes podem ajudar as comunidades a alcançar meios de subsistência sustentáveis e atingir metas de desenvolvimento. Pode-se concluir que o nível de maturidade necessário para transformar à fabricação inteligente com sustentabilidade ambiental impactará todos os processos de transformação. (LIN; WANG; SHENG, 2019).

As práticas mais valorizadas das empresas estão ligadas a questões como conformidade ambiental (incluído como um dos critérios de seleção de fornecedores), além do monitoramento e redução da geração de resíduo perigosos e efluentes industriais. Nesse sentido, estudos mostram evidências da importância das iniciativas em gestão da qualidade e em integração ambiental na cadeia de suprimentos para apoiar melhorias no desempenho ambiental. (MORIOKA; DE CARVALHO, 2017).

Com todas essas tecnologias, as *Smart Factories* têm o desafio de aproveitá-las, juntamente com aquelas consideradas analógicas, para satisfazer a necessidade do consumidor. Portanto, existe a iminência do conceito de hibridização tecnológica nas organizações para que essas possam se adequar ao novo contexto. O conceito de hibridismo abarca uma convergência tecnológica, o fazer profissional diversificado e o usuário enquanto sujeito, não mais utilitário da informação, mas cooperante no seu uso, produção e acesso, o que resulta na inclusão social de toda a comunidade organizacional. Nesse sentido, a ideia de hibridismo parte de uma visão extensionista do conceito de organizações, nas quais, por meio do conhecimento construído, exige-se o exercício da cidadania. Dessa forma, a interação entre pessoas e tecnologias inteligentes promove a aprendizagem contínua, necessitando de profissionais que geram conhecimento com valor agregado. (SILVA et al., 2020)

Segundo Lin, Whang e Sheng (2019), a implementação da Indústria 4.0 impacta diretamente o planejamento, a estrutura e todo o processo operacional da empresa. Assim, é preciso que a gestão avalie o nível de maturidade presente na empresa para entender e compreender quais os recursos internos e externos são necessários para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0. A gestão deve estar pronta para lidar com processos complexos e dando total suporte para projetos e investimentos proativos, afim de prevenir problemas, corrigir possíveis pontos fracos e analisar melhor seus pontos fortes e suas oportunidades.

A abordagem para medir o grau de maturidade de uma indústria para adoção dos conceitos de Indústria é baseada em uma proposta de referência que permite às empresas avaliarem as quão preparadas estão para atingir esse objetivo e, simultaneamente, identificar áreas de oportunidade para o desenvolvimento de ações que os posicionam de forma mais favorável. Com base na comparação entre as condições ideais e a atual situação da empresa considerando as tecnologias citadas, é possível

identificar as ações gerenciais que melhoram o grau de maturidade das empresas. (PACCHINI et al., 2019). Na figura 3 são apresentados os níveis de maturidade e como são caracterizados cada um deles.

Figura 3: Níveis de Maturidade

| Nível   | Título                   | Descrição de características  |
|---------|--------------------------|---|
| Nível 1 | Realizado                | Fraco controle de processos e operações ineficientes, a gestão é reativa e demonstra habilidades organizacionais inadequadas, as ferramentas tecnológicas não estão alinhadas com a infraestrutura.   |
| Nível 2 | Gerenciado               | A gestão é fraca e carece de capacidade de organizar e facilitar o desenvolvimento tecnológico, as tecnologias são propostas para melhoria.   |
| Nível 3 | Estabilizado             | O processo está bem definido para implementação, a organização exibe habilidades de gerenciamento, mas tem algumas limitações, a infraestrutura para tecnologia inteligente está instalada e operada, mas falta integração.   |
| Nível 4 | Integrado e Interoperado | A integração horizontal e a interoperabilidade incluem cadeias de suprimentos e redes de máquinas, novas tecnologias são avaliadas, os processos são automatizados e as análises avançadas são aplicadas, o gerenciamento torna-se independente.  |
| Nível 5 | Otimizado                | A integração digital ponta a ponta da engenharia é realizada em toda a cadeia de valor e para todos os processos operacionais, a organização se adapta às tecnologias em mudança para melhorar os negócios. Implementar sustentabilidade ambiental e liderar melhorias no ambiente natural. |

Fonte: Adaptado dos autores de (LIN; WANG; SHENG, 2019).

