

PRINCÍPIOS DE DESIGN DA INDÚSTRIA 4.0: ESTUDO DE CASO EM 22 EMPRESAS BRASILEIRAS

Aline Menardi Culchesk (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)

Jocieli Francisco da Silva (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)

Mauro de Mesquita Spinola (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)

Vagner Luiz Gava (Instituto de Pesquisas Tecnológicas)

Marcelo Schneck de Paula Pessoa (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)



A implementação da Indústria 4.0 é vista pelas organizações como uma forma de manter a vantagem competitiva. Apesar de amplamente difundida, a Indústria 4.0 tem gerado algumas discussões em torno da sua real definição. Uma das formas para defini-la é por meio dos princípios de design, que estabelecem o que é esperado da Indústria 4.0. Neste estudo utilizamos estes princípios de design: sustentabilidade, interconexão, assistência técnica, transparência das informações e decisões descentralizadas para verificar como sua implementação ocorre nas organizações brasileiras. Por meio da metodologia de estudo de caso, foram estudadas 22 empresas brasileiras para identificar como estas organizações estão implementando estes princípios. Os resultados permitiram identificar que há grande interesse das organizações em implementar a indústria 4.0, mas os princípios de design ainda não foram explorados integralmente. Os princípios de Sustentabilidade, Interconexão e Assistência Técnica apresentam maiores índices de adequação em relação a Transparência das Informações e Decisões Descentralizadas. Os desafios que têm impedido essa implantação foram definidos pelas organizações como aspectos financeiros, ausência de demanda, falta de comunicação entre as máquinas e porte da organização. Por fim, são sugeridas possibilidades para pesquisas futuras em torno dos resultados encontrados. O estudo possibilitou trazer experiências práticas sobre a indústria 4.0 no cenário brasileiro que podem contribuir com pesquisadores e gestores.

Palavras-chave: Indústria 4.0, princípios de design da Indústria 4.0, empresas brasileiras.

1. Introdução

A inovação vem sendo reconhecida, nos últimos anos, como uma das principais formas para aumentar a competitividade e o crescimento sustentado das empresas (BAGNO; SALERNO; DIAS, 2017). Uma das formas de impulsionar a inovação é por meio da digitalização. A digitalização se apresenta como um novo paradigma que transformou inúmeras indústrias de diversos segmentos, entre eles destacam-se o varejo (Amazon), mídia e entretenimento (Netflix, Spotify) e o turismo (AirBnB). Nestes segmentos, os produtos foram transformados e os mercados redesenhados graças às soluções digitais. Essa transformação se estende para os processos produtivos, nos quais há uma mudança digital acontecendo, a chamada Indústria 4.0 (ECHTERFELD; GAUSMEIER, 2018).

O termo Indústria 4.0 surgiu em 2011, na Alemanha, e desde então vem sendo tema de discursos em eventos de países do mundo todo e uma tendência seguida por indústrias globais de diversos segmentos (SCHNEIDER, 2018). Devido à crescente difusão deste termo é importante compreender "como" fazer a Indústria 4.0.

Neste sentido, alguns autores dedicam-se a estudar os princípios de *design* da Indústria 4.0 (EBRAHIMI; BABOLI; ROTHER, 2019; GHOBAKHLOO, 2020; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, 2016; MITTAL et al., 2019; OZTEMEL; GURSEV, 2020). Estes princípios auxiliam na compreensão do que é esperado da Indústria 4.0. Hermann, Pentek e Otto (2016) foram um dos precursores no estudo dos princípios de *design* da Indústria 4.0 e desde então são utilizados como referência pelos demais pesquisadores sobre o tema.

Considerando que há um crescente interesse pelo tema Indústria 4.0 em virtude das inúmeras vantagens esperadas pela sua implantação (MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018), este estudo tem como objetivo identificar como os princípios de *design* da Indústria 4.0 - interconexão, assistência técnica, transparência das informações, decisões descentralizadas e a sustentabilidade - estão sendo implementados nas empresas brasileiras. Ou seja, compreender "Como as Indústrias brasileiras estão implementando os princípios de *design* da Indústria 4.0". Para isto, foi realizado um estudo de múltiplos casos em 22 empresas brasileiras, de diferentes setores, portes e tipos de processos.

