

Fatores motivadores e barreiras à implementação das tecnologias da Indústria 4.0: um estudo de caso da logística *inbound* de uma montadora automobilística

Motivating factors and barriers to the implementation of Industry 4.0 technologies: a case study of the inbound logistics of an automobile manufacturer

Christian Rodrigues da Paz¹

¹Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil, e-mail: christian.paz@estudante.ufscar.br

Resumo:

O conceito de Indústria 4.0 (I4.0) surge em 2011 na Feira de Hannover como um projeto alemão para promover a manufatura computadorizada. Desde então, as tendências tecnológicas ou ferramentas da I4.0 promoveram transformações tanto nos meios produtivos quanto nos processos logísticos através da virtualização, do processamento em tempo real e a integração entre máquinas, sensores e pessoas. Porém, passados mais de uma década do surgimento e exportação para outros países dos conceitos da I4.0, no Brasil, há necessidade de estudar a aplicação dessas tecnologias no setor industrial. O objetivo desse estudo é investigar a implementação de tecnologias I4.0 com foco no caso da logística *inbound* de uma montadora automobilística e analisar os fatores motivadores e as barreiras que surgem diante dessas tecnologias da I4.0. Para tanto, foram aplicados questionários online a uma amostra intencional, direcionada a 10 funcionários envolvidos com a logística *inbound*. A partir dos resultados, os fatores motivadores identificados foram o processamento automático de dados, a padronização de processo, o aumento na acuracidade no registro de dados, o aumento na velocidade do processo e a redução de custos de operação. As barreiras a implementação das ferramentas da I4.0 encontradas foram a falta de política e infraestrutura, a falta de maturidade do setor de Tecnologia da Informação (TI), as restrições financeiras, a falta de apoio da gestão, a falta de padronização entre fornecedores e o nível de confiança no fornecedor.

Palavras-chave:

Indústria 4.0, tendência tecnológicas, ferramentas da indústria 4.0, logística 4.0, fatores motivadores, barreiras.

Abstract:

The concept of Industry 4.0 (I4.0) appears in 2011 at the Hannover Fair as a German project to promote computerized manufacturing. Since then, technological trends or I4.0 tools have promoted transformations both in production environments and in logistical processes through virtualization, real-time processing and integration between machines, sensors and people. However, more than a decade after the emergence and exportation of I4.0 concepts to other countries, in Brazil, there is a need to study the application of I4.0 technologies in the industrial sector. The objective of this study is to investigate the implementation of I4.0 technologies focusing on the case of inbound logistics of an automobile manufacturer and to analyze the motivating factors and barriers that arise in the face of these I4.0 technologies. For that, online questionnaires were applied to an intentional sample, directed to 10 employees involved with inbound logistics. From the results, the identified motivating factors were automatic data processing, process standardization, increased accuracy in data recording, increased process speed and reduced operating costs. The barriers to the implementation of the I4.0 tools found were the lack of policy and infrastructure, the lack of maturity of the Information Technology (IT) sector, financial restrictions, lack of management support, lack of standardization between suppliers and the level of trust in the supplier.

Palavras-chave:

Industry 4.0, technological trends, industry 4.0 tools, logistics 4.0, motivating factors, barriers.

1. Introdução

As três primeiras revoluções industriais ocorreram durante um período de quase 200 anos. A primeira revolução industrial ocorreu no final do século XVIII e foi impulsionada pelo advento das máquinas a vapor, da energia hidráulica e da mecanização. A segunda revolução industrial passou-se no início do século XX e tomou notoriedade pelo desenvolvimento da linha de montagem, iniciadas por Henry Ford, que oficializou a produção em massa. A terceira revolução industrial, ocorreu na década de 1970, devido a aplicação da computação e da automação nos processos industriais (GHOBAKHLOO, 2018).

Após sua introdução em 2011 na Feira de Hannover na Alemanha, a Indústria 4.0 (I4.0) foi considerada como a quarta revolução industrial. A partir de então, ela se tornou um movimento amplamente propagado pelo mundo devido ao seu objetivo de revolucionar o modo em que as operações industriais eram realizadas. A indústria 4.0 tem como meio de transformação as suas tendências tecnológicas, as quais se baseiam no avanço da digitalização, robotização e automação dentro das fábricas. De forma análoga, ao longo da história, as revoluções sofridas pela indústria também se refletiram em evoluções significativas nos processos logísticos, ou seja, em cada revolução industrial, uma revolução semelhante ocorreu na logística (SILVA et al., 2021).

Quando o motor a vapor foi inventado (primeira revolução industrial), a logística também foi transformada a partir do uso do transporte mecânico. Na segunda revolução industrial, a logística evoluiu através de sistemas automáticos de movimentação. Já na terceira revolução industrial, com o apoio das tecnologias de informação e comunicação, foram desenvolvidos novos sistemas da informação de gestão logística (SILVA et al., 2021).

A gestão das operações logísticas pôde se tornar mais eficiente e eficaz pela implementação de sistemas da informação. Entre as diversas aplicações para estes sistemas, pode-se destacar os sistemas de controle de armazenamento e manuseio de materiais, os quais, em ambientes logísticos de grande complexidade, são fundamentais para as atividades serem feitas adequadamente. Segundo Slack, Brandon-Jones e, Johnston (2020, p. 516), “A maioria dos estoques, de qualquer tamanho significativo, é gerenciado por sistemas computadorizados”.

A aplicação de sistemas de informação no controle de processos logísticos antecede à criação da I4.0. Porém, com a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 - que possuem como alguns dos seus princípios: a virtualização, o processamento em tempo real e a integração/comunicação entre máquinas, sensores e pessoas através da *Internet das Coisas* (POÓR; BASL, 2020) - espera-se reduzir as ineficiências no controle dos processos logísticos.

Essas tecnologias, por exemplo, auxiliam na mitigação de erros nos registros de transações de materiais, o que possibilita maior agilidade e acuracidade na tomada de decisões de quanto e quando fazer pedido e nas previsões de falta ou excesso de materiais.

Apesar de as empresas estarem em uma corrida na obtenção de vantagens competitivas oferecidas por essas novas tendências tecnológicas e tendo completado mais de uma década do surgimento e exportação para outros países dos conceitos da I4.0, no Brasil, ainda há a necessidade de avaliar o processo de implementação das tecnologias da I4.0 no setor industrial. Assim, este trabalho se propõe a investigar a implementação de tecnologias da I4.0 com foco na logística *inbound* em uma montadora automobilística e analisar os fatores motivadores e as barreiras que surgem diante da implementação dessas tecnologias.

Ao explorar o caso, a pesquisa visa atingir os objetivos específicos de: (1) identificar as tecnologias da I4.0 implementadas na empresa, (2) comparar a implementação da I4.0 em processos produtivos e em processos logísticos (3) analisar as ferramentas da I4.0 no processo de recebimento e gestão de estoque. O estudo foca o caso de uma montadora automobilística localizada no estado de São Paulo onde foram aplicados questionários com funcionários que trabalham diretamente nos processos de recebimento e controle de peças nacionais e importadas. Estes foram capazes de expor detalhes, experiências e opiniões sobre suas interações com as tecnologias da I4.0 revelando as características e desafios da implementação e operação destas ferramentas quando aplicadas aos processos de logística *inbound*.

2. Revisão da Literatura

2.1. Indústria 4.0

Para Silva et al. (2021, p. 01), “o conceito de Indústria 4.0 surgiu em 2011 a partir de um projeto criado pelo governo alemão para promover a manufatura computadorizada” o qual se baseava em novas tendências tecnológicas e princípios de *design*. Nesse sentido, Ghobakhloo (2018, p. 910) expõe que “o termo Indústria 4.0 surge a partir de seu equivalente alemão “Industrie 4.0”, que foi introduzido em 2011 na Feira de Hannover. A Indústria 4.0 imediatamente se tornou o foco do governo na Alemanha e em muitos outros países.”

