

# INCERTEZAS ASSOCIADAS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM EMPRESAS NO BRASIL

**Pedro Antonio de Albuquerque Felizola Romeral (Universidade de São Paulo)**

**Eduardo Zancul (Universidade de São Paulo)**



*O rápido avanço da tecnologia traz profundas alterações na configuração das indústrias atualmente. Este novo cenário, marcado pela digitalização e integração ao longo de toda a cadeia caracteriza a Indústria 4.0. Esta nova concepção representa uma forma de lidar com as rápidas mudanças vigentes e suas tecnologias serão capazes de aumentar a digitalização e a automação de ambientes industriais, permitindo respostas mais rápidas às necessidades emergentes. Todo este contexto está rodeado por incertezas, pois não há clara compreensão na literatura sobre as dificuldades encontradas para a adoção destas novas ferramentas ou quais estratégias podem ser adotadas para tal ação. Diversos estudos recomendam cautela no processo de implementação, buscando verificar se os impactos destas ferramentas na organização trarão de fato os benefícios prometidos na literatura. Desta forma, o objetivo deste trabalho é compreender quais são as incertezas associadas à adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em empresas situadas no Brasil. A metodologia adotada conta com uma revisão de literatura sobre os conceitos de Indústria 4.0 e de Incerteza, visando a identificação de barreiras associadas à adoção das tecnologias; e uma coleta de dados feita por meio da aplicação de um questionário online com perguntas abertas e fechadas. Dentre os principais resultados, verifica-se que incertezas técnicas e organizacionais são as que mais marcam este cenário do estudo, sendo recomendados a realização de testes prévios antes da adoção das tecnologias e o cuidado com a comunicação das informações aos envolvidos, para que haja clara compreensão e todos possam evoluir simultaneamente.*

*Palavras-chave: Indústria 4.0, Incertezas, Brasil*

## 1. Introdução

A Indústria 4.0 marca uma era de intensificação da digitalização e automação nos ambientes industriais, em que a comunicação e a integração entre os processos são potencializadas por cadeias de valor digitais (OESTERREICH E TEUTEBERG, 2016). Isto fará com que o desenvolvimento tecnológico e a inovação passem a desempenhar papéis fundamentais nas organizações contemporâneas. Além disso, as mudanças trazidas pela adoção da Indústria 4.0 influenciarão toda a cadeia de valor e proporcionarão um ambiente propício para modelos de negócios inovadores (BARATA et al., 2018).

Uma transição bem-sucedida para a Indústria 4.0 pode proporcionar às empresas ganhos relevantes, com a adoção de novas ferramentas que aprimoram a tomada de decisões e promovem o uso mais eficiente dos recursos (KAGERMANN et al., 2013). Apesar dos aspectos otimistas por trás da Indústria 4.0, a literatura desenvolvida sobre este campo ainda está em desenvolvimento. Os trabalhos publicados focam na conscientização das empresas quanto à necessidade de novos comportamentos para a adoção das tecnologias emergentes, sendo relevante em estudos futuros verificar se as abordagens já adotadas pelas empresas resultam em estratégias bem-sucedidas (PICAROZZI et al., 2018).

Neste cenário, um aspecto importante a ser investigado na Indústria 4.0 são as incertezas associadas à sua adoção. O conceito de Indústria 4.0 é repleto de alto nível de incerteza em muitos aspectos: econômico, social, jurídico, entre outros. Estudar este construto trará dimensões tanto de oportunidades quanto ameaças relativas à essas novas tecnologias. É preciso identificar áreas potenciais cujas pesquisas devem ser priorizadas visando minimizar incertezas e seus efeitos negativos, tanto no processo de adoção quanto de manutenção destas tecnologias (MAGRUK, 2016). A compreensão destas incertezas permitirá que melhores decisões possam ser tomadas, e as ferramentas avançadas de previsão, coleta e tratamento de dados são uma boa alternativa para mitigar os fatores desconhecidos pelos gestores (LEE et al., 2014).

Isto mostra a relevância de se compreender as incertezas na Indústria 4.0. O aumento da complexidade em todos os níveis da empresa, resultante da adoção das novas tecnologias, cria incertezas sobre as respectivas capacidades organizacionais e tecnológicas e quais estratégias são adequadas para desenvolvê-las. Empresas de todo o mundo estão enfrentando desafios substanciais devido aos recentes desenvolvimentos ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos e incertezas precisam ser mitigadas (SCHUMACHER et al., 2016).