### 3 Procedimento Metodológico

Esta etapa da pesquisa explica a escolha da metodologia e o procedimento de coleta e análise de dados. O presente trabalho teve como objetivo analisar o nível de maturidade de um grupo de empresas em relação a adoção de conceitos da Indústria 4.0 para atingir o *Smart Factory* na sua estrutura e em seus processos. Para isso, a questão de pesquisa que motivou o estudo foi “Como as empresas estão posicionadas para atingir a *Smart Factory*?”.

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso qualitativo, de múltiplos casos, permitindo testar uma teoria. Busca-se pesquisar sobre o objeto de estudo, descrevendo todos os aspectos relacionados ao caso (GUERRA, 2010). Seguindo o enfoque qualitativo no qual o pesquisador é principal instrumento e o ambiente é a origem dos dados, o foco não vem de resultados, mas sim em todo o processo e seu significado em relação a interpretação do objeto de estudo. (FREITAS; JABBOUR, 2011). Segundo Toledo e Shiaishi (2009), o estudo de caso é definido como uma estratégia de pesquisa que tem a intenção de esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões. Portanto, o estudo

tem um caráter exploratório, que traça uma sequência de eventos ao longo de um período, descrevendo um determinado fenômeno dentro de uma realidade singular.

Para a consistência no processo de pesquisa foram cumpridas etapas metodológicas. Inicialmente, houve um estudo de revisão da teoria na qual obteve-se conhecimento para identificar a questão de pesquisa que norteou o estudo proposto. Com a revisão da teoria e a questão de pesquisa formulada, o próximo passo foi determinar o protocolo de pesquisa, o qual contém os procedimentos, os instrumentos e as regras gerais que devem ser seguidas, e, possui uma definição da unidade de análise, potenciais entrevistados, o período de realização do estudo, local de coleta de informações, obtenção de validação interna, e, síntese do roteiro de entrevista. Anterior a etapa de coleta de dados, foram validadas as questões previstas na pesquisa por um grupo constituído por três pessoas, sendo profissionais com sólida experiência de mercado e acadêmicos.

A etapa de coleta de dados ocorreu no período de maio e junho de 2021, com empresas localizadas na grande São Paulo, e, foi estruturada de forma a validar, com base em avaliação teórica, os construtos sobre *Smart Factory* e, também, maturidade e hibridismo dos conceitos de Indústria 4.0 dentro de organizações, utilizando entrevistas e observação participante com um questionário respondido por empregados dessas empresas que ocupam posição de decisão.

O questionário conta com afirmativas de múltipla escolha, em níveis da escala variável entre 1 a 5. Sendo que 1 significa que discorda totalmente e 5, concorda totalmente com a afirmação. O questionário está localizado em plataforma Web e as entrevistas ocorreram de forma on-line, por meio de e-mail. No aspecto do método de validação interna das respostas, foram elaboradas mais de uma questão sobre cada tema, de forma a certificar a coerência das respostas.

O instrumento de coleta de dados é composto de 6 questões e 16 assertivas, sendo as 3 primeiras utilizadas especificamente para tipificar as empresas em 3 categorias, de pequeno, médio e grande porte, utilizando perguntas de múltipla escolha sobre número de funcionários, de faturamento e o segmento de mercado pertencente da empresa. As três seguintes, focam entender melhor quem é o respondente, questionando a última formação acadêmica, o cargo ocupado e o tempo de experiência profissional. As 16 afirmativas presentes no questionário, elaboradas afim de compreender a percepção dos respondentes em relação a aderência de sua empresa aos conceitos de *Smart Factory*, são subdivididas em grupos de concentração, visando a facilidade do entendimento e análise dos níveis de maturidade das empresas por meio de uma análise menos subjetiva. Para isso, as subdivisões ficaram de acordo com grupos de questões:

O 1º grupo, denominado de “Infraestrutura para Indústria 4.0” correspondem as questões 1 a 5, mostram as potencialidades gerenciais na Indústria 4.0. É organizado de forma a mostrar se a empresa possui ferramentas tecnológicas alinhadas a infraestrutura da empresa, se há a capacidade de organizar e facilitar o desenvolvimento tecnológico e se estas são propostas para melhoria de processos.

O 2º grupo, questões 6 e 7, são perguntas sobre conhecimento interno em Indústria 4.0, importantes para saber se a organização exibe habilidades de gerenciamento ou se possui limitações. E nomeada de "Habilidades para Indústria 4.0".