Consequentemente, a partir desse marco surgiu uma expectativa de uma quarta revolução industrial, sendo o termo “Indústria 4.0” uma analogia com o versionamento de *softwares*, a qual se baseava no avanço da digitalização, robotização e automação dentro das fábricas. Esse conceito se manifesta na total combinação da tecnologia da informação, da *Internet* e dos processos industriais, caracterizando objetos “inteligentes” (máquinas e

produtos) (POÓR; BASL, 2020). Portanto, como resultado da sua implementação há uma série de mudanças no paradigma na produção industrial, dando origem à visão na qual sistemas de fabricação são modulares, eficientes e caracterizam cenários em que os produtos controlam seu próprio processo de fabricação (LASI et al., 2014).

O principal objetivo da Indústria 4.0 é tornar as operações/sistemas de manufatura eficientes, autônomos e sustentáveis. No entanto, a Indústria 4.0 não se trata apenas de integrar tecnologias, mas todos seus conceitos refletem a maneira como as futuras demandas dos clientes, os recursos e os dados são compartilhados, adquiridos, utilizados, reutilizados, processados, organizados e reciclados a fim de tornar um produto, ou a entrega de um serviço, mais rápido, mais barato, mais eficiente e/ou mais sustentável (KOH et al., 2019).

Nesse sentido, Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*), Sistemas *Cyber-Físicos* (SCF), *Big Data Analytics* (BDA), Manufatura Aditiva (MA) e Computação em Nuvem (CN) são algumas das ferramentas que a I4.0 se baseia e que proporcionam maior produtividade e flexibilidade e até mesmo sustentabilidade para as organizações (GHADGE et al, 2022). Estas tecnologias e outras, juntamente de seus conceitos, podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 – Tecnologias da indústria 4.0

Tecnologias I4.0	Autor (Ano)	Conceito
<i>Internet das Coisas</i>	GHADGE et al. (2022)	Possibilita a interconectividade entre diversos dispositivos eletrônicos, sensores e máquinas por meio da coleta e transmissão de dados em redes com ou sem fio (<i>internet</i>).
Sistemas <i>Cyber-Físicos</i>	LASI et al. (2014) GHADGE et al. (2022)	Os sistemas físicos e os digitais se fundem possibilitando a sincronização de suas informações, também são conhecidos atualmente como “Gêmeos Digitais”.
<i>Big Data Analytics</i>	GHOBAKHLOO (2018)	Consiste na captura, processamento e análise de volumes massivos e de ampla variedade de dados. A análise de <i>big data</i> permite que as organizações obtenham <i>insights</i> e tendências futuras para tomada de decisões imediatas e sustentar a competitividade.
Manufatura Aditiva/ Impressão 3D	KOH et al. (2019)	A Impressão 3D utiliza a técnica de manufatura aditiva a fim de construir produtos com sucessivas camadas de materiais, evitando assim a montagem de componentes e manufatura subtrativa como usinagem no processo de produção. Permite produzir pequenos lotes de produtos customizados com <i>design</i> complexo.
Computação em Nuvem	KOH et al. (2019)	A computação em nuvem evoluiu com base nos recentes avanços em <i>hardware</i> , virtualização, computação e entrega de serviços pela <i>internet</i> . A aplicação da computação em nuvem fornece <i>software</i> hospedados em nuvem, painel de gerenciamento baseado na <i>Web</i> e trabalho colaborativo.
Automação e Robótica	KAMBLE et al. (2018) apud KOH et al. (2019)	A automação e a robótica não são uma novidade para as manufaturas. No entanto, os sistemas robóticos modernos são mais flexíveis, autônomos e inteligentes e são capazes de se comunicar e cooperar entre si e ainda possuem capacidade de aprendizado, levando a próxima geração de sistemas robóticos, robôs colaborativos.

Realidade Aumentada	ELIA et al. (2016) apud GHOBAKHLOO (2018)	Tecnologia que permite a visualização da computação gráfica aplicada no ambiente real, é comumente usada em apoio ao treinamento de funcionários, visualização de tarefas de manutenção, gestão de qualidade e práticas de controle e <i>design</i> de produtos, entre outros.
<i>Blockchain</i>	UNDERWOOD (2016) apud GHOBAKHLOO, (2018)	É a base de criptomoedas como <i>Bitcoin</i> e <i>Ethereum</i> , mas seus recursos vão muito além disso. <i>Blockchain</i> é imutável, transparente e redefine a confiança, pois possibilita transações públicas ou privadas transparentes, seguras, confiáveis e rápidas. Essencial para a Indústria 4.0 porque as criptomoedas permitem que inúmeros dispositivos inteligentes realizem transações financeiras transparentes, seguras, rápidas e sem atrito, totalmente autônomas sem intervenção humana no ambiente <i>IoT</i> .
<i>Cyber</i> Segurança	GHOBAKHLOO (2018)	A segurança cibernética é um elemento-chave da Indústria 4.0, pois todas as organizações integradas pela <i>Internet</i> correm risco de ataque. No ambiente da Indústria 4.0, os dispositivos são conectados pela <i>internet</i> ou entre si para criar um ambiente de rede industrial totalmente interconectado e em toda a cadeia de suprimentos, isto requer comunicação segura e confiável para que quaisquer decisões e ações tomadas sejam baseadas em informações confiáveis e devidamente autorizadas.

As tecnologias apresentadas no Quadro 1, são aplicadas nos sistemas produtivos a fim de melhorarem diversos aspectos como conectividade (através de *Internet* das Coisas e Computação em Nuvem), financeiros (através de *Blockchain* e impacto em custos operacionais), segurança (através de *Cyber* Segurança) e estratégica (através do apoio a tomada de decisão do *Big Data Analytics*), entre outros. Porém, a Indústria 4.0 não é implementada exclusivamente com objetivo de aumentar a eficiência e a eficácia dos processos de produção nas indústrias, mas também é implementada em toda a cadeia de suprimentos, desde o desenvolvimento do produto e processo de fabricação até a distribuição do produto. (DALLASEGA et al., 2018 apud KOH et al., 2019). Por conseguinte, pode-se afirmar que a logística também é revolucionada, pois é permeada pelos princípios de *design* e tendências tecnológicas da Indústria 4.0, dando origem ao conceito de Logística 4.0.

De acordo com Silva et al. (2021, p. 01), “O conceito de Logística 4.0 surge como parte da Indústria 4.0 ... [e] pode ser definido como ... o sistema logístico que permite a satisfação sustentável das demandas individualizadas dos clientes sem aumento de custos e apoia esse desenvolvimento na indústria e no comércio usando tecnologias digitais”. No contexto no qual os processos e operações são significativamente afetados pelo surgimento de fábricas inteligentes e tecnologias emergentes, como IoT, impressão 3D e sistemas robóticos, a Logística 4.0 pode melhorar a flexibilidade nas operações e a eficiência na alocação de recursos (KOH et al., 2019). Algumas das aplicações das ferramentas da logística 4.0 podem ser observadas com maior interface com os processos de recebimento (*inbound*) de mercadorias, objeto de pesquisa deste estudo de caso:

(1) Veículos Guiados Automaticamente (AGV - *Automatic Guided Vehicle*) são uma tecnologia para o transporte de materiais na indústria, os quais podem ser programados e guiados por trilhos, sensores ópticos, rádio frequência ou a laser. É um veículo elétrico autônomo que proporciona segurança, eficiência e velocidade em operações industriais. Ele é capaz de transportar caixas, carrinhos ou *pallets*, otimizando a produção e melhorando as condições ambientais e acústicas da fábrica por produzirem menos ruído. Sua locomoção autônoma, utilizando baterias, permite trabalhar 24 horas por dia, superando os sistemas tradicionais que dependem de intervenção humana. O AGV também oferece melhor controle das operações por meio de computadores, com dados precisos sobre o estoque e a logística da fábrica (SOUZA E ROYER, 2013).