O trabalho está dividido em seis Seções: a **Seção 1** aborda a introdução do trabalho; a **Seção 2** apresenta o referencial teórico que embasa a pesquisa; a **Seção 3** apresenta a metodologia utilizada para conduzir a pesquisa; na **Seção 4** são apresentados os resultados obtidos; na **Seção 5** é feita a discussões dos resultados; e, por fim, a **Seção 6** conclui a pesquisa.

2. Fundamentação teórica

Esta seção apresenta os principais conceitos utilizados no desenvolvimento do trabalho: Indústria 4.0 e princípios de *design* da Indústria 4.0.

2.1 Indústria 4.0

Na Indústria 4.0 há a inserção das tecnologias de automação na fabricação (L. XU; D. XU; LI, 2018). As principais tecnologias da Indústria 4.0 e que são citadas na literatura com mais frequência, são os sistemas *cyber* físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, *Big Data Analytics* e computação em nuvem (FELICE; PETRILLO; ZOMPARELLI, 2018; KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES, 2019).

A integração destas tecnologias no ambiente de fabricação torna os sistemas conectados, automatizados, inteligentes e com capacidade de autoconfiguração, contribuindo para o aumento da eficiência e o desempenho da organização (ERBAY; YILDIRIM, 2018, KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019, LASI et al., 2014; MARQUES et al., 2017).

Segundo Marques et al. (2017), vastas oportunidades são adquiridas pela implantação das tecnologias da Indústria 4.0. Entre estas oportunidades estão o aumento da competitividade, a facilidade na adaptação de novos produtos e a redução de riscos e falhas.

Por outro lado, há também uma série de desafios e necessidades que devem ser superados para implantação destas tecnologias, a saber: os desafios técnicos, a necessidade padronização dos sistemas, a segurança da informação e a proteção e privacidade dos dados (L. XU; E. XU; LI, 2018).

2.2 Princípios de *design* da Indústria 4.0

Hermann, Pentek e Otto (2016) apresentam quatro princípios de *design* da Indústria 4.0: interconexão, assistência técnica, transparência das informações e decisões descentralizadas. Estes princípios são dependentes uns dos outros, de modo que, por exemplo, para obtenção da transparência das informações é necessário que os processos, pessoas e coisas estejam interconectados.

A sustentabilidade é apresentada por diversos autores como um ponto que deve ser considerado na implementação da Indústria 4.0 (HABIB; CHIMSOM, 2019). Ou seja, devem ser observados os aspectos sociais, econômicos e ambientais na implementação da Indústria 4.0.

Assim, o Quadro 1 apresenta um resumo dos princípios de *design* da Indústria 4.0.

Quadro 1 - Princípios de *design* da Indústria 4.0

Princípios de <i>design</i>	Descrição
Sustentabilidade	A implementação do paradigma Indústria 4.0 habilita o cumprimento dos objetivos de uma operação sustentável, especialmente no que diz respeito à proteção ambiental (gestão de resíduos, recursos e materiais / produtos) e segurança de processos (estabilidade e transparência).
Interconexão	O princípio da interconexão da Indústria 4.0 requer que as tecnologias de comunicação sem fio desempenhem um papel de destaque na crescente interação, pois permitem o acesso onipresente à internet. Usando tecnologias como Internet das coisas, fornecedores e fabricantes, são conectados pela internet formando uma base para as interações.
Assistência técnica	As tecnologias, Internet das Coisas, realidade aumentada/virtual, entre outras, permitem estabelecer um sistema de manutenção preventiva que funciona com base em modelos de previsão utilizando dados em tempo real, que auxiliam na avaliação real da necessidade de manutenção, autodiagnóstico, reparo de equipamentos e otimização de processos.
Transparência das Informações	A interconexão de sistemas separados (por exemplo, interconectar toda a cadeia de valor por meio de alta largura de banda móvel ou redes de telecomunicações de linha fixa) permite aumentar a transparência, resultando em melhorias na eficiência do processo. O uso de dispositivos móveis e painéis digitalizados podem mostrar dados em tempo real no campo ao verificar ativos críticos, em vez de manter essas informações bloqueadas em uma sala de controle.
Decisões Descentralizadas	Dada a disponibilidade de dados do processo de produção, trabalhadores em todo o mundo podem estar ativos nos mesmos locais de trabalho físicos ou virtuais. A combinação de tomadores de decisão interconectados e descentralizados permite usar informações locais e globais ao mesmo tempo, para melhorar a tomada de decisões e aumentar a produtividade geral.