O 3º grupo, do qual as questões de 8 a 12 fazem parte, ajudam a entender como a empresa organiza ou organizou a infraestrutura para adoção da Indústria 4.0, aqui com nome de "Aplicação para Indústria 4.0", informando se a empresa possui tecnologia inteligente instalada e operada ou se falta integração, se os processos são automatizados, com análises avançadas aplicadas, interligados ou sem comunicação entre si.

O 4º grupo, "Sustentabilidade para Indústria 4.0", engloba as questões 13 e 14, aborda as relações da empresa com relação a sustentabilidade nos processos, mostrando se a empresa possui responsabilidade ambiental, com melhorias no meio-ambiente.

O 5º grupo, com as últimas questões, 15 e 16, tratam da gestão de conhecimento na Indústria 4.0, apresentando se a empresa possui processos automatizados, com análises avançadas, que tornam o gerenciamento independente, ou se este ainda necessita de mão de obra, ou seja, o nível de “Autonomia para Indústria 4.0”.

Na figura 4 são abordadas as afirmativas apresentadas no questionário, agrupadas por temas e com citação dos autores de referência.

Figura 4: Categorias de validação em Estudo de Caso

| Conceitos                         | Questões |  | Autores              |
|-----------------------------------|----------|--|----------------------|
| Infraestrutura para Indústria 4.0 | 1        | A empresa tem confiança em suas tecnologias para apoiar as tomadas de decisão e age de maneira preventiva.   | Souza et.al (2020)   |
|                                   | 2        | A empresa consegue captar dados e organiza-los afim de tirar seus principais valores.  | Ribeiro et.al (2020) |
|                                   | 3        | A empresa possui células autônomas, ou seja, sem interferência externa.  | Souza et.al (2020)   |
|                                   | 4        | A empresa possui digitalização de atividade que auxiliam a gestão  | Belinski (2020)      |
|                                   | 5        | A empresa possui integração vertical (compartilhamento de informações entre o chão de fábrica até os executivos da empresa) e horizontal (conexão entre todos os setores da cadeia de produção). | Belinski (2020)      |
|                                   | 6        |  |                      |

|                                |    |  |                                     |
|--------------------------------|----|--|-------------------------------------|
| Habilidades para Indústria 4.0 |    | A empresa possui conhecimento de tecnologias da Indústria 4.0 e foram adotadas.  | Pacchini et.al (2019)               |
|                                | 7  | A empresa possui capacidade de planejar proativamente ocorrência futuras.  | Kamble (2020)                       |
|                                | 8  | A empresa adaptou sua estrutura e layout para receber as tecnologias da Indústria 4.0.   | Espinola e Diniz e Oliveira (2020)  |
|                                | 9  | A empresa possui alto nível de padronização nos processos e produtos, seguindo normas e especificações.  | Lu e Xu e Wang (2020)               |
|                                | 10 | A empresa utiliza sistemas integrados que permitem compartilhamento das informações de dados do chão de fábrica até os executivos, como o ERP. | Hernandez-de-Menendez et. al (2020) |
|                                | 11 |  |                                     |
| Aplicação para Indústria 4.0   |    |  |                                     |

|                                     |    |  |                                      |
|-------------------------------------|----|--|--------------------------------------|
| Sustentabilidade para Indústria 4.0 |    | A empresa utiliza tecnologias como Inteligência artificial e Internet das Coisas.  | Núñez-Merino et. al (2020)           |
|                                     | 12 | A empresa possui um sistema de gestão de todos os elos logísticos, desde dados de fornecedores, até de estoque e vendas.   | Osterrieder e Budde e Friedli (2020) |
|                                     | 13 | A empresa se preocupa com a sustentabilidade em seus processos   | Lin e Wang e Sheng (2019)            |
|                                     | 14 | A empresa realiza relatórios sobre indicadores de sustentabilidade.  | Morioka e Carvalho (2017)            |
|                                     | 15 | A empresa possui sistemas capazes de acumular conhecimento e tomar decisões de forma autônoma, realizando análises dos resultados acumulados nas operações fabris. | Rozi (2020)                          |
| Autonomia para Indústria 4.0        | 16 |  |                                      |

|  |  |  |             |
|--|--|--|-------------|
|  |  | A empresa possui sistemas capazes de acumular conhecimento e tomar decisões de forma semi-autônoma (com intervenção humana), realizando análises dos resultados acumulados nas operações fabris. | Rozi (2020) |
|--|--|--|-------------|

Fonte: Elaborado pelos autores.