(2) Sistemas de rastreamento de veículos e telemetria, os quais são tecnologias que possuem o objetivo de controlar a movimentação dos veículos durante o transporte de cargas, visando melhorar a segurança e eficiência da frota. Os veículos são equipados com dispositivos de GPS (*global positioning system*) para indicação da localização do veículo e com sensores para o monitoramento das partes mecânicas, o rastreamento da operação, a assistência para programação de horários e escolha de rotas e a emissão de alertas no caso de roubos e sequestros. Este monitoramento é feito via satélite, proporcionando cobertura ininterrupta 24 horas por dia (MOURA E ANDRADE, 2021; PRADO, 2010).

(3) Sistemas automáticos de identificação de mercadoria; Entre as tecnologias da *internet* das coisas, os sistemas como o RFID (*Radio Frequency Identification* - identificação por radiofrequência) são amplamente utilizados na indústria devido ao custo baixo e robusta capacidade para identificar e rastrear objetos físicos, fornecendo dados em tempo real sobre os dispositivos, diminuindo o trabalho, simplificando o processo, aumentando a precisão sobre os armazenamentos e melhorando a eficiência. Estes sistemas são utilizados para identificar a mercadoria e monitorar os estoques na gestão de armazéns e podem ser a principal fonte de geração de dados em ambientes inteligentes (KANAGACHIDAMBARESAN, 2020).

A quarta revolução industrial afetou severamente as interações da cadeia de suprimentos, o que se deve principalmente ao crescimento exponencial da geração e do compartilhamento de dados e à disseminação de processos digitalizados. Ao fazer isso, os membros de uma rede de suprimentos podem integrar o fluxo de informações, materiais, atividades, finanças e até mesmo conhecimento (gerenciamento e manufatura) e avançar para o estabelecimento de uma cadeia de suprimentos inteligente (digital) que suporta a transição da Indústria 4.0 (GHOBAKHLOO, 2018).

2.2. Sistemas da Informação na Gestão de Estoque

Há um *trade-off* muito comum em relação a estoques, eles são custosos e imobilizam considerável montante de capital, além disso, os itens estocados representam um risco, pois podem ser avariados, tornar-se obsoletos ou perder-se nas inúmeras movimentações de materiais; ademais ocupam grande espaço físico na operação. No entanto, o estoque oferece segurança em ambientes de incertezas, pois facilita a conciliação entre suprimento e demanda (SLACK, BRANDON-JONES E JOHNSTON; 2020) e proporciona cobertura de suprimento em situações de atrasos de entregas ou divergências no controle de inventário, evitando interrupções na produção.

As empresas, em certos casos, precisam lidar com milhares de itens estocados, fornecidos por diversos fornecedores locais e internacionais, a fim de atenderem uma grande quantidade de clientes individuais. Desse modo, a gestão das operações se torna complexa e dinâmica. Para controlar essa complexidade é necessário investir em sistemas de processamento de informação que sejam capazes de processar as circunstâncias particulares da empresa no controle de estoque (SLACK, BRANDON-JONES E JOHNSTON; 2020). Segundo Slack, Brandon-Jones e, Johnston (2020, p. 517 e 518):

Porém, dados imprecisos geralmente apresentam um dos problemas mais significantes [...]. Isso ocorre devido ao fato de que a maior parte dos sistemas computadorizados de gestão de estoque está baseado no que se denomina princípio de estoque perpétuo. Essa é a ideia simples de que os registros de estoque são (ou deveriam ser) automaticamente atualizados toda vez que a entrada ou saída de um item for registrada. Quaisquer erros no registro dessas transações e/ou no manuseio do estoque físico podem levar a discrepância entre estoque registrado e o estoque real, e esses erros são perpetuados até que sejam feitas verificações do estoque físico. Na prática, há muitas oportunidades para erros, no mínimo porque são muitas as transações com estoque. Isso significa que é surpreendentemente comum que a maioria dos registros de estoque seja imprecisa. As causas básicas de erros incluem: erros de digitação; erros na quantidade; estoques danificados ou deteriorados não computados; itens errados retirados do estoque, mas sem a correção dos registros; atrasos entre as transações feitas e a atualização dos registros; e itens roubados do estoque.

A importância da coleta, manutenção e processamento de dados nas empresas ocorre no auxílio no processo decisório, desde medidas estratégicas até operacionais. Essa prática é facilitada pelo uso de sistemas de informação empresariais e plataformas aperfeiçoadas para transmitir informação ao longo da cadeia de suprimento, como *EDI (Electronic Data Interchange)* e *Internet*. O objetivo é tornar as operações logísticas mais eficientes, aproveitando os ganhos obtidos pela atualização e abrangência das informações compartilhadas entre os integrantes da cadeia de suprimentos (BALLOU; 2006). Segundo Ballou, (2006, p. 133) os principais sistemas de informação logística são:

[...] 1) sistema de gerenciamento de pedidos (SGP); 2) sistema de gerenciamento de armazéns (SGA); 3) sistema de gerenciamento de transportes (SGT). Cada um deles contém informação para objetivos transacionais, mas também ferramentas de suporte de decisões muito úteis no planejamento de atividades específicas. A informação flui entre eles, bem como entre o [sistema de informação logística] SIL e os outros sistemas de informação da empresa, a fim de criar um sistema integrado. Os sistemas de informação são conhecidos na forma de pacotes de *software* de computador.

Os elementos principais de um sistema de gerenciamento de armazém, incluem entrada, estocagem, gerenciamento de estoques, processamento e retirada de pedidos, e preparação do embarque. Esses elementos são fundamentais para uma armazenagem eficiente, embora possam variar dependendo do tipo de armazém e do giro de mercadorias. O SGA monitora os níveis de estoque em cada ponto de estocagem e sugere a reposição de acordo com regras específicas, transmitindo o pedido ao departamento de compras ou diretamente aos fornecedores ou fábricas por meio de *EDI* ou *Internet* (BALLOU; 2006)

2.3. Barreiras à Indústria 4.0

A fim de que as empresas sobrevivam, é fundamental que elas respeitem as evoluções tecnológicas e adaptem seus modelos de negócios a elas. A Indústria 4.0 e as transformações digitais no campo logístico trazem novas oportunidades nas áreas de busca de clientes, melhorando as ofertas de produtos e novas oportunidades de criação e a entrega de valor, possibilitando novas formas de gerar lucro (POÓR; BASL, 2020). Contudo, a transição digital exigida pela Indústria 4.0 não é simples de ser implementada e desafia a capacidade de inovação das empresas, assim como exige novas estratégias e modelos organizacionais e mudanças em toda a organização em infraestrutura física, operações e tecnologias de fabricação, recursos humanos e gestão de processos (GILCHRIST, 2016).