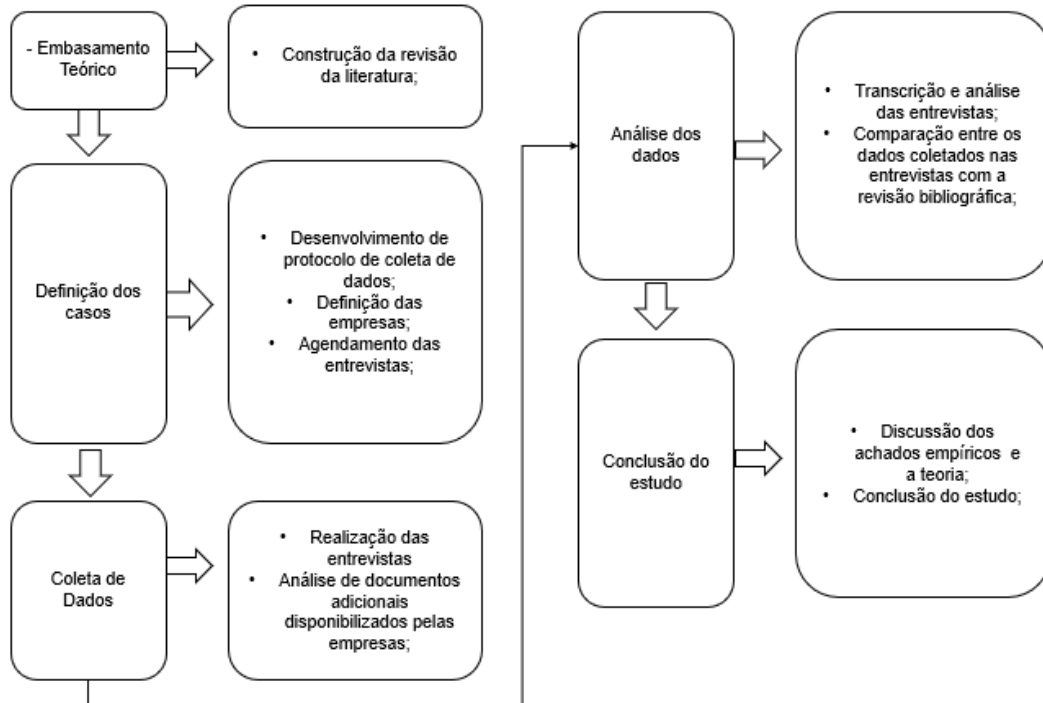
Fonte: Adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2016)

3. Metodologia

A escolha do método de pesquisa é uma das formas garantir a confiabilidade do estudo e a qualidade e a veracidade dos resultados (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Em relação aos procedimentos técnicos, Cauchick et al. (2019) afirmam que na engenharia de produção e na gestão de operações os métodos mais usuais de pesquisa são: survey, estudo de caso, pesquisa-ação e modelagem e simulação. O procedimento técnico escolhido para subsidiar essa pesquisa foi o estudo de caso, por ser o método indicado para ser utilizado em situações nas quais há investigações exploratórias para a construção de teoria (CAUCHICK et al., 2019). Estudo de caso é a metodologia utilizada quando o objetivo é compreender a dinâmica presente em ambientes únicos. Os estudos de caso podem ser de caso único ou múltiplos, incluem vários níveis de análise e geralmente combinam diferentes métodos de coleta de dados (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Nesta pesquisa, foram utilizados casos múltiplos e diferentes métodos de coleta de dados. Assim, para este estudo seguiram-se as etapas para o

desenvolvimento do estudo de caso conforme proposto por Cauchick et al. (2019) e apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Etapas do método de trabalho



Fonte: Adaptado de Miguel et al. (2019)

Etapa 1 - Construção do embasamento teórico: nesta etapa foi realizada a revisão da literatura sobre os temas que embasam o trabalho: Indústria 4.0 e princípios de *design* da Indústria 4.0.