Muitos executivos se perguntam com razão por onde e como começar a adoção das tecnologias. Alguns questionamentos são relevantes: Quais dados seriam mais benéficos e quais fatores causam problemas? Quais tecnologias proporcionariam o maior retorno do investimento para

uma empresa e quais tecnologias a empresa deve evitar? (SUNG, 2018). Apesar das repetidas afirmações de que as tecnologias estão prontas para aplicação, é incerto como elas funcionarão em um ambiente de produção no mundo real. Os autores relataram experiências anteriores com processos de automação e concluíram que o grau de estabilidade do processo produzido em condições de laboratório demora-se para alcançar na prática (KRZYWDZINSKI et al., 2016). Após estudar políticas de industrialização em países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, Bogoviz et al (2019) verificaram que poucos são os documentos normativos e legais oficiais relacionados à questão da transição para a Indústria 4.0, sendo necessário um suporte maior das instituições de pesquisa neste tópico.

Schumacher et al. (2016) alegam que uma visão tão abrangente como a trazida pela Indústria 4.0 pode dificultar a decisão sobre quais tecnologias adotar. Para os autores, estas dúvidas são relevantes inclusive para as pequenas e médias empresas manufatureiras, pois estas também não sabem ao certo o esforço financeiro necessário para a aquisição dessa nova tecnologia e o impacto geral em seu modelo de negócios. Logo, para superar a crescente incerteza das empresas de manufatura em relação à ideia da Indústria 4.0, é necessária uma clara compreensão do cenário para fornecer orientação e suporte para alinhar estratégias e operações de negócios.

Percebe-se que apesar de todo o aspecto otimista com a Indústria 4.0, vários estudos recomendam parcimônia e análises cuidadosas quanto ao processo de adoção das tecnologias e seus impactos na organização. Compreender o efeito desse fenômeno auxiliará diversas empresas a adotarem uma estratégia mais assertiva para se enquadrar nesta realidade industrial. Com base em todo o exposto, pode-se dizer que as incertezas levantadas em um determinado país ou região não serão necessariamente as mesmas em outras. Isto faz concluir que estudos sobre incertezas em indústrias localizadas no Brasil são um bom campo a ser explorado e podem trazer insights à outras empresas que desejam adotar estas tecnologias estando em um ambiente que compartilha da mesma cultura, clima, língua, entre outros fatores.

Desta forma, o presente trabalho busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: quais são as incertezas associadas à adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em empresas situadas no Brasil?

O objetivo é compreender eventuais dificuldades no processo de adoção destas novas ferramentas e verificar se barreiras e dificuldades já levantadas por algumas pesquisas empíricas refletem ou não a mesma realidade encontrada na literatura. As incertezas apontadas neste trabalho podem servir de inspiração e apoio para outras empresas que desejam implantar estas tecnologias mas não possuem um planejamento adequado para tal ação.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Indústria 4.0 – Conceitos gerais

Pode-se interpretar a Indústria 4.0 como um conceito marcado pela digitalização e automação de processos e uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) nas operações de produção (LU, 2017). Complementarmente, a Indústria 4.0 representa o uso dos chamados Sistemas Ciber-Físicos (CPS) para a geração de fábricas inteligentes, cuja tendência é reduzir a dependência humana no controle de máquinas (SANDERS et al., 2016).

A Indústria 4.0 pode ser compreendida como o resultado da integração de diversas tecnologias aos processos produtivos, as quais orientam a forma como esses processos são atualmente estruturados e conduzidos (SCHWAB, 2016). Neste aspecto, Rüßmann et al. (2015), em uma cartilha da Boston Consulting Group, sintetizam 9 pilares que sustentam esta nova Revolução Industrial. Cada um destes pilares traz impactos diferentes no sistema produtivo, conforme demonstra a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Pilares da Indústria 4.0 e suas respectivas características

Pilar	Características
Robôs autônomos	Interagem com outros robôs do sistema, agindo em conjunto com o fator humano e proporcionando maior segurança. Com o passar do tempo, custarão cada vez menos e proporcionarão um leque maior de possibilidades de atuação.
Internet das Coisas	Permite a comunicação entre aparelhos, descentraliza o controle das informações e da tomada de decisões.
Big Data	A coleta e análise eficaz de grandes quantidades de dados levantadas otimizam a qualidade do produto e servem de suporte para tomar decisões em tempo real.
Simulação	Aproximam o mundo real do virtual, permitindo testes dos mais diversos aspectos da indústria, sem alterar o espaço físico e oferecendo informações importantes como tempo de setup e qualidade.
Integração horizontal e vertical	Integração e compartilhamento de dados em todos os níveis do sistema, oferecendo maior valor à cadeia e permitindo inclusive a automação de alguns processos.
Nuvem	Aumento do volume do armazenamento de dados. Maior compartilhamento de informações entre empresas, redução no tempo de resposta.
Segurança cibernética	Proteção de sistemas críticos da indústria. Oferece condições seguras e confiáveis para o acesso às máquinas e obtenção de informações.