Após mais de dez anos que o conceito de Indústria 4.0 surgiu na Alemanha, este ainda permanece uma tendência que as organizações buscam implementar, mesmo que gradativamente. Nesse sentido, Ghobakhloo (2018, p. 911) afirma:

A Indústria 4.0 pode se encontrar em um futuro próximo, mas a maioria dos princípios e tecnologias de *design* que permitem a Indústria 4.0 já foram usados na prática e têm sido uma área ativa de pesquisa por quase uma década. Estudiosos acreditam que a Indústria 4.0 é um fenômeno futuro, seja ela desejada ou não. Semelhante à *internet* que desafiou o mundo do consumidor com incerteza na década de 1990, e mais tarde emergiu como um fenômeno tecnológico dominante e vital, a Indústria 4.0 é um sucesso potencial e não um *hype*. Assim, todos os fabricantes precisam se preparar para abraçar esta potencial revolução industrial para se manterem competitivos no mercado turbulento e hipercompetitivo.

Desde a popularização dos conceitos de Indústria 4.0, diversas barreiras (Quadro 2) têm dificultado sua implantação nas organizações, ainda que muitas de suas tecnologias já fossem

conhecidas pelo mercado e evoluíram ainda mais desde então (SILVA et al., 2021), Por essa razão, a transição para a quarta revolução industrial pode parecer esmagadora para pequenos fabricantes, e é provável que as manufaturas tradicionalistas relutem em seguir uma estratégia em direção à digitalização por receio de não possuir os recursos tecnológicos e princípios de *design* necessários (GHOBAKHLOO, 2018).

Quadro 2 – Barreiras às tecnologias da indústria 4.0

Barreiras	Autor (Ano)	Conceito
Segurança de dados	MÜLLER et al. (2017) LUTHRA; MANGLA (2018)	Os sistemas da cadeia de suprimento possuem vulnerabilidades de segurança inerentes, que são explorado por invasores. As preocupações com a segurança de dados e questões de privacidade estão entre as principais preocupações para as empresas que planejam implementar a Indústria 4.0.
Maturidade do setor de Tecnologia da Informação (TI)	BRICS Business Council (2017)	Muitas organizações em países emergentes enfrentam desafios devido a profissionais do setor de Tecnologia da Informação com capacitação profissional desatualizadas e escassez de professores e instrutores qualificados no que se refere as tendências tecnológicas da I4.0.
Falta de <i>expertise</i>	GHADGE et al (2022)	Necessidade de pesquisas focadas provenientes de profissionais e acadêmicos para entender as implicações da adoção da Indústria 4.0 na logística e nas cadeias de suprimentos. Há uma necessidade de estudos sobre a criação de estruturas para o desenvolvimento de suprimentos orientados para a Indústria 4.0, considerando os impulsionadores, benefícios, questões de implementação e barreiras para a adoção da Indústria 4.0.
Restrições financeiras	ARNOLD et al. (2016)	A perspectiva econômica permanece em um estágio incipiente para as organizações; essa falta de clareza em relação à análise de custo-benefício e ganhos monetários em investimentos digitais é um desafio imperativo para a aplicação da Indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimento.
Falta de apoio da gestão	GÖKALP et al. (2017)	A implementação da I4.0 requer desenvolvimento de habilidades e treinamento adequados, o que é um desafio de ser alcançado sem o suporte do alto nível gerencial. Do ponto de vista gerencial, o conhecimento sobre as vantagens do conceito de manufatura inteligente afeta significativamente a decisão de investimento e implementação de tecnologias da informação.
Resistência à mudança	MÜLLER et al. (2017)	A tarefa de integrar o ser humano no conceito de I4.0 continua a ser um desafio, uma vez que enfrenta resistências dos trabalhadores, incluindo o medo de serem substituídos ou de terem competências inadequadas.
Falta de políticas e infraestrutura	BRICS Business Council (2017)	Na maioria dos países, são os governos que regulamentam o fornecimento da infraestrutura necessária para o mundo digital (como <i>internet</i> e sistemas de comunicação). Existe a carência de um roteiro para mudar a infraestrutura industrial, principalmente devido à falta de clareza na definição retorno do investimento (por exemplo, implementação da rede 5G e seus benefícios para a Indústria 4.0) sobre as consequências da Indústria 4.0.

Essas barreiras, entre outras, são alguns dos desafios que precisam ser superados para que ocorra a implementação dos conceitos da indústria 4.0 (SILVA et al., 2021). Ademais, um perigo comum para as empresas que “saltam” para as tecnologias da indústria 4.0 é que estas possuem a tendência de ignorarem a conhecida regra 80/20 de Pareto de que abordar as causas

principais dos problemas de processo é o que oferece a maior parte da melhoria de desempenho, não apenas investir na digitalização de processos (GHOBAKHLOO, 2018), podendo ser gastos recursos com projetos de implementação das ferramentas da 4.0, sem que ocorra de fato uma melhoria no processo.

Com base em mais de 2.000 empresas de 26 países, PwC (2015) revelou que a taxa de implementação dos conceitos da Indústria 4.0 era de 33%, sendo que essas empresas haviam apenas iniciado a transição para a digitalização; porém, à época previu-se que esta taxa chegaria a 72% até 2020 (PwC, 2015 apud KOH et al., 2019). No entanto, existe uma grande lacuna de maturidade entre iniciar a introdução dos conceitos da I4.0 e a implementação de fato e obtenção dos resultados esperados. Não são todas as organizações que possuem maturidade suficiente em tecnologias da informação para realizar a implementação da I4.0; por conseguinte, a maioria dessas organizações, principalmente as menores, possuem as competências necessárias para digitalizar apenas algumas áreas de suas operações. (GHADGE et al, 2022).

Acredita-se que os benefícios da transição para a Indústria 4.0 podem superar os custos associados, principalmente para fabricantes de classe mundial (*world class manufacturing - WCM*) que têm a experiência e a mão de obra necessárias para criar e implementar as tendências tecnológicas emergentes (GHOBAKHLOO, 2018). Os fabricantes de classe mundial são aqueles que possuem um conjunto de técnicas e práticas gerenciais que se baseiam na Melhoria Contínua e que contam com o envolvimento de todos os níveis funcionais da organização (MURINO et al, 2012). Outrossim, são empresas globalmente competitivas que adquiriram além de alta capacidades financeiras e de marketing, mas também em técnicas de manufatura (LEONI, 2023).

Os fabricantes de classe mundial possuem o apoio adequado das partes interessadas para investir fortemente nessas novas tecnologias, ou seja, a promessa da Indústria 4.0 é real, mas para empresas maduras o suficiente para adotá-la e elaborarem uma estratégia de transição abrangente (GHOBAKHLOO, 2018).

3. Metodologia

3.1. Caracterização da pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso exploratório, pois pretende criar maior familiaridade com o problema e torná-lo explícito; possui abordagem qualitativa em virtude de o ambiente natural ser a fonte direta para coleta de dados; e natureza aplicada, pois

é caracterizado por seu interesse prático, ou seja, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade (TURRIONI; MELLO, 2012). Quanto aos procedimentos, a pesquisa constitui um estudo de caso com caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da realidade, considerando que a fronteira entre o fenômeno e o contexto em que se insere não são claramente definidas (MIGUEL; FLEURY; MELLO, 2010).

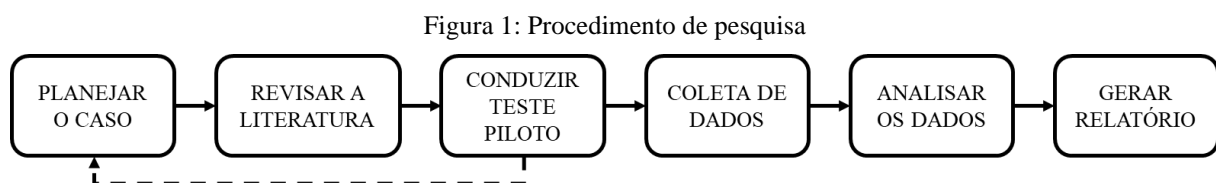
3.2. Descrição do caso

A investigação das barreiras e fatores motivadores para implantação das ferramentas da I4.0 conta como objeto de estudo o processo de recebimento e gestão de estoque realizado em uma montadora automobilística que se localiza no interior do estado de São Paulo. Na empresa, há duas classificações para as peças oriundas da logística *inbound*: peças locais e importadas, sendo que as peças locais são recebidas de fornecedores nacionais por meio de entregas no sistema de *milk run*, enquanto, as peças importadas são recebidas de fornecedores internacionais através de embarque marítimos ou aéreos.