Etapa 2 - Definição dos casos: nesta etapa, primeiramente, foi elaborado o protocolo de coleta de dados que orientou a coleta de dados do estudo (disponível na Figura 2 - Anexo). Depois foram contatadas empresas que possuem tecnologias da Indústria 4.0 implementadas. Estas empresas foram localizadas por meio da rede social de negócios LinkedIn, informações das mídias e contato dos pesquisadores. O primeiro contato com as empresas foi realizado de forma *online*, por videoconferência ou e-mail, com intuito de identificar o interesse em participar do estudo e então apresentar o protocolo de coleta de dados.

Etapa 3 - Coleta de dados: para as empresas que atendiam ao perfil do estudo (Quadro 2) e tinham interesse em participar da pesquisa foi agendada uma visita presencial e/ou uma videoconferência para realizar a entrevista de coleta de dados e para conhecer profundamente como está o processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0. A videoconferência foi utilizada para as organizações que ainda possuíam restrições de acesso devido à COVID-19.

Quadro 2 - Perfil das empresas estudadas

Em- presas	Tipo de Indústria	Quantidade de pessoas entrevistadas	Porte	Processo
A	Produtora e distribuidora de produtos químicos	3 (técnico/ coordenador/ administrador)	pequeno - médio	Semi- contínuo
B	Venda e distribuição de bebidas	2 (desenvolvedor e estagiário)	grande	Discreto
C	Produção de rótulos e embalagens	1 (engenheiro de produção)	grande	Discreto
D	Produção de bebidas	1 (coordenador de automação e dados)	grande	Contínuo e discreto
E	Desenvolvimento e implementação de soluções automatizadas para armazéns, centros de distribuição e instalações de produção.	1 (diretor comercial)	-	Discreto
F	Serviços de topografia, georreferenciamento e licenciamento ambiental com foco em imóveis rurais.	2 (engenheiro agrônomo e zootecnista)	-	Discreto
G	Produção de espelhos e molduras	1 (<i>chief executive officer</i>)	grande	Discreto
H	Desenvolvimento e implementação de projetos de máquinas, equipamentos e de automatização de processos para empresas terceiras	1 (sócio e engenheiro mecânico)	pequeno	Discreto Intermitente
I	Soluções de iluminação (mercado de luminárias e sistemas de iluminação)	1 (operador/supervisor de torno)	-	Discreto
J	Produção de terminais subaquáticos	1 (supervisor)	-	Discreto Intermitente
K	Elaboração de projetos de automação	1 (proprietário)	pequeno	Discreto
L	Mercado de lubrificantes, graxas, fluidos e <i>coolants</i>	1 (encarregado pelas operações da empresa)	-	Discreto Intermitente
M	Farmacêutica	2 (diretor de recursos humanos e diretor da fábrica)	grande	Discreto
N	Produção de embalagens de vidro	3 (responsável pela automação da fábrica, gerente de operações, gerente da qualidade)	grande	Contínuo
O	Farmacêutica	1 (gerente de engenharia industrial)	grande	Batelada
P	Produção de terminais subaquáticos	2 (administrador e engenheiro de produção)	-	Discreto Intermitente
Q	Venda de equipamentos de combate de incêndio, salvamento e resgate	3 (proprietário, diretor de logística e diretor de vendas)	-	Discreto
R	Produção e fabricação de leite	1 (assistente administrativo)	grande	Discreto
S	Produção de produtos higiênicos	1 (operador de máquina)	pequeno	Contínuo
T	Produção de doces	1 (proprietário)	pequeno	Discreto
U	Produção de leite e derivados como iogurtes, manteiga, doce de leite e creme de leite	1 (sócio fundador da companhia)	grande	Contínuos e Discretos

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Etapa 4 - Análise dos dados: Nesta fase ocorreu a análise dos dados coletados. A análise dos dados foi dividida em duas etapas: i) análise do conteúdo dos dados coletados nas entrevistas e nos documentos e ii) verificação, ou não, da teoria proposta no estudo de caso que foi levantada na literatura. Os dados coletados nas entrevistas e documentos foram analisados de acordo com cada um dos princípios de *design* da Indústria 4.0 existentes na literatura.

Etapa 5 - Conclusão do estudo: Nesta fase são apresentadas as principais contribuições do estudo, suas limitações e as direções de pesquisa futuras, resultados da interseção entre as informações empíricas e teóricas.

4. Resultados

Os resultados do estudo de caso são apresentados com base nas informações levantadas junto às próprias organizações com o objetivo de verificar como são tratados cada um dos elementos do modelo conceitual "Princípios de *design* da Indústria 4.0".