Realidade aumentada	Permite a geração de informações em tempo real e melhor visualização de processos. Com isto, há a possibilidade de treinamentos virtuais eficazes.
Manufatura aditiva	Permite elaborar lotes customizados em grandes volumes, cujos produtos podem possuir geometria complexa. A Impressão 3D, por exemplo, facilita a geração de protótipos com materiais mais acessíveis.

---

Fonte: Rüßmann et al. (2015)

Segundo Mittelstadt et al (2015), os conceitos e tecnologias relativos à Indústria 4.0, além de trazerem melhorias no produto ou serviço oferecido, permitem melhor domínio do sistema de gestão da qualidade adotado, auxiliando no controle de todos os processos e na sugestão de melhorias. As fábricas operarão cada vez mais em ritmos intensos e serão pressionadas a reduzir custos, sem perder a qualidade já oferecida.

Apesar das promessas que existem com o uso destas tecnologias, nem tudo funciona como o esperado. Não adianta estas tecnologias estarem disponíveis no mercado sem haver maturidade suficiente para serem implantadas. As tecnologias básicas que compreendem a infraestrutura da Indústria 4.0 ainda não estão prontas e totalmente integradas. Portanto, não há maturidade suficiente para muitas das empresas envolvidas para acelerar a transição em direção a nova era (NAKAYAMA et al., 2020).

Logo, a compreensão das incertezas no cenário da Indústria 4.0 pode ajudar empresas a se planejarem quanto àquilo que podem adotar e como priorizar as escolhas, além de contribuir com a literatura existente, vista a necessidade de trabalhos empíricos que discutam o tema.

## **2.2 Incertezas – Definições gerais**

Milliken (1987) caracteriza incerteza em seus estudos como a incapacidade percebida de um indivíduo em prever algo com precisão. Um indivíduo experimenta incerteza porque percebe que não possui informações suficientes para prever com precisão ou porque se sente incapaz de discriminar dados relevantes e dados irrelevantes.

Pich, Loch e De Meyer (2002) alegam que a incerteza é um aspecto inevitável da maioria dos projetos, trazendo dificuldades até mesmo para os gerentes mais experientes. Algumas técnicas como marcos de decisão e cronogramas bem definidos buscam garantir que todos os envolvidos estejam atuando conforme o planejamento, entretanto, quase sempre haverá algum acontecimento que poderá alterar o plano traçado, sendo fundamental trabalhar com uma gestão destas incertezas.

Milliken (1987) propõe três tipos de incerteza enfrentados por administradores: a incerteza de estado, que ocorre quando o ambiente organizacional ou seus componentes são percebidos

como imprevisíveis, dificultando a compreensão de possíveis mudanças externas; a incerteza de efeito, relacionada à dificuldade de prever como eventos ambientais impactarão especificamente a organização, mesmo quando se conhece a ocorrência do evento; e a incerteza de resposta, que se refere à falta de clareza sobre quais ações a organização pode adotar e quais seriam suas consequências, sendo particularmente relevante diante de ameaças ou oportunidades percebidas. Segundo Milliken (1987), os três tipos de incerteza organizacional - de estado, de efeito e de resposta - diferenciam-se pelo tipo de informação que os gestores percebem estar faltando: na incerteza de estado, faltam dados sobre a natureza do ambiente; na de efeito, a lacuna está em entender como as mudanças ambientais impactarão a organização; e na de resposta, a dúvida recai sobre quais ações são possíveis e quais são suas consequências para os objetivos organizacionais.

Outro trabalho relevante na literatura de incertezas é o de Rice et al (2008) que, por meio de um estudo de observações de 12 empresas com projetos de inovação ao longo de 7 anos, identificou 4 categorias de incertezas: a incerteza técnica, relacionada à confiabilidade do conhecimento científico, viabilidade das especificações e processos de fabricação; a incerteza de mercado, que envolve a clareza das necessidades dos clientes, adequação dos modelos de venda e compreensão da posição competitiva; a incerteza organizacional, presente em todos os projetos estudados, refere-se a conflitos internos, resistência à mudança, falta de alinhamento estratégico e dificuldades na transição da inovação para operações; e a incerteza de recursos, que abrange não só limitações financeiras, mas, principalmente, a ausência de competências essenciais, exigindo esforços para aquisição de recursos e parcerias estratégicas.