Havendo essa diferença de classificação, a montadora designou docas específicas para o recebimento e a gestão do estoque dessas peças, locais e importadas. Nesse caso há o interesse de estudar os fatores motivadores e barreiras que levaram a diferentes graus de implementação das tecnologias da I4.0 nesses processos. Além disso, o setor automobilístico tende a apresentar elevado desenvolvimento em automação e outras tecnologias da I4.0 em seus processos produtivos, logo, surge o interesse de verificar se essa tendência se reflete também nos processos da logística *inbound*.

3.3. Descrição de procedimentos

As etapas metodológicas utilizadas durante a realização da pesquisa envolveram o planejamento do caso, a condução do teste piloto, a coleta dos dados, a análise dos resultados e discussões (Figura 1).



Iniciou-se pelo planejamento do caso o qual consistiu na identificação do contexto e problemática relacionados ao foco da pesquisa. Na sequência, delimitou-se os objetivos e definiu-se a justificativa e relevância do estudo. A partir das características identificadas para o estudo de caso, selecionou-se a técnica para a coleta de dados e o tipo da amostra.

A técnica utilizada para coleta de dados foi a aplicação de formulários *online* com indivíduos de diferentes níveis hierárquicos de funções operacionais e gerenciais. Foram selecionados 13 funcionários cujo trabalho estava relacionado ao processo estudado, trazendo uma perspectiva diversificada em níveis hierárquicos e funções. A amostra de funcionários selecionada para a pesquisa é caracterizada como intencional, desse modo, buscou-se um público definido e específico cujos indivíduos foram selecionados por conveniência.

O questionário *online* foi concluído em sua versão inicial e realizou-se um teste piloto para validar a plena compreensão dos interlocutores sobre a estrutura e questões do formulário. O questionário na versão inicial foi aplicado a dois funcionários cujas posições na empresa, como analista júnior de PCP (Planejamento e Controle da Produção) e engenheiro sênior de PCP, possibilitou representar a amostra em relação a níveis hierárquicos, funções operacionais e estratégicas e por trabalharem em contato direto com os processos envolvidos no caso. A partir dos *feedbacks* obtidos pela aplicação do teste piloto fez-se as correções em questões dúbias e a adição de uma descrição para cada seção do questionário *online*, de modo que o interlocutor tivesse clareza do contexto de cada seção.

Da amostra total selecionada (13 interlocutores), 10 funcionários responderam à pesquisa, ou seja, uma taxa de resposta de 76,9% da amostra selecionada. A escolha da técnica de coleta de dados por meio de formulários *online* possibilitou o alcance de um maior número de funcionários da empresa, devido ao tempo escasso para participarem de pesquisas.

O conjunto de dados coletados através do formulário *online* foi sumarizado em planilhas e foi analisado questão a questão, a fim de relacionar as respostas e desenvolver elementos gráficos relacionados ao objetivo da pesquisa. A partir da análise, confrontou-se os resultados com a literatura, para inferir sobre os pontos de convergência e divergência observados.

3.4. Forma de coleta de dados e análise de resultados

Ao desenvolver o roteiro de questões, utilizou-se uma estrutura de divisão do conteúdo em 4 seções, a fim de organizar as questões de acordo com o seu objetivo e tipo (Quadro 3).

Quadro 3: Caracterização do roteiro do questionário

Seções	Descrição do objetivo	Tipo de questão
---------------	------------------------------	------------------------

1º	Caracterizar os interlocutores quanto ao cargo, tempo no cargo e na empresa e funções e atribuições atuais.	Aberta
2º	Constatar o conhecimento e experiência dos interlocutores em relação as tecnologias I4.0. Identificar quais tendências tecnológicas tiveram contato na empresa e os pontos positivos e negativos da experiência.	Aberta, fechada e escala de múltipla escolha
3º	Identificar o nível de implementação das tecnologias I4.0 nos processos produtivos. Avaliar a percepção sobre o potencial de aumento de eficiência nos processos produtivos provenientes da implementação de cada uma das tecnologias da I4.0. Identificar as barreiras que dificultam maior nível de implementação.	Aberta, escala Likert e escala de múltipla escolha
4º	Identificar o nível de implementação das tecnologias I4.0 nos processos logísticos. Avaliar a percepção sobre o potencial de aumento de eficiência nos processos logísticos provenientes da implementação de cada uma das tecnologias da I4.0. Identificar as barreiras que dificultam maior nível de implementação. Investigar os fatores motivadores e barreiras a implementação de tecnologias da I4.0 no processo de recebimento e controle de estoque para peças locais e importadas.	Aberta, fechada, escala Likert e escala de múltipla escolha

Cada seção do questionário apresentado no Quadro 3 tinha como propósito obter dados relacionados aos objetivos específicos da pesquisa. O Quadro 4 apresenta os funcionários selecionados que responderam ao questionário e a caracterização destes quanto ao cargo, atribuições do cargo, tempo no cargo e na empresa.

Quadro 4: Caracterização dos interlocutores na empresa estudada

Interlocutor	Cargo	Atribuições	Tempo no cargo	Tempo de empresa
1	Líder de operações Logísticas	Liderar equipe de operações logísticas de recebimento de materiais e organização do estoque.	1 ano	1 ano
2	Analista de PCP Júnior	Gerenciamento de estoque de peças importadas e desenvolvimento do plano de recebimento de container na montadora.	18 meses	12 anos
3	Analista de PCP Júnior	Controlar estoque de peças locais e importadas, processamento dos pedidos em sistema local além de envio de pedido de peças importadas.	2 anos	10 anos
4	Analista de PCP Pleno	Controle de estoque, emissão de pedido de peças local via sistema integrado com fornecedores.	7 anos	17 anos
5	Analista de PCP Pleno	Desenvolve o plano de <i>unpacking</i> dos módulos contendo peças importadas.	10 anos	20 anos
6	Analista de Inovação Pleno	Entender as necessidades dos departamentos e desenvolver melhorias inovadoras a fim de otimizar tempo de trabalho, reduzir custo, obter poder analítico, etc.	15 anos	20 anos
7	Eng de Produção Sênior	Pedido e controle do estoque de peças importadas.	6 anos	13 anos
8	Eng de Produção Sênior	Desenvolvimento de projetos de PCP e de logística, além do gerenciamento dos pedidos e estoque de peças locais e importadas.	11 anos	11 anos
9	Coordenador de PCP	Supervisionar a equipe de acompanhamento dos fornecedores locais, identificando riscos ao abastecimento de peças e tomando ações rápidas. Supervisionar a equipe de " <i>parts procurement</i> " dentro do PCP cujo objetivo é calcular e fazer o pedido de toda necessidade de material (peças) para produção.	1 ano	12 anos
10	Coordenador de PCP		10 anos	25 anos