4.1 Sustentabilidade

Foi identificado que algumas empresas utilizam as tecnologias implementadas trabalham em prol da sustentabilidade, conforme apresentado:

- Coleta automática dos consumos dentro das cervejarias, como o de energia e de água de cada equipamento (Empresas B e D). A Empresa B utiliza modelos matemáticos para prever parâmetros de entrada para ter um consumo otimizado de energia elétrica. Com isto, já conseguiu uma redução anual de 20 a 30% de água e de energia;
- Utilização de energia renovável nos caminhões, bem como o reuso da sucata obtida dos equipamentos condenados (Empresa B);
- Uso de sistemas de abastecimento de linhas de armazenagem com máquinas autônomas ou AGVs (veículos autoguiados) e tem investido na redução do volume de resíduos (Empresa E);
- Não utilização de sistema hidráulico, somente elétricos ou pneumáticos (Empresa E).

4.2 Interconexão

Observou-se que, no geral, as empresas não possuem os equipamentos de produção interconectados ou um sistema de informação integrado e computadorizado. Embora algumas das empresas entrevistadas possam ter sensores nos processos atrelados a um sistema de gestão de produção ERP (*Enterprise Resource Planning*), as máquinas não possuem comunicação

entre si.

A Empresa U possui central de controle para comando das máquinas. Apesar de representar um grande avanço tecnológico, a Indústria 4.0 tem incentivado cada vez mais a descentralização de decisões. Ou seja, que partes do processo possuam capacidade de tomar decisões em tempo real, sem a necessidade da intervenção humana realizada.

Por outro lado, foram observados investimentos com foco na interconexão como:

- Implementação de sensores para que a obtenção dos dados do processo não seja mais amostral e manual, mas sim contínua e *in line* (Empresa D e U);
- Substituição de linhas antigas de produção por uma nova com transmissores de maior precisão (exemplo: transmissor de vazão mássica) (Empresa U).

4.3 Assistência Técnica

Este princípio de *design* da Indústria 4.0 possui um conceito mais amplo que o atendimento de assistência técnica tradicional. Ou seja, estende-se para a manutenção preventiva, autodiagnóstico, reparo de equipamentos e otimização de processos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Muitas das empresas analisadas não possuem um atendimento automatizado das falhas, caso os equipamentos falhem, a produção é parada.

Foram observadas as seguintes implementações com foco na assistência técnica:

- Utilização de *omni channels* (diversos canais de comunicação). Na Empresa B, por exemplo, os consumidores podem abrir chamados por meio de aplicativo *mobile* (BEES), site e até mesmo WhatsApp;
- Inteligência artificial para definir qual atendimento irá atuar nas solicitações dos chamados dos clientes e uso de painel de priorização que define qual cliente será atendido primeiro de acordo com as regras do negócio (Empresa B). A inteligência artificial também tem sido utilizada na Empresa D para realizar a inspeção de embalagem, bancos de dados para armazenamento de informações dos equipamentos e sistemas de visualização de dados em formato de *dashboards*;
- Uso de sensores. A Empresa C utiliza sensores de temperatura para verificar se os motores estão com a temperatura acima da desejada, caso necessário o sistema de refrigeração é acionado até que a temperatura dos motores das máquinas fique dentro do esperado. A Empresa A usa sensores de pressão para que o moinho desligue automaticamente caso ela esteja alta. Apesar da presença dos sensores nas Empresas C e J não existe uma interconexão dos dados gerados com os demais processos, de modo

que estas informações pudessem auxiliar na tomada de decisões descentralizadas, por exemplo;

- Tentativa de uso da realidade aumentada, foram realizados projetos para que, por meio dos óculos de realidade aumentada um especialista pudesse auxiliar na assistência técnica, mesmo estando fora da cervejaria. No entanto, esse projeto foi descontinuado devido à limitação de visão obtida e, conseqüentemente, a um possível impacto na segurança do processo (Empresa D);
- Controladores lógico programáveis (PLCs), equipamento eletrônico que desempenha funções de controle e monitoramento de máquinas e processos industriais (Empresa D);
- Software Supervisório (em inglês SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*) para monitorar, supervisionar e controlar as variáveis e os dispositivos do processo. Devido ao armazenamento de informações históricas, os supervisórios: geram relatórios estatísticos para otimização dos processos, controlam a qualidade e acionam alarmes caso uma variável do processo esteja fora dos padrões predefinidos (Empresa D);
- Uso de espectrofotômetro para medir a intensidade e o tom da cor da impressão na folha. Caso algum desses fatores não esteja em conformidade com o esperado, a máquina se autorregula e altera a forma de pigmentação até atingir o nível esperado, garantindo a fidelidade e a repetitividade das cores impressas durante todo o processo produtivo (Empresa C).