É importante reforçar que o conceito de incertezas, além de permear a Indústria 4.0 (ARBIX et al., 2017), também pode ser aplicado em diferentes áreas. Um exemplo é o estudo de Heimes et al. (2023), no campo da eletromobilidade, que apresenta uma nova abordagem para conectar a gestão de incertezas e a engenharia de requisitos em projetos de P&D, considerando que os requisitos podem servir de base para a identificação de incertezas .

As tipologias apresentadas por Milliken (1987) e por Rice et al (2008) serão usadas para avaliar o panorama de incerteza presente nos estudos de Indústria 4.0, pois permitem incluir não apenas as tecnologias, mas também questões gerenciais, e como estas incertezas são sentidas e respondidas pelas organizações.

### **3. Metodologia**

O primeiro passo para realização do trabalho foi uma revisão de literatura para compreender os conceitos de Indústria 4.0 e de Incerteza. O próximo passo foi verificar se há estudos que

apontam relação entre estes termos e quais barreiras e oportunidades já foram identificadas na literatura atualmente.

Para isto foram usados os seguintes termos de busca, na base de dados Web of Science: “Industr\* 4.0” AND “uncertain\*” AND (“Innovation” AND/OR “Brazil” AND/OR “adoption”).

Vale ressaltar que o termo referente à Indústria 4.0 está escrito com o asterisco pois algumas publicações originárias da Alemanha, mesmo publicadas em inglês, descrevem o conceito como “*Industrie 4.0*”. O termo referente a incerteza também possui o asterisco para englobar singular e plural, ampliando o espectro de busca. A seleção dos textos foi baseada na leitura dos resumos dos artigos da lista gerada pela *string* de busca. Complementarmente foi aplicada a técnica de *snowballing*, incluindo artigos identificados durante a leitura dos estudos considerados pela base de dados.

Também foi realizada uma coleta de dados, por meio de um questionário misto, com 2 empresas sediadas no Brasil que já adotaram uma ou mais das tecnologias habilitadoras conforme Tabela 1. O questionário, segundo Gil (1999, p.128), pode ser definido “como a técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas etc.”. No caso dos mistos, o autor aponta que certas questões facilitarão análises numéricas enquanto outras permitirão maior descrição de experiências vividas pelo entrevistado.

O questionário foi elaborado no Google Forms e o contato com as empresas foi feito por e-mail. O questionário buscou levantar os seguintes pontos: quais tecnologias de Indústria 4.0 foram adotadas; por quais motivos estas tecnologias foram adotadas; quais os problemas que ocorreram na adoção dessas tecnologias; se houve resistência para a adoção dessas tecnologias e quais foram os aprendizados obtidos com a adoção dessas tecnologias.. Os dados foram analisados individuais e em conjunto, e os resultados estão descritos na seção 4.2.

## **4. Resultados e discussões**

### **4.1 Barreiras à adoção das tecnologias da Indústria 4.0 identificadas na literatura e correlações com os construtos de incerteza**

Poucos estudos de campo foram realizados para avaliar o processo de adoção das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Os que já foram feitos focam exclusivamente em países desenvolvidos e com níveis de industrialização diferentes daqueles encontrados no Brasil.

Um levantamento feito pela consultoria McKinsey, em 2016, buscou mostrar as principais barreiras de implementação citadas pelas empresas entrevistadas. O trabalho foi feito em organizações da Alemanha, Estados Unidos e Japão. As principais dificuldades são apresentadas a seguir: Dificuldade em coordenar ações em diferentes unidades organizacionais; Falta de iniciativa para promover uma transformação radical; Falta de pessoal capacitado, por exemplo, na área de ciência de dados; Preocupações com a segurança cibernética ao trabalhar com fornecedores de terceiros; Falta de um caso de negócios claro que justifique investimentos na arquitetura de TI subjacente.

Para a consultoria McKinsey (2016), para realmente capturar valor da Indústria 4.0, as empresas precisam criar fortes recursos internos e estabelecer uma equipe multifuncional dedicada que impulsiona a inovação com base em uma cultura aberta a mudanças e experimentação.

Neste levantamento identifica-se, conforme apresentado por Rice et al (2008), incertezas organizacionais, explicitada pela dificuldade de gestão entre unidades; incertezas técnicas, devido à preocupações com segurança e compartilhamento de dados e incerteza de recursos, pois falta capacitação adequada dos profissionais que atuarão nesta frente.