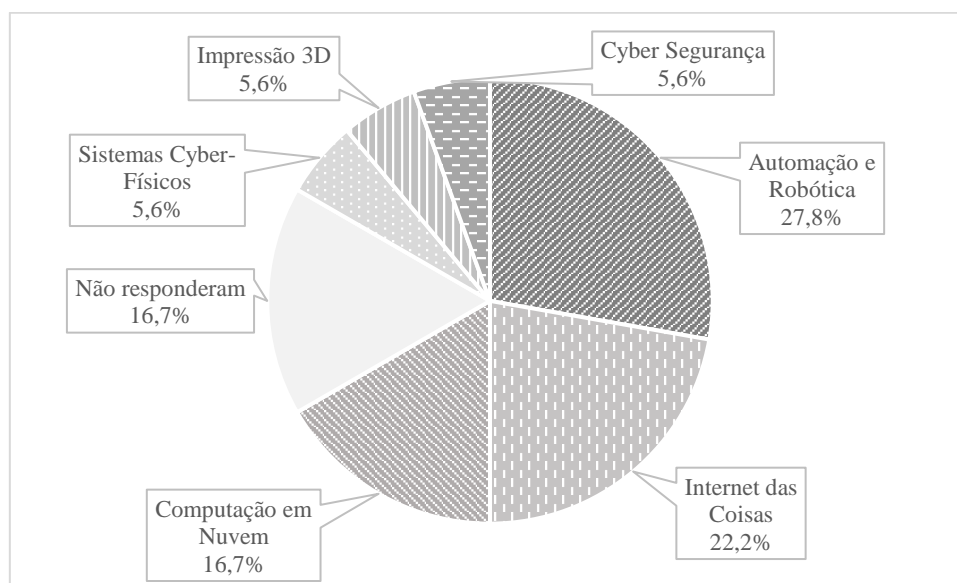
4- Resultados e discussões

4.1 Indústria 4.0 na empresa: Tecnologias e fatores motivadores

Diante da proposta da quarta revolução industrial, as organizações buscam respeitar as transformações digitais da indústria 4.0 e adaptar seus modelos de negócios a elas. Do mesmo modo, as indústrias brasileiras também buscam implementar a I4.0 ainda que gradativamente, a fim de aproveitarem as oportunidades de criação de valor e não se tornarem obsoletas diante da concorrência. A disseminação dos conceitos da I4.0 entre os profissionais foi corroborado pelo fato de todos os interlocutores da pesquisa terem afirmado que já conheciam o conceito da indústria 4.0 e suas ferramentas.

Entre os interlocutores, 60% já trabalharam ou tiveram contato próximo com um processo em que houve a implementação da indústria 4.0. As tecnologias da I4.0 reconhecidas pelos interlocutores são exibidas na Figura 2.

Figura 2: Tecnologias da I4.0 identificadas na empresa



A figura 2 expõe que 27,8% das menções foram para Automação e Robótica, 22,2% para *Internet* das Coisas, 16,7% para Computação em Nuvem, 16,7% não responderam à questão e 5,6% para Sistemas *Cyber-Físicos*, Impressão 3D e *Cyber Segurança* cada um. Observou-se a predominância da menção de Automação e Robótica, *Internet* das Coisas e Computação em Nuvem, que totalizam 66% das respostas. Exemplos de aplicação das tecnologias da I4.0 são expostos no Quadro 5.

Quadro 5: Exemplos citados de tecnologias implementadas na empresa

Interlocutor	Tecnologias da I4.0
--------------	---------------------

- 2 Monitoramento e configuração de robôs de pintura a distância via tablet.
- 3 No setor de funilaria, o monitoramento de corrente elétrica dos motores era feito pelos robôs em tempo real, online.
- 8 No recebimento de materiais de fornecimento local, o controle de recebimento é feito por portais com câmeras para leitura automática dos materiais que são recebidos na planta.

Dos exemplos expostos, foram identificadas aplicações das tecnologias da I4.0 como a automação e a robotização nos processos produtivos da empresa. Estas tecnologias não são novidades para as montadoras automobilísticas, que as utilizam desde antes do surgimento da I4.0. No contexto da indústria 4.0, porém, os sistemas robóticos modernos são mais flexíveis, autônomos e inteligentes e são capazes de se comunicar e cooperar entre si e ainda possuem capacidade de aprendizado, levando à próxima geração de sistemas robóticos, os robôs colaborativos (KAMBLE et al. 2018 apud KOH et al. 2019). Pelos exemplos expostos, notou-se que houve a fusão de elementos das ferramentas da robotização e *Internet* das Coisas. Os robôs foram integrados a sensores e controlados a partir da conexão em tempo real com a *internet*, caracterizando uma robotização integrada. Sobre a aplicação das ferramentas da I4.0, o Interlocutor 2 explicitamente comentou:

Automação e robótica estão presentes nos processos mais complexos da empresa, como pintura, solda etc. Gerando resultados impossíveis de se obter manualmente. Um outro item que vem avançando é a computação em nuvem. Hoje se você trabalha com um computador, é possível trabalhar em casa, como se fosse na empresa. Tendo acesso [remoto] a tudo o que lhe cabe. Dependendo da atividade é possível trabalhar apenas com o celular.

A implementação das ferramentas da I4.0 possui como objetivo proporcionar mais eficiência, autonomia e sustentabilidade às operações, ou seja, tornar um produto ou a entrega de um serviço, mais rápido, mais barato e mais eficiente (KOH et al., 2019). Nesta conjuntura, os interlocutores declararam que a implementação das ferramentas da indústria 4.0 possui como motivadores um conjunto de fatores: o processamento e tratamento automático de dados, a padronização de processo, o aumento na acuracidade no registro de dados, o aumento na velocidade do processo e a redução de custos de operação. Estes fatores resultam no aumento da eficiência dos processos e na diminuição da carga de trabalho em relação às operações manuais e de rotina. O interlocutor 2 relatou: “Fatores motivadores [da I4.0]: precisão, velocidade, e processamento das informações, que diminuem o *workload* e tornam o processo mais eficiente.”

Em paralelo, foram também identificados fatores negativos associados à implementação de ferramentas da I4.0, como falhas recorrentes nas operações devido a problemas como: conexão via *internet*; atualização e processamento de *software*; quebra de *hardware*; e o déficit técnico das equipes de suporte e manutenção em resolverem os problemas com agilidade. O

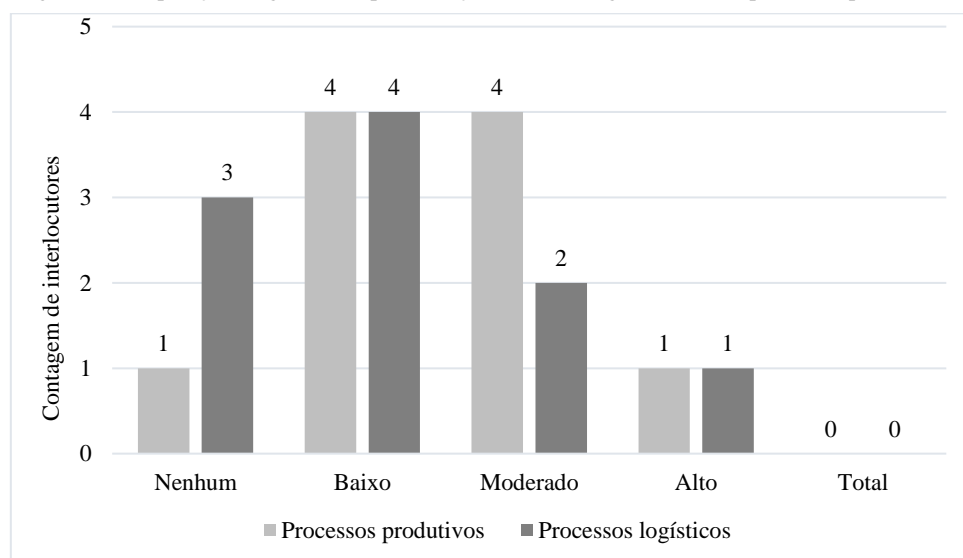
interlocutor 9 explicitou problemas que ocorreram na operação da empresa como: “Falhas de conexão [de *internet*] e a dependência da tecnologia [poder] gerar déficit técnico. Quando ocorre alguma falha o tempo de reparo geralmente é de horas.”