O questionário foi elaborado de forma que cada questão seja respondida com uma nota entre 1 a 5. Desta forma, cada resposta obtida determina o nível de maturidade quanto a afirmativa, portanto, com a escolha de nota 1, mais próximo ao nível 1 de maturidade (nenhuma maturidade), assim como a escolha de nota 5, pode ser caracterizada com mais proximidade do nível 5 de maturidade (alta maturidade).

Com as respostas obtidas e com essa divisão das questões em grupos que facilitam o entendimento dos tópicos necessários para a classificação da maturidade da empresa, foi possível classificar cada empresa em um dos 5 níveis de maturidade estudados durante a pesquisa, apresentados na figura 3.

Na figura 5, é apresentada uma matriz utilizada para cada questionário respondido. Cada Conceito aplicado à Indústria 4.0 possui uma quantidade de afirmativas avaliadas pelo respondente. Como há mais de uma afirmativa para cada conceito, foi considerada a de menor nota para definir o nível de maturidade. Com todas as respostas mapeadas na matriz, a definição do nível de maturidade da empresa é a mesma aplicada em conceito, o menor nível de maturidade encontrado define o grau de maturidade da empresa.

Figura 5: Exemplo de aplicação de Matriz de classificação de Nível de Maturidade

| Conceitos de aderência a Indústria 4.0 (figura 4) | Níveis de Maturidade na Indústria 4.0 (figura 3) |                      |                        |                                    |                     |
|---|--|----------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------|
|   | Nível 1 (Realizado)                              | Nível 2 (Gerenciado) | Nível 3 (Estabilizado) | Nível 4 (Integrado e Interoperado) | Nível 5 (Otimizado) |
| Infraestrutura                                    | X  |                      |                        |                                    |                     |
| Habilidades                                       |  |                      | X                      |                                    |                     |
| Aplicação   |  | X                    |                        |                                    |                     |
| Sustentabilidade                                  |  |                      |                        | X                                  |                     |
| Autonomia   | X  |                      |                        |                                    |                     |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pelo exemplo da figura 5, a empresa foi classificada como nível 1, pois, apesar de ter pontuação maior em conceitos como habilidades (nível 3) e sustentabilidade (nível 4), prepondera o menor nível na definição da classificação.

#### 4 Discussão dos Resultados



A partir dos dados coletados do questionário submetido aos respondentes, foi possível iniciar a próxima etapa de análise de dados. O questionário, composto por vinte e duas questões, das quais seis foram para tipificar as empresas de maneira ampla e dezesseis afirmativas afim de entender a percepção dos respondentes sobre de aderência de sua empresa aos requisitos da Indústria 4.0. Esse questionário foi enviado a um grupo de onze empresas localizadas na grande São Paulo, de vários segmentos, na qual obteve-se respostas que as caracterizam conforme a figura 6 a seguir.

Figura 6: Tipificação das empresas respondentes.

|                   | <b>Tipo de indústria de atuação</b> | <b>Faixa de número de funcionários</b> | <b>Faixa de faturamento anual</b> |
|-------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| <b>Empresa 1</b>  | Metalúrgica                         | 10 a 49                                | Entre R\$360mil e R\$4,8milhões   |
| <b>Empresa 2</b>  | Eletroeletrônica                    | 50 a 249                               | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 3</b>  | Cosméticos                          | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 4</b>  | Química                             | 0 a 9                                  | Entre R\$360mil e R\$4,8milhões   |
| <b>Empresa 5</b>  | Metalúrgica                         | 50 a 249                               | Entre R\$360mil e R\$4,8milhões   |
| <b>Empresa 6</b>  | Metalúrgica                         | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 7</b>  | Siderúrgica                         | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 8</b>  | Mineração                           | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 9</b>  | Metalúrgica                         | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 10</b> | Cosmético                           | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |
| <b>Empresa 11</b> | Automobilística                     | 250 ou mais                            | Maior que R\$300milhões           |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que a maioria das empresas possuem 250 ou mais funcionários, classificando assim, como de grande porte. O faturamento auxilia também para delinear a empresa e na validação dos dados, nota-se que a maioria das empresas possuem receita maior que 300 milhões de reais por ano, indo ao encontro da informação extraída do número de funcionários de que são, em sua maioria, empresas de grande porte. Ainda da figura 6, observa-se uma variedade de áreas de atuação e o segmento ramo metalúrgico como opção de escolha mais presente entre os respondentes.