Magruk (2016) realizou uma revisão de literatura e elaborou uma lista que apresenta os principais fatores que podem trazer incertezas para a adoção da Indústria 4.0. Os 10 principais são apresentados a seguir: Comunicação entre os principais componentes de rede da Indústria 4.0 com base em grandes quantidades de dados baseados no autocontrole, além de uma rede interna segura; Criação de novos modelos de negócios não conhecidos anteriormente, de cooperação e de novas cadeias de valores, com base em uma escala de relações muito extensa entre todas as partes que criam o ecossistema da Indústria 4.0; Alterar as condições básicas para fazer negócios; A necessidade de analisar dados estruturados e não estruturados; Integração de novos sistemas de TI com o antigo sistema não projetado para a Internet das Coisas; Substituir trabalhadores por novas soluções, tais robôs; Criação pela indústria 4.0 de empregos com outras qualificações além daquelas que substituem; Perda de posição forte nos mercados de exportação de países que são caracterizados por vantagens de custo atuais; Atraso significativo no desenvolvimento econômico de alguns países pode causar uma grande vantagem de fornecedores estrangeiros no início; Os equipamentos devem atender a demandas muito mais altas quanto à confiabilidade de suas ações no contexto de mudanças nas condições climáticas. Novamente considerando os critérios de Rice et al (2008), encontra-se os mesmos tipos de incertezas apontados por McKinsey (2016), podendo apontar também incertezas de mercado, diante da possibilidade de perda de marketshare e de condições de negócios. Isto mostra o quão

complexo é o processo de atualização destas tecnologias e esta diversidade de incertezas precisa ser discutida e mitigada para que haja sucesso nesta modernização.

Com relação à tipologia de Milliken (1987), verifica-se principalmente a incerteza de efeito, visto que o maior desafio é antecipar os prós e contras da adoção das tecnologias. Logo, não é possível prever o impacto disto na organização.

Um problema apontado por Guerreiro et al (2019) e que está em consonância tanto com McKinsey (2016) quanto com Magruk (2016) está na atuação dos recursos humanos. Os autores alegam que é necessário muito conhecimento para abranger todos os diferentes aspectos e peculiaridades das várias tecnologias, portanto a capacitação se torna uma tarefa crítica para a atualização de equipamentos em processo.

É muito importante reconhecer e avaliar os efeitos econômicos da Indústria 4.0. Sung (2018) acredita que esta adoção envolve desafios consideráveis na empresa e, a partir de um levantamento teórico do autor, alguns destes desafios são destacados: problemas de segurança de TI; confiabilidade e estabilidade necessárias para a comunicação crítica entre máquinas (M2M); necessidade de manter a integridade dos processos de produção; necessidade de evitar qualquer problema de TI, pois isso causaria falhas de produção dispendiosas; falta de habilidades adequadas para acelerar a marcha em direção à Indústria 4.0; relutância geral em mudar pelas partes interessadas.

Em todos os casos aqui apresentados, as dificuldades são similares, passando por questões de segurança de dados, capacitações necessárias para atuar neste novo panorama e possível resistência dos envolvidos. Tudo isto novamente está dentro do que Milliken (1987) caracteriza como incerteza de efeito, pois as implicações práticas reais destas tecnologias não são claras.

É possível perceber, diante de todo o cenário exposto, que diversos tipos de incerteza podem ser encontrados no processo de implantação da Indústria 4.0 e ainda faltam caminhos a serem explorados. Bogoviz et al (2019) alegam que as peculiaridades da implantação da Indústria 4.0 são preliminares e a literatura vigente não é capaz de determinar todo o espectro de características que permeiam este processo. O ideal é avaliar uma implementação prática ativa para maior contribuição com o tema. Muitas das suposições apresentadas na literatura requerem verificação adicional com o acúmulo de experiência prática de formação da Indústria 4.0.

#### **4.2 Análise das respostas das empresas brasileiras participantes deste estudo**

As características de cada organização bem como uma síntese das tecnologias adotadas são apresentadas na Tabela 2, observando que o nome das empresas foi ocultado para preservar sua confidencialidade.

Tabela 2 – Características das empresas e tecnologias de Indústria 4.0 adotadas

<b>Empresa</b>	<b>Porte</b>	<b>Segmento</b>	<b>Tecnologias adotadas</b>
A	Multinacional	Embalagens	Nuvem Segurança cibernética
B	Empresa de Pequeno Porte (EPP)	Alimentos congelados	Nuvem Big Data Simulação Integração horizontal e vertical

Fonte: Os autores (2025)

De forma geral, verifica-se que diferentes portes e segmentos foram levantados, e ambos os casos adotaram mais de uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 apresentadas na Tabela 1.