Esses fatores podem ser associados a barreiras à implementação das tecnologias da I4.0 descritas no Quadro 2. As falhas de conexão de *internet*, entre outros motivos, estão relacionadas a barreira da falta de política e infraestrutura, pois em muitos países como o Brasil, são os governos que regulamentam o fornecimento da infraestrutura necessária para o mundo digital, nesse sentido, há uma carência de um roteiro estratégico para transição da infraestrutura industrial, principalmente, devido à falta de clareza na definição do retorno do investimento (por exemplo, na implementação da rede 5G). O déficit técnico pode ser relacionado a maturidade do setor de Tecnologia da Informação, pois há, principalmente, em países emergentes, escassez de profissionais e instrutores na área da tecnologia da informação com capacitação atualizadas no que se refere as tendências tecnológicas da I4.0 (BRICS BUSINESS COUNCIL, 2017).

4.2 Implementação das ferramentas da I4.0 em processos logísticos e produtivos

A cada revolução industrial dos processos produtivos, houve uma evolução correspondente nos processos logísticos. Desse modo, a Indústria 4.0 não visa apenas o aumento da eficiência dos processos produtivos, mas também sua implementação nos processos logísticos da cadeia de suprimentos. A comparação entre o grau de implementação das tecnologias da I4.0 nos processos produtivos e logísticos, conforme os interlocutores, é apresentada na Figura 3.

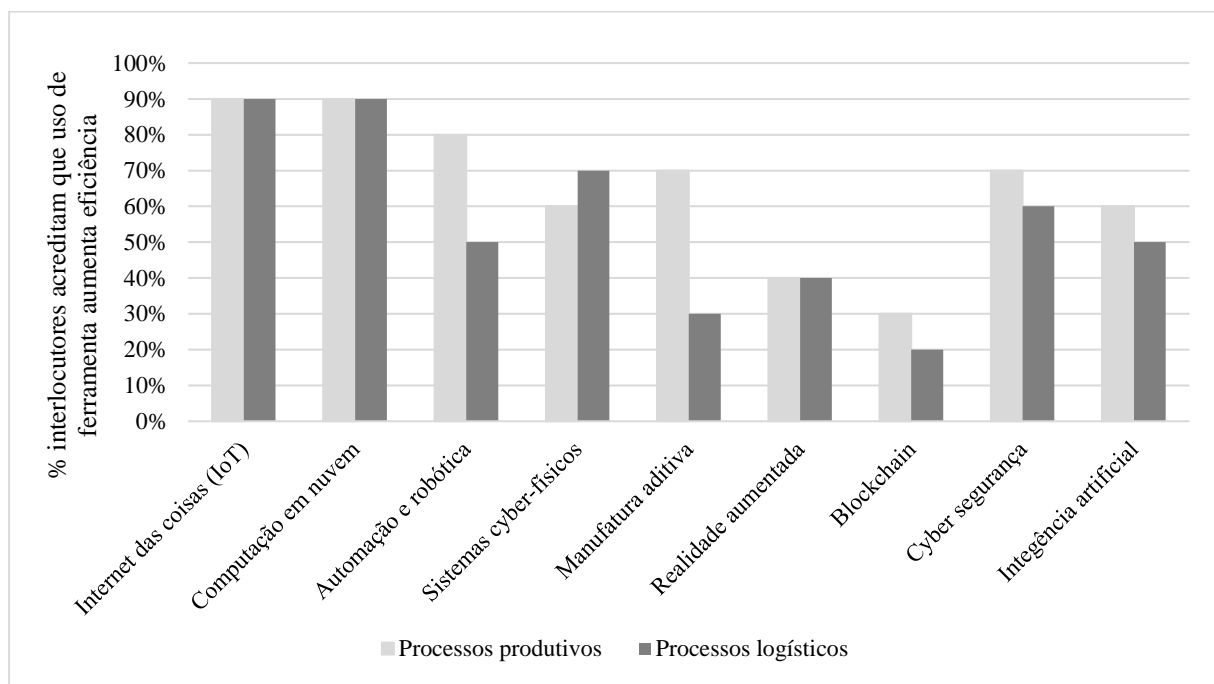
Figura 3: Comparação do grau de implementação das tecnologias I4.0 entre processos produtivos e logísticos



Com base na figura 3, conclui-se que 70% dos interlocutores consideram que as tecnologias da I4.0 possuíam nenhum ou baixo grau de implementação nos processos logísticos da empresa e apenas 30% consideraram o grau de implementação como moderado ou alto. Em relação aos processos produtivos, 50% responderam que havia nenhum ou baixo grau e outros 50% moderado e alto grau de implementação. Observa-se a percepção por parte dos interlocutores de um foco maior na implementação de tais tecnologias nos processos produtivos em contraste com os logísticos. Este fato corrobora com a noção histórica de que as revoluções industriais surgem a partir de transformações nos sistemas produtivos e, após isto, se refletem para sistemas logísticos. Outrossim, nota-se a percepção predominante de que há baixo ou moderado grau de implementação da I4.0 em ambos os processos, produtivos e logísticos.

Tornar os processos mais eficientes é, entre outros, um dos principais objetivos da implementação das tecnologias da I4.0. Desse modo, a comparação da percepção dos interlocutores sobre o uso das tecnologias da I4.0 em processos logísticos e produtivos, demonstrou se estas subsidiam um aumento da eficiência (Figura 4).

Figura 4: Comparação sobre o uso de ferramentas I4.0 em eficiência de processos logísticos e produtivos



A Figura 4 indica que as ferramentas que os interlocutores identificaram com maior potencial para aumento da eficiência para os processos produtivos foram: *Internet* das Coisas (90%), *Computação em nuvem* (90%) e *Automação e Robótica* (80%). Em contraste, para os processos logísticos, as tecnologias foram: *Internet* das Coisas (90%), *Computação em nuvem* (90%) e *Sistemas Cyber-Físicos* (70%). Nota-se a convergência entre os interlocutores que a

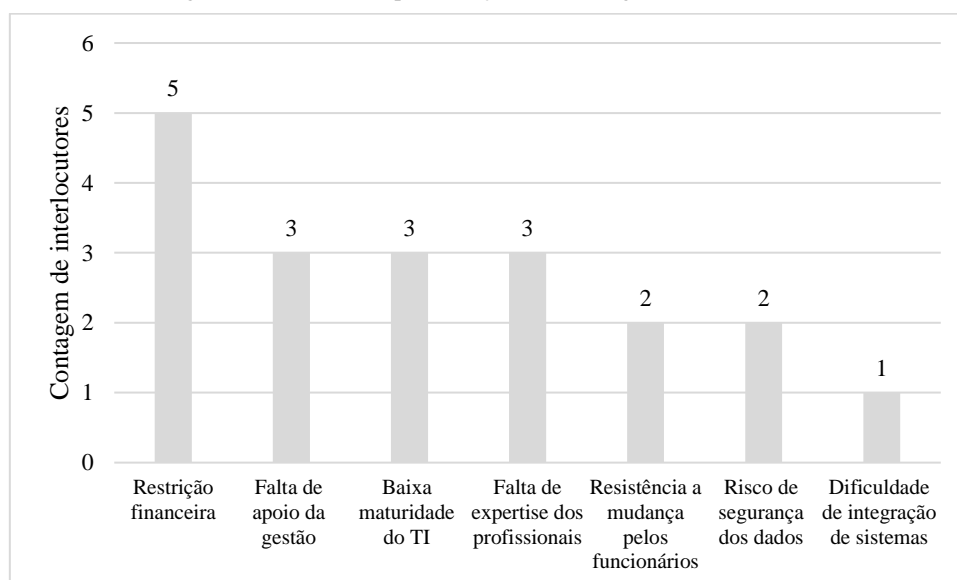
internet das coisas (IoT) e a Computação em nuvem possuem maior impacto no aumento da eficiência dos processos.