4.4 Transparência de Informações

Fornecer a transparência das informações a todas as partes interessadas é um desafio.

Observou-se que as empresas (Empresa B, U) tem buscado possibilitar à toda companhia o acesso remoto às programações, documentações dos sistemas e ao desempenho dos equipamentos. A Empresa D tem utilizado a Interface Homem Máquina (IHM) para facilitar a interação entre o operador e os sistemas que atuam na empresa.

Apesar do interesse das organizações em fornecer informações, observa-se que muitas delas não são atualizadas em tempo real e não estão interconectadas, conforme o que é esperado pela Indústria 4.0

4.5 Descentralização das Decisões

Este princípio envolve um alto nível de desenvolvimento tecnológico, uma vez que necessita de informações confiáveis para a tomada de decisão em tempo real. Nas empresas estudadas foram observadas as seguintes contribuições para este princípio:

- Controle de temperatura do forno industrial que pode ser gerenciado remotamente por celular, *tablet* ou computador (Empresa T);
- Acesso *online* aos *softwares* de gestão do armazém, re-parametrizando o sistema, evitando paradas do sistema etc. (Empresa E).

Outras empresas ainda precisam investir em implementações tecnológicas para que estejam preparadas para a Indústria 4.0. Na Empresa A, por exemplo, não há um temporizador para controle da duração do processo, ficando à cargo de um funcionário desligar o tanque e enviar uma amostra para o laboratório realizar um controle de qualidade.

Destaca-se também que a descentralização das decisões também deve se estender para fora da organização. Na Empresa B os equipamentos deixados de comodato nos clientes, por exemplo, poderiam ser equipados com dispositivos inteligentes que comunicam qualquer irregularidade no produto em tempo real para a organização (sede).

5. Discussão dos resultados

Como resultados observou-se que, apesar do interesse das organizações em implementar a Indústria 4.0, os princípios de *design* ainda não foram explorados integralmente por elas. Ainda é preciso que as empresas invistam em um projeto de automação para que os processos sejam menos dependentes da mão de obra manual. Os princípios Sustentabilidade, Interconexão e Assistência Técnica foram os que apresentaram melhores índices de adequação, enquanto a Transparência das Informações e Decisões Descentralizadas mostram-se dependentes da implementação dos demais princípios.

Foram identificados alguns desafios relatados pelas empresas:

- **Algumas máquinas não conseguem receber as tecnologias necessárias** para atuar nos moldes da Indústria 4.0. A Empresa D tem buscado alternativas para estas máquinas, desenvolvendo um programa capaz de ler os caracteres da tela da máquina antiga automaticamente. Assim, acredita-se que será possível usar os equipamentos legados, sem que seja necessário um investimento maior para a obtenção de máquinas novas. O desafio relacionado à falta de integração e padronização das máquinas e equipamentos é citado com frequência na literatura e reconhecido como um dos desafios mais significativos para as organizações que buscam a implantação das tecnologias da indústria 4.0 (K. ZHOU; LIU; T. ZHOU, 2015; MARQUES et al., 2017);