No caso da empresa A, a Nuvem foi adotada para aumentar armazenamento de dados e facilitar a comunicação e compartilhamento de informações com outras sedes em diferentes partes do mundo. A Segurança Cibernética foi uma consequência da adoção da nuvem, para que as informações ficassem seguras e o risco de perda fosse substancialmente reduzido. Na empresa B, a Nuvem também foi adotada por conta do volume de dados a serem armazenados e para facilitar a comunicação com toda a cadeia de suprimentos. Além disso, a empresa B apontou que a Nuvem ajuda na análise das informações entre a equipe inteira, disponibilizando relatórios de forma mais dinâmica e veloz. O uso de Big Data permite avaliar os diferentes tipos de alimentos oferecidos e facilita a personalização de campanhas e cardápios para os clientes. O uso de um sistema de Simulação auxilia no planejamento, abastecimento, roteirização, além da programação, planejamento e controle da produção. A Integração Horizontal e Vertical é necessária para atingir o plano de crescimento da empresa.

Com relação à ocorrência de problemas na adoção das tecnologias apontadas, as duas empresas responderam “Sim”, o que indica que ambas tiveram intempéries durante a transição de ferramentas. A empresa A relatou o caso de mudança de plataforma de e-mails. Para que a integração na nuvem mundial fosse concluída, todos precisariam estar com seus endereços de e-mails atualizados com o novo “@”. Isto fez com que a transferência de todos os e-mails e anexos de cada funcionário precisasse ser devidamente feita. Este processo, apesar de ter sido realizado em outras unidades anteriormente, passou por diversos problemas. Foi relatado pela empresa A que diversos treinamentos foram realizados para garantir que todos os funcionários entendessem como seria a feita a transição dos e-mails e quais passos deveriam ser seguidos. Além disso, uma equipe ficou de prontidão atendendo e dando o devido suporte quando necessário. Apesar das instruções passadas, muitos usuários tiveram dúvidas e diversos

problemas ocorreram no processo, como perda de anexos importantes e e-mails que ficaram travados e impossibilitados de usar por mais de um dia. Esta falta de acesso dificultou a comunicação entre funcionários e alguns inclusive ficaram sem participar de reuniões nestes dias por não estarem cientes das mesmas, o que expôs uma concentração de certos comunicados apenas via e-mail.

Isto claramente é apontado por Milliken (1987) como incerteza de efeito, afinal já se sabiam as diretrizes a seguir para a atualização dos e-mails mas não o resultado da aplicação das mesmas, e como incerteza de resposta, pois a empresa não fez uma comunicação que fosse totalmente compreendida por todos. Na classificação de Rice et al (2008) verifica-se incerteza técnica, por conta da instabilidade do sistema, e incerteza organizacional, por conta da estratégia adotada para preparar os funcionários, que teoricamente seria suficiente mas na prática revelou-se falha em alguns pontos.

A empresa B apontou alguns problemas de forma mais genérica. No caso da migração para a nuvem houve erros e perdas de arquivos compartilhados. No Big Data, alguns algoritmos falharam na personalização de cardápio. As simulações resultaram em alguns momentos em super ou subdimensionamento da produção.

Estas respostas apontadas pela empresa B, apesar de sucintas, já nos trazem alguns *insights* importantes. O primeiro deles é que a transição para sistemas na nuvem, assim como apontado pela outra organização, pode apresentar falhas, principalmente se muitos acessos simultâneos e grandes volumes de arquivos estiverem sendo transferidos ao mesmo tempo. Isto faz requerer uma estrutura de *backup* de informações relevantes que as empresas precisam estruturar (como classificar a importância dos arquivos e qual procedimento adotar com estes?).

A Simulação também nos mostra que a promessa de prever diversos aspectos de produção e vendas depende de muitos fatores. Tudo vai depender de como a organização armazena e analisa seus dados. É preciso que estas informações sejam confiáveis a ponto de poder elaborar previsões mais confiáveis. Além disso, simular linhas de produção é algo que precisa considerar o fator humano e incluir tolerâncias. As pessoas não trabalham no mesmo ritmo e não absorvem todo o conhecimento necessário da mesma forma e nem no mesmo tempo. Logo, simular linhas com informações erradas pode gerar uma falha em cadeia, se estas informações forem passadas para a frente e a programação da produção contar com estes *lead times*.