Para qualificar os respondentes, foi solicitado que descrevessem sobre a formação educacional, o tempo de experiência profissional e cargo atual na empresa. Os respondentes têm no mínimo formação superior, experiência superior a 20 anos e cargo de gestão ou direção nas empresas que atuam.

A terceira parte do questionário visa coletar de dados do nível de maturidade, baseando-se no estudo realizado por Lin, Wang e Sheng (2019), divididas em 5 níveis de maturidade. Foram pontuados como cada empresa respondente como posiciona-se frente aos conceitos e bases fundamentais para a implementação da *Smart Industry* e caracterizados de forma sintética na Figura 7.

Figura 7: Tipificação de cada empresa quanto a maturidade para Indústria 4.0

| <b>Empresa</b> | <b>Nível de Maturidade</b> | <b>Análise</b> |
|----------------|----------------------------|----------------|
|----------------|----------------------------|----------------|

|                         |                               |  |
|-------------------------|-------------------------------|--|
| <p><b>Empresa 1</b></p> | <p>Nível 2 (Gerenciado)</p>   | <p>Apesar de ter respostas de nível 3 nos grupos 1 e 4, não é o suficiente para caracterizá-la como nível superior de maturidade, visto que existem conceitos importantes para a <i>Smart Factory</i> que ainda são pouco desenvolvidos nos processos, como a integração vertical e horizontal, a automação do processo e o conhecimento das tecnologias.</p>        |
| <p><b>Empresa 2</b></p> | <p>Nível 3 (Estabilizado)</p> | <p>Apesar de apresentar respostas maturidade de nível 4 quanto ao gerenciamento e sustentabilidade e resposta nível 5 no conhecimento da Indústria 4.0, a organização da infraestrutura e a gestão da empresa, se encontram ainda no nível 3 e, portanto, caracteriza o nível geral da empresa.</p>  |
| <p><b>Empresa 3</b></p> | <p>Nível 2 (Gerenciado)</p>   | <p>Mesmo possuindo nível 3 em organização da infraestrutura e gestão do conhecimento e nível 5 em sustentabilidade, não é o suficiente para colocá-la em um nível superior, pois possui conceitos importantes pouco trabalhados dentro dos processos da empresa, em relação a gerenciamento, alinhamento e conhecimento perante as tecnologias da Indústria 4.0.</p> |

|                  |                                    |   |
|------------------|------------------------------------|---|
| <b>Empresa 4</b> | Nível 4 (Integrado e Interoperado) | Mesmo possuindo respostas nível 5 em organização da infraestrutura, sustentabilidade e gestão do conhecimento, ainda possui conceitos estabelecidos no nível 4.   |
| <b>Empresa 5</b> | Nível 3 (Estabilizado)             | Apesar de apresentar nível 4 em gerenciamento, conhecimento da Indústria 4.0 e gestão de conhecimento, porém todos os nichos estudados são importantes para caracterizar a maturidade, então o nível geral se manteve o mais baixo.                             |
| <b>Empresa 6</b> | Nível 3 (Estabilizado)             | Por possuir uma única resposta de nível 4, nos conceitos de sustentabilidade, não é o suficiente para elevar o nível geral da empresa, visto que os conceitos de infraestrutura e produção, além dos gerenciais e de conhecimento interno se mantêm no nível 3. |
| <b>Empresa 7</b> | Nível 5 (Otimizado)                | Considerada totalmente madura, nível Smart Factory, uma vez que em todos os grupos de perguntas foram obtidas respostas nível 5.  |