- **Aspectos financeiros.** Os resultados do estudo evidenciam que as empresas não possuem capital disponível suficiente para investir nos projetos de tecnologias da indústria 4.0. As organizações reconhecem a necessidade destas tecnologias e as vantagens oriundas de sua implementação, mas não dispõem de capital financeiro para estes investimentos. Como destaca Erbay e Yildirim (2018), a implantação dos projetos das tecnologias da Indústria 4.0 demandam alto investimento, possuem um certo índice de incerteza e são projetos para os quais é difícil a mensuração de retorno, pois não possuem todas as informações necessárias para cálculos precisos;
- **Ausência de demanda,** tanto por parte dos clientes quanto dos funcionários. Este desafio corrobora com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) de 2018. Essa pesquisa identificou que as empresas que pretendem investir em projetos de tecnologias da indústria 4.0 têm a expectativa destes projetos aumentarem a demanda da organização e melhorarem a utilização dos fatores técnicos, como mão de obra, tecnologias, novos materiais e outros (61%). Por outro lado, os recursos financeiros (36%) e a burocracia (14%) existentes são considerados fatores limitantes para o investimento;
- **O porte da empresa** possui relação com o nível de implementação dos princípios de *design* da Indústria 4.0. No estudo de caso realizado foi observado que, de modo geral, as empresas de grande porte já fazem o uso de tecnologias nos seus processos, inclusive com o desenvolvimento de plataformas internas de automação para facilitar o trabalho dos membros, enquanto as de menor porte estavam, em alguns casos, estavam ainda buscando entender a melhor forma de organizar o seu processo atual. Esse achado corrobora os resultados do estudo da CNI (2018), que afirma que as organizações que possuíam projetos para implantação de tecnologias da Indústria 4.0 eram em sua maioria grandes empresas ou empresas que já utilizavam algum tipo de tecnologia (CNI, 2018).

6. Conclusões

Este estudo permitiu identificar que os princípios de *design* da Indústria 4.0 - interconexão, assistência técnica, transparência das informações, decisões descentralizadas e a sustentabilidade - ainda não foram explorados pelas 22 empresas brasileiras participantes do estudo de caso.

As empresas reconhecem a importância da implementação da Indústria 4.0 como uma alternativa para manter a competitividade sustentada, porém identificam desafios que dificultam sua transição para o contexto da Indústria 4.0. Entre os desafios apresentados, os mais discutidos e difíceis de solucionar são a falta de comunicação entre as máquinas e a falta de capital financeiro das organizações para desenvolverem esses projetos. Estes desafios são ainda mais significativos para as pequenas organizações que, usualmente, possuem menor capital financeiro para investimento em novos projetos e menos experiência na condução de projetos complexos como os da Indústria 4.0.

Este estudo possibilitou evidenciar como as 22 empresas têm implantado os conceitos da Indústria 4.0 e apresentou os principais desafios identificados por essas organizações para a sua implementação. Estes resultados contribuem com pesquisadores e as organizações que estejam buscando soluções tecnológicas para os seus processos e apresenta um panorama do estado atual das organizações brasileiras em relação a implantação dos conceitos de Indústria 4.0, evidenciando que há necessidade de mais estudos sobre esse tema.

Como trabalhos futuros sugere-se buscar compreender as dificuldades das pequenas empresas em investir nos projetos de Indústria 4.0 e como podem ser adaptados os equipamentos legados de modo a adequarem-se à Indústria 4.0 sem a necessidade da sua substituição por novos.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo processo 2019 / 16318-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), incluído no processo número 2017 / 50343-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERÊNCIAS

BAGNO, Raoni Barros; SALERNO, Mario Sergio; DIAS, Ana Valéria Carneiro. Innovation as a new organizational function: evidence and characterization from large industrial companies in Brazil. **Production**, v. 27, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132017000100304&script=sci_arttext. Acesso em 11 mai 2022.

CAUCHICK, Paulo *et al.* **Metodologia científica para engenharia**. Elsevier Brasil, 2019. Livro online.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Investimentos em Indústria 4.0**. Brasília, 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf. Acesso em 11 mai 2022.

- DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.
- EBRAHIMI, M.; BABOLI, A.; ROTHER, E. The evolution of world class manufacturing toward Industry 4.0: A case study in the automotive industry. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 10, p. 188–194, 2019.
- ECHTERFELD, Julian; GAUSMEIER, Jürgen. Digitising product portfolios. **International Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 05, p. 1840003, 2018. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S1363919618400030>. Acesso em: 12 mai 2022.
- ERBAY, Hasan; YILDIRIM, Nihan. Technology Selection for Digital Transformation: A Mixed Decision-Making Model of AHP and QFD. In: **The International Symposium for Production Research**. Springer, Cham, 2018. p. 480-493. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92267-6_41. Acesso em 09 mai 2022.
- FELICE, Fabio; PETRILLO, Antonella; ZOMPARELLI, Frederico. A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1643-1648, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318313429>. Acesso em 01 mai 2022.
- IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Plano de políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil, 2017. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf. Acesso em 10 setembro 2019.
- GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-02-2018-0057/full/html>. Acesso em 08 mai 2022.
- GHOBAKHLOO, M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119869, abr. 2020.
- HABIB, M. K.; CHIMSOM, C. Industry 4.0: Sustainability and Design Principles. 2019 **20th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)**. Anais. 10 mai 2019.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. 2015.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, v. 2016- March, p. 3928–3937, 2016.