Aqui novamente é detectada incerteza de efeito segundo Milliken (1987) e técnica segundo Rice et al (2008). A companhia B tinha um planejamento sobre as tecnologias que seriam relevantes, mas não pôde antever como aplicar os próprios dados nos sistemas da melhor forma possível, o que acabou gerando previsões falhas na produção. As dificuldades identificadas na

empresa B estão de certa forma apontadas também por Magruk (2016) e Sung (2018), o que novamente faz aumentar a relevância de se atentar aos aspectos apresentados antes de realizar mudanças.

Com relação à possível resistência de funcionários com a adoção das novas tecnologias, ambas as organizações responderam “não” no questionário. Não houve detalhamento sobre pontos positivos ou negativos neste aspecto. Nas respostas obtidas ao longo do questionário não foi apontada a falta de conhecimentos por parte dos funcionários, o que caracterizaria uma incerteza de recursos segundo Rice et al (2008), e que foi apontada como uma dificuldade no levantamento de McKinsey (2016), Magruk (2016) e Sung (2018).

As empresas também foram questionadas com relação aos aprendizados obtidos na adoção das novas tecnologias. A empresa A apontou que a clareza na comunicação é um fator crucial para que todos possam evoluir em conjunto. Foi relatado também que estão montando um “relatório de lições aprendidas” para estes casos, já que alguns acontecimentos na sede brasileira foram diferentes das demais. No caso da empresa B foi apontada a relevância que as tecnologias da Indústria 4.0 tem para a escalabilidade. A empresa B se diz adepta à Indústria 4.0 e alega que nenhuma destas ferramentas faria sentido se não permitisse o objetivo de crescer de forma rápida e agressiva.

Questionadas sobre o que não fazer em uma próxima rodada de adoção de tecnologias, foram obtidas respostas que apontam o mesmo caminho. As duas empresas relataram a importância de fazer diversos testes, em diferentes escalas, antes de implementar qualquer tecnologia.. É preciso ter uma análise crítica de como fazer a implantação. A empresa B enfatiza a relevância de testes prévios. Pode-se inferir que isto é uma forma dos envolvidos conhecerem a tecnologia de forma aplicada às necessidades da companhia e entender suas potencialidades e limitações. Com estas respostas obtidas, é possível perceber que a adoção das ferramentas precisa ser cuidadosa e deve-se ter parcimônia ao avaliar os benefícios e procedimentos da implementação. A Tabela 3 busca sintetizar as incertezas identificadas, classificando-as segundo as tipologias de Milliken (1987) e Rice et al (2008).

Tabela 3 – Síntese das incertezas dos estudos relacionadas com Milliken (1987) e Rice et al. (2008)

<b>Autores</b>	<b>Tipo de incerteza</b>	<b>Ocorrência identificada neste estudo</b>
Milliken (1987)	Efeito	Capacidade dos sistemas e usos simultâneos; Resultados apresentados pelos algoritmos e tecnologias após a adoção.
	Resposta	Estratégia de comunicação das atividades utilizada para a transição de tecnologias
Rice et al. (2008)	Técnica	Capacidade dos sistemas e usos simultâneos; Capacidade de leitura dos algoritmos
	Organizacional	Estratégia de comunicação das atividades utilizada para a transição de tecnologias

Fonte: Os autores (2025)

## 5. Considerações finais

O presente trabalho teve o intuito de discorrer sobre as incertezas e dificuldades na adoção de tecnologias da Indústria 4.0 em organizações localizadas no Brasil. Após a revisão de literatura percebeu-se que poucos estudos buscam compreender o panorama brasileiro e como estimular a competitividade da indústria nacional por meio da adoção destas novas ferramentas. Além disso, pouco se discute no cenário global quais as barreiras já identificadas nesse processo. Com base neste cenário, um questionário foi elaborado para ser aplicado em empresas que já adotaram uma ou mais destas tecnologias, para descobrir quais incertezas estão associadas a esta adoção, as lições aprendidas e outros fatores, visando compreender o que ocorre de fato nesta jornada e poder levantar dados importantes que possam servir de apoio para tomada de decisão de outras empresas do país.

Verifica-se nas respostas analisadas que o fator humano é fundamental em todo o processo de adoção. A adaptação à Indústria 4.0 deve ocorrer considerando que todos os envolvidos precisam compreender o que está sendo mudado e como operar as máquinas, e as informações transmitidas nem sempre são entendidas por todos da mesma forma. Máquinas podem se comunicar e trocar dados, mas as informações geradas por todo o sistema são inúteis se as mesmas não forem compreendidas e bem utilizadas pelos funcionários.