|                   |                                    |   |
|-------------------|------------------------------------|---|
| <b>Empresa 8</b>  | Nível 4 (Integrado e Interoperado) | Com apenas o grupo de perguntas sobre sustentabilidade estando no nível 5, não é possível aumentar o nível geral da mesma. De toda forma, possui um nível alto frente ao esperado na pesquisa, possuindo muitos conceitos estabelecidos em seus processos.                    |
| <b>Empresa 9</b>  | Nível 1 (Realizado)                | Apesar de possuir dois grupos de respostas nível 2, tanto em gerenciamento quanto em sustentabilidade, mesmo assim tem um baixo nível de maturidade, possuindo pouca infraestrutura, tanto gerencial, quanto local para a implementação dos conceitos de Smart Factory.       |
| <b>Empresa 10</b> | Nível 5 (Otimizado)                | Sendo totalmente madura, a empresa tem os conceitos de Smart Factory implementados em suas estruturas e em seus processos. É um resultado muito alto frente ao esperado com base nos estudos realizados.  |
| <b>Empresa 11</b> | Nível 4 (Integrado e Interoperado) | Mesmo com gerenciamento, conhecimento da Indústria 4.0 e sustentabilidade estando no nível 5, não é possível aumentar o nível geral da mesma. De toda forma, possui um nível alto frente ao esperado na pesquisa, possuindo muitos conceitos estabelecidos em seus processos. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a análise dos dados apresentados no Quadro 5 sobre o nível de maturidade em cada grupo de questões pode-se notar que nenhuma está “totalmente” não digital e imatura (onde todas as respostas escolhidas pelo respondente foram o nível 1). Em contrapartida, notou-se duas empresas que se classificam como totalmente maduras, portanto consideradas como *Smart Factory*. Tendo integração de ponta a ponta no processo e com atuação nas questões de sustentabilidade. Dentre as onze empresas

consultadas, as empresas 7, no segmento siderúrgico, e 10 do segmento de cosmético classificam-se em Otimizado na Maturidade da Indústria 4.0.

As empresas 4 (Química), 8 (Mineração) e 11 (Automobilística) podem ser consideradas como nível de maturidade elevado, Integrado e Interoperado, próximos, portanto, dos conceitos da *Smart Factory*. As empresas 2 (Eletroeletrônica), 5 e 6 (Metalúrgicas), mas tendo a 6 de maior porte, foram classificadas como maturidade mediana, próximos do nível 3 que as classificam como “Estabilizado”, com algumas limitações e problemas para ser atingir níveis maiores de maturidade. Por fim, as empresas na qual possuem baixos níveis de maturidade, ou seja, possuem ferramentas que não auxiliam a gestão, baixo desenvolvimento tecnológico, com integrações pobres ou inexistentes, dentre outros fatores. São elas as empresas 1 (Metalúrgica), 3 (Cosmético) e 9 (Metalúrgica) e que será exigido maior esforço para sair do patamar “Gerenciado”, para as empresas 1 e 3, e patamar “Realizado” para a empresa 9, visando atingir níveis superiores de maturidade para Indústria 4.0.

Pode-se destacar que independentemente do nível de maturidade e o tamanho da empresa, todas as empresas possuem obrigações relacionadas a sustentabilidade, mesmo que seja de maneira menos intensa. Apenas a empresa 9 possui um nível de maturidade menor que 3 neste quesito.

As empresas com alta maturidade e classificadas como *Smart Factory* possuem áreas de atuação distintas, sendo elas eletroeletrônica, química e automobilística. Analisada a área de atuação, nota-se que era esperado tal nível de maturidade, uma vez que são empresas de grande porte e que estão na vanguarda, e reconhecidas pelos mercados atendidos, pela qualidade e padrão dos produtos, o bem-estar social e ambiental, utilizando o avanço tecnológico para atingir níveis diferenciados.

## 5 Considerações Finais

A expectativa é de que os conceitos da Indústria 4.0 estarão cada vez mais presentes nas empresas brasileiras, uma vez que sua implementação traz uma maior produtividade, lucro e eficiência graças ao aumento da autonomia e flexibilização presente nas tecnologias 4.0 e as empresas que não as adotarem, estarão concorrendo a ficar para trás em competitividade. Assim, as empresas devem adotar estratégias de diversificação para desenvolver ou adotar novos produtos e tecnologias em linha com essa transformação. Essas garantias justificam a reavaliação de suas abordagens para combinar a integração de competências essenciais mudando rapidamente ambientes. Essas descobertas terão implicações para os executivos na era da Indústria 4.0.

O objetivo geral desse trabalho foi pesquisar e analisar empresas brasileiras quanto a maturidade em relação a mais recente Revolução Industrial, denominada como Indústria 4.0. O estudo feito através da revisão da literatura permitiu a construção de um questionário afim de obter informações das empresas quanto ao nível de maturidade em relação as tecnologias presentes na Indústria 4.0, ou seja, entender o quanto essas empresas estão no caminho das implementações para atingir a *Smart Factory*.