- KLINGENBERG, Cristina Orsolin; BORGES, Marco Antônio Viana; ANTUNES JR, José Antônio Valle. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-09-2018-0325/full/html>. Acesso em 08 mai 2022.
- LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em 10 mai 2022.
- MARQUES, Maria et al. Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 3, p. 299-313, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316623249_Decentralized_decision_support_for_intelligent_manufacturing_in_Industry_40. Acesso em 10 mai 2022.
- MITTAL, S. et al. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 233, n. 5, p. 1342–1361, abr. 2019.
- MÜLLER, Julian Marius; KIEL, Daniel; VOIGT, Kai-Ingo. What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 247, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/247>. Acesso 10 mai 2022.
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. **Literature review of Industry 4.0 and related technologies Journal of Intelligent Manufacturing** Van Godewijckstraat 30, 3311 GZ Dordrecht, Netherlands Springer, jan. 2020.
- SCHNEIDER, Paul. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. **Review of Managerial Science**, v. 12, n. 3, p. 803-848, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11846-018-0283-2>. Acesso em 10 mai 2022.
- SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, UFSC. 2005.
- VERMULM, Roberto *et al.* Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486>. Acesso em 08 mai 2022.
- XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em 07 mai 2022.

ANEXO

Figura 2 - Roteiro para entrevistas

Roteiro para entrevista nas organizações

Sobre o entrevistado

- Nome do entrevistado:
- Cargo:

Sobre a entrevista

- Duração total:
- Virtual ou Presencial:
- Forma de registro dos dados:

Observações gerais ao entrevistado sobre a entrevista

Os entrevistados devem receber a seguinte informação no início da entrevista:

“Nesta entrevista será bem-vinda a fala espontânea, vocês possuem total liberdade para usar seu conhecimento e experiência profissionais e opinião pessoal para responder às perguntas; do mesmo modo, pode citar exemplos que facilitem ou ilustrem sua resposta, assim como fazer comentários gerais ou específicos sobre o assunto da questão e seu contexto, dados sigilosos serão preservados”.

Definição de termos utilizados nos questionários

Na etapa de apresentação conceitual os principais assuntos devem ser apresentados de modo a não gerar dúvidas.

Questionário

Os entrevistados devem ser questionados sobre como a automação e cada princípio de *design* da Indústria 4.0 é tratado/ compreendido na organização.

1. A implementação das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 contribui para a "**sustentabilidade**" da organização (Social/Econômico/Ambiental). Qual aspecto foi melhorado?
2. Existe "**interconexão**" entre os processos/máquinas/produtos/pessoas?
 - a. Quais tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 contribuem para esta interconexão?
 - b. Foi realizada alguma adaptação dos equipamentos legados tornando desnecessária a sua substituição por novos para atender à Indústria 4.0?
 - c. Qual a conexão do sistema de automação com outros sistemas da empresa?
3. A organização utiliza alguma tecnologia relacionada à Indústria 4.0 para a realização da "**assistência técnica**"? Quais tecnologias são utilizadas?
 - a. O que ocorre se os equipamentos falharem?
 - b. Existem soluções alternativas para não parar o processo?
 - c. Como a empresa está preparada para incidentes e momentos de funcionamento anormal do sistema de automação e da planta?
 - d. Quantas pessoas são necessárias para operar o processo e o sistema de automação?
 - e. Quais pessoas supervisionam?
 - f. Quais pessoas tomam decisões e atuam sobre o sistema?
 - g. Quais pessoas realizam as funções de manutenção do sistema de automação?
4. A organização utiliza alguma tecnologia relacionada à Indústria 4.0 para criar "**transparência nas informações**"? Quais tecnologias são utilizadas?
5. A organização realiza "**decisões descentralizadas**"? Como ela é feita? Quais tecnologias contribuem para a tomada de decisões descentralizadas?

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)