Os exemplos apresentados não apontaram a necessidade de mudanças radicais nos comportamentos e não foi relatada nenhuma questão financeira (dúvidas, dificuldades) que estivesse dentro do contexto do questionário. Além disso, a questão de incerteza de recursos e capacitações, muito apontada na literatura, não foi identificada nas respostas.

Como sugestões de pesquisa, pode-se escolher um porte ou setor empresarial para aprofundar os estudos. Além disso, reforçar o conteúdo levantado em questionários por meio de entrevistas

subsequentes pode trazer uma maior gama de informações. Podem ser usadas múltiplas fontes de dados, como documentos das empresas, caso os mesmos sejam disponibilizados.

## REFERÊNCIAS

ARBIX, G.; SALERNO, M. S.; ZANCUL, E.; AMARAL, G.; LINS, L. M. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estudos CEBRAP**, v 36, p.29-49, 2017.

BARATA, J.; CUNHA, P. R.; STAL, J. Mobile supply chain management in the Industry 4.0 era: An annotated bibliography and guide for future research. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 31(1), p. 173–192, 2018.

BOGOVIZ, A. V.; OSIPOV, V. S.; CHISTYAKOVA, M. K.; BORISOV, M. Y. Comparative Analysis of Formation of Industry 4.0 in Developed and Developing Countries. In: E. G. Popkova et al. (eds.). **Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century**. Springer International Publishing, p. 155-165, 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed., São Paulo. Editora Atlas, 1999.

GUERREIRO, B. V.; LINS, R. G.; SUN, J.; SCHMITT, R. Definition of Smart Retrofitting: First Steps for a Company to Deploy Aspects of Industry 4.0. In: A. Hamrol et al. (eds.). **Advances in Manufacturing**. Springer International Publishing, p. 161-170, 2019

HEIMES, H. H.; KAMPKER, A.; KEHRER, M. GERZ, J.; SALERNO, M. S.; ZANCUL, E. Bridging Uncertainty Management and Requirements Engineering in R&D projects: a case in the e-mobility sector. **Procedia CIRP**, v. 119, p. 321-326, 2023.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: final report of the Industrie 4.0**. Working Group. 82p, 2013.

KRZYWDZINSKI, M.; JÜRGENS, U.; PFEIFFER, S. The Fourth Revolution: The Transformation of Manufacturing Work in the Age of Digitalization. **WZB Report**, p. 22–25, 2016

LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. Product-Service Systems Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems**, p. 3-8, 2014

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

MAGRUK, A. Uncertainty In The Sphere of the Industry 4.0 – Potential Areas to Research. **Business, Management and Education**, v. 14 (2), p.275-291, 2016

MCKINSEY & COMPANY. **Industry 4.0 after the initial hype Where manufacturers are finding value and how they can best capture it.** Disponível em: < [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/getting%20the%20most%20out%20of%20industry%204%200/mckinsey\\_industry\\_40\\_2016.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/getting%20the%20most%20out%20of%20industry%204%200/mckinsey_industry_40_2016.ashx)> Acesso em 20/04/2025.

MILLIKEN, F. J. Three Types of Perceived Uncertainty About the Environment: State, Effect, and Response Uncertainty. **Academy of Management Review**, v. 12 (1), p. 133-143, 1987.

MITTELSTÄDT, V.; BRAUNER, P.; BLUM M.; ZIEFLE, M. On the visual design of ERP systems – The role of information complexity, presentation and human factors. **In: Procedia Manufacturing 00**, p. 270-277, 2015.

NAKAYAMA, R. S., SPÍNOLA, M. M., SILVA, J. R. Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0. **Computers and Industrial Engineering**, v. 144, p. 1-18, 2020.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121-139, 2016.

PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. **Sustainability Journal**, v.10, p. 21-38, 2018.

PICH, M. T.; LOCH, C. H.; DE MEYER, A. On uncertainty, ambiguity and complexity in Project management. **Management Science**, v. 48 (8), p. 1008-1023, 2002.

RICE, M. P.; O'CONNOR, G. C.; PIERANTOZZI, R. Implementing a learning plan to counter project uncertainty. **MIT Sloan Management Review**, v. 49 (2), p. 53–62, 2008

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.** The Boston Consulting Group. 2015.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v.52, p.161 – 166, 2016.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution.** In: Genebra: World Economic Forum, 2016.

SUNG, T. K. Industry 4.0: A Korea perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 40–45, 2018.