Obteve-se respostas de 11 empresas e com base nos dados coletados confrontados com a literatura é possível concluir que os resultados sugerem que ainda há muito espaço para melhorias no nível de maturidade geral das empresas estudadas, 54% das empresas pesquisadas ainda estão em fases intermediárias da implementação dos conceitos de *Smart Factory* e têm desafios a superar para implementação de transformações digitais com vistas a flexibilidade e autonomia de seus processos.

Entretanto, pode-se notar também que algumas empresas obtiveram um resultado superior, aproximando ao patamar de *Smart Factory* (Otimizado). O que denota uma capacidade de moldar a necessidade da Indústria 4.0. Duas das empresas pesquisadas, 18%, possuem alta maturidade, atingindo o nível 5, o que pode ser visto como animador, visto que Indústria 4.0 é um tema relativamente recente.

Uma importante contribuição do presente estudo é apresentar uma proposta de verificação de maturidade para auxiliar as empresas em uma avaliação do seu nível, oportunizando assim, analisar quais melhorias devem ser consideradas no planejamento de ações para atingir a *Smart Factory*. A contribuição acadêmica de destaque desta pesquisa é validar, para uma amostra de onze empresas, o modelo de maturidade desenvolvido por Lin, Whang e Sheng (2019).

Apesar das contribuições, este estudo não está isento de limitações dentro da busca e análise dos dados da pesquisa. O espaço amostral da análise é uma delas, pois foi realizada com um grupo limitado de empresas, em sua maior de grande porte, concentradas em uma região apenas, portanto fornece pouca base para generalização. Como proposta de pesquisas futuras, a recomendação é realizar uma amostragem maior de empresas, considerando a inclusão de pequenas e médias empresas e de outras regiões do país.

## Referências

- AMORIM, Rodrigo Mascarenhas; LUFT, Maria Conceição Melo Silva; MATOS JUNIOR, José Ednilson; SILVA, Marcio Roque dos Santos da. Agenda Brasileira para a Indústria 4.0: Avaliação do Estádio de Execução das Medidas Propostas. *Fsa*, Teresina, v. 17, n. 8, p. 20-47, ago. 2020.
- BELINSKI, Ricardo; PEIXE, Adriana M.M.; FREDERICO, Guilherme F.; GARZA-REYES, Jose Arturo. Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. *Benchmarking: An International Journal*, [S.L.], v. 27, n. 8, p. 2435-2457, 2 jul. 2020.
- CHIARINI, Andrea. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *The Tqm Journal*, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 603-616, 26 jun. 2020.
- CONTI, Gerson Yuri Cagnani; ARAUJO, Geraldo Jose Ferraresi de. A internet da indústria das coisas. *Ágora: revista de divulgação científica*, [S.L.], v. 25, p. 1-17, 12 maio 2020.
- ESPINOLA, Adriana Jazmin Caballero; DINIZ, Raissa da Silva; OLIVEIRA, Gilberto Francisco de. NÍVEIS DE OCUPAÇÃO NO BRASIL COM A INDÚSTRIA 4.0: DESAFIO OU CAOS? *Revista Fatec Sebrae em Debate: Gestão, Tecnologias e Negócios*, São Paulo, v. 7, n. 13, p. 63-103, dez. 2020.
- ESTEVES, Michele; RODRIGUES, Thales Volpe; SANJULIÃO, Lo-Ruana Karen Amorim Freire. Gerenciamento de projeto na indústria 4.0. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, [S.L.], v. 8, n. 14, p. 72-85, 14 dez. 2020.
- FREITAS, W. R. S.; JABBOUR, C. J. C. Utilizando estudo de caso como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. *ESTUDO & DEBATE*, Lajeado, v. 18, n. 2, p. 7-22, 2011.
- GUERRA, J. H. L. Proposta De Um Protocolo Para o estudo de caso em pesquisas qualitativas. *XXX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, 2010.
- HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, Marcela; MORALES-MENENDEZ, Ruben; ESCOBAR, Carlos A.; MCGOVERN, Megan. Competencies for Industry 4.0. *International Journal On Interactive Design And Manufacturing (Ijidem)*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 1511-1524, 2 nov. 2020. Springer Science and Business Media LLC.
- INÁCIO, D., DROZDA, F. O., SILVA, W. A., MARQUES, M. A. M., & SELEME, R. A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 653-667. 2020.
- LIMA, Faíque Ribeiro; GOMES, Rogério. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. *Revista Brasileira de Inovação*, [S.L.], v. 19, p. 1-30, 28 dez. 2020.

LIN, Tzu-Chieh; WANG, Kung Jeng; SHENG, Margaret L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on taiwan enterprises. *International Journal Of Computer Integrated Manufacturing*, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 102-115, 9 dez. 2019.

MORIOKA, Sandra Naomi; CARVALHO, Marly Monteiro de. Discutindo sustentabilidade no contexto de negócios e em relatórios de desempenho: análise de estudos de caso brasileiros. *Gestão & Produção*, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 514-525, 21 set. 2017.

NGUYEN, Xuan Truong; LUU, Quang Khai. Factors Affecting Adoption of Industry 4.0 by Small- and Medium-Sized Enterprises: a case in ho chi minh city, vietnam. *The Journal Of Asian Finance, Economics And Business*, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 255-264, 30 jun. 2020.

NÚÑEZ-MERINO, Miguel; MAQUEIRA-MARÍN, Juan Manuel; MOYANO-FUENTES, José; MARTÍNEZ-JURADO, Pedro José. Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain management: a systematic literature review. *International Journal Of Production Research*, [S.L.], v. 58, n. 16, p. 5034-5061, 14 abr. 2020.

OSTERRIEDER, Philipp; BUDDE, Lukas; FRIEDLI, Thomas. The smart factory as a key construct of industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal Of Production Economics*, [S.L.], v. 221, p. 107-476, mar. 2020.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu; LUCATO, Wagner Cezar; FACCHINI, Francesco; MUMMOLO, Giovanni. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers In Industry*, [S.L.], v. 113, p. 103-125, dez. 2019.

PASSOS, Luis Henrique Santos. A INDÚSTRIA 4.0: fundamentos e principais impactos na economia brasileira. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 53-63, 29 set. 2020. *Revista de Administracao e Negocios da Amazonia*.

REBECHI, Claudia Nociolini; PINTO, Geraldo Augusto. Da lean manufacturing à smart factory: a comunicação nos processos de organização do trabalho no capitalismo contemporâneo. *Contracampo*, Niterói, v. 39, n. 1, p. 84-100, abr./jul. 2020.

RIBEIRO, Jorge Eduardo; VITORIANO, Sérgio Rodrigues; FERNANDES, João Carlos Lopes; SANCHEZ, Renato de Brito. Indústria 4.0: implementação em uma indústria de rodas. *Revista Eniac Pesquisa*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 4-14, 29 jan. 2020.

RIBEIRO, L.S.& Silva, P.R. Impacto da Industria 4.0 nas organizações, na perspectiva do Brasil e Portugal. *Conferência Virtual A Transformação Digital e Tecnologias em Tempo de Pandemia*. *Revista da UI\_IPSantarém*. Edição Temática: Ciências Exatas e Engenharias. 8(4), 151-160. 2020.

ROZI, Engelke. O futuro do mercado de trabalho em face das novas tecnologias: uma análise do arcabouço jurídico de tutela no direito do trabalho brasileiro. *Revista da Escola Judicial do TRT4*, v. 2, n. 3, p. 129-160, 4 out. 2020.

SILVA, Rafaela Carolina; OTTONICAR, Selma Letícia Capinzaiki; BARBOSA, Everaldo Henrique dos Santos; MORAES, Cassia Regina Bassan. O conceito de hibridismo para as empresas que estão se adequando à Indústria 4.0. *Incid: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 82-100, 29 dez. 2020.

SOLTOVSKI, Ramon; RESENDE, Luis Mauricio Martins de; PONTES, Joseane; YOSHINO, Rui Tadashi; SILVA, Leonardo Breno Pessoa da. Um estudo quantitativo sobre os riscos da indústria 4.0 no contexto industrial: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 165, 21 out. 2020.

SOUZA, Marcos Leandro Hoffmann; COSTA, Cristiano André da; RAMOS, Gabriel de Oliveira; RIGHI, Rodrigo da Rosa. A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0. *Journal Of Manufacturing Systems*, [S.L.], v. 56, p. 133-156, jul. 2020a.

TOLEDO, L. A.; SHIAISHI, G. DE F. Estudo de caso em pesquisas exploratórias qualitativas. *Revista da FAE*, v. 12, n. 1, p. 103-119, 2009.