Apesar de todos os interlocutores terem afirmado conhecer o conceito da Indústria 4.0 e suas ferramentas, três deles não identificaram na empresa nenhuma aplicação de tecnologia da I4.0. No entanto, por meio do relato de outros interlocutores fica evidente que houve a implementação de tecnologias da I4.0 como *internet* das coisas, robotização e outros nos processos da empresa. Logo, mesmo que alguns interlocutores conheçam o conceito de indústria 4.0, as tecnologias tornaram-se intrínsecas às atividades diárias e profissionais, então é possível que alguns indivíduos não reconheçam a tecnologia presente como um avanço proveniente da indústria 4.0.

4.3 Barreiras a implementação das ferramentas da I4.0

Conforme apresentado na figura 5, a principal barreira à implementação das tecnologias da I4.0 exposta pelos interlocutores foi a restrição financeira em realizar investimentos (5 dos interlocutores relataram esta barreira), o interlocutor 2 afirmou "Algumas tecnologias ainda apresentam alto custo de implementação comparadas ao retorno que geram para a empresa". Entretanto, há um contraste entre essa perspectiva exposta pelos interlocutores e a literatura, pois segundo ela os benefícios da transição para a Indústria 4.0 podem superar os custos associados, principalmente para fabricantes de classe mundial (GHOBAKHLOO, 2018).

Figura 5: Barreiras a implementação de tecnologias da indústria 4.0



Outra barreira exposta foi a falta de apoio da gestão (3 dos interlocutores relataram essa barreira) em liderar a proposição e planejamento da implementação das tecnologias da indústria

4.0. Relacionado a isso o interlocutor 6 respondeu, “A empresa tende a não querer realizar mudanças bruscas em algum processo que sempre funcionou muito bem”. Nesse contexto, não é porque há a possibilidade de implementação da tecnologia da indústria 4.0 a um processo que esta deva ser realizada sem análise prévia do processo e viabilidade. De acordo com a literatura um perigo comum é as empresas “saltarem” para as tecnologias da indústria 4.0 sem realizarem uma análise profunda do processo e ignorarem a conhecida regra de Pareto que abordar as causas principais dos problemas de processo é o que oferece a maior parte da melhoria de desempenho, não apenas investir na digitalização de processos (GHOBAKHLOO, 2018).

A figura 5 ainda exhibe as demais barreiras citadas: maturidade do setor de TI (3 menções); falta de expertise dos profissionais no assunto (3 menções); resistência a mudança pelos funcionários (2 menções); risco de segurança dos dados (2 menções); e dificuldade de integração entre sistemas digitais (1 menção). Essa última menção constitui uma nova barreira em contraste às observadas na literatura, o que reforça a presença das mesmas barreiras na empresa estudada, porém também podem surgir novos fatores que dificultam a implementação de ferramentas da I4.0.

4.4 Indústria 4.0 aplicada a logística *inbound*: processo de recebimento e controle de peças

A indústria 4.0 teve um impacto significativo nas operações logísticas devido ao crescimento exponencial da geração e compartilhamento de dados, além da disseminação de processos digitalizados. Essas mudanças permitem a integração do fluxo de informações, materiais, atividades, finanças e conhecimento dentro de uma rede de suprimentos, possibilitando o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos inteligente (digital). A implementação de ferramentas da I4.0 nos processos logísticos, caracterizada como logística 4.0, refletiu-se em avanços nas operações logísticas *inbound* na empresa. A aplicação dessas ferramentas da I4.0 foram identificadas pelos interlocutores e são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Tecnologias da I4.0 identificadas nos processos logísticos da empresa

Tecnologias da I4.0	Aplicação	Descrição
<i>Internet das Coisas</i> (IoT)	Portais de leitura automática por câmera	As etiquetas presentes nas cargas de peças ao atravessarem os portais localizados nas entradas das docas de recebimento são lidas e, então é processado a entrada no sistema de inventário automaticamente.
Robotização	Veículos autoguiados (AGV)	Veículos autoguiados (AGV) que realizam as movimentações de logística interna para alguns componentes e produto não acabado.
<i>Internet das Coisas</i> (IoT)	Rastreamento de veículos via GPS	Rastreamento em tempo real através de GPS, permite o rastreamento dos caminhões do <i>milk run</i> que realizam a coleta de materiais em fornecedores locais.

Os objetivos em aplicar as ferramentas da I4.0 nos processos logísticos são torná-los mais rápidos, mais baratos, mais eficientes e/ou mais sustentáveis. Conseqüentemente, pelos relatos das aplicações das ferramentas da I4.0 na empresa, observa-se que as ferramentas da I4.0 resultam em benefícios para a empresa como: os veículos autoguiados (AGV) permitem a redução dos custos com mão de obra e de movimentação, maior flexibilidade no manuseio e transporte dos materiais, melhor utilização do espaço disponível e maior segurança (SOUZA; ROYER, 2013); o rastreamento de veículos via GPS, além de ser uma solução contra o roubo de cargas e dos veículos, pode ser aplicada para a melhoria da eficiência nos transportes. Esta ferramenta da I4.0 possibilita a visualização do estoque em trânsito, assim a empresa pode controlar o inventário, a programação e a própria produção de uma forma mais eficiente, a partir da coordenação dos embarques em um ambiente de fornecimento *Just in Time*. (MOURA e ANDRADE, 2021; PRADO, 2010).

Os sistemas de identificação automático de mercadorias como os portais de câmera presentes na empresa, conforme descreve a literatura, possuem robusta capacidade para identificar os objetos físicos, fornecendo dados em tempo real, diminuindo o trabalho, simplificando o processo, aumentando a precisão sobre os armazenamentos e melhorando a eficiência (KANAGACHIDAMBARESAN, 2020). A precisão destes sistemas implica na possibilidade de redução de registros de dados imprecisos em relação a mesma operação realizada manualmente, os registros imprecisos podem ser causados por erros de digitação, divergência física/fiscal, estoques danificados ou deteriorados não computados, atrasos entre as transações feitas e a atualização dos registros e itens roubados do estoque.

Dessa forma, levando em consideração um grande volume de peças recebidas em uma montadora automobilística, as quais devem ser registradas em sistema computacional de gestão de estoque. A partir da aplicação destas ferramentas da I4.0, reduz-se as oportunidades para erros no registro das transações e/ou manuseio do estoque físico, mitigando a possibilidade de discrepância entre o estoque registrado e o estoque real, evitando que esses erros passem a ser perpetuados até que ocorra verificações do estoque físico (SLACK, BRANDON-JONES E JOHNSTON; 2020).

Contudo, a implementação do sistema de identificação automático de mercadorias não foi realizada em todas as docas de recebimento de peças na empresa. Dos interlocutores, 60% revelaram isto, afirmando que a implementação ocorreu exclusivamente nas docas de recebimento de materiais nacionais, enquanto nas docas de recebimento de materiais importados o controle do recebimento de peças é manual. Neste contexto, em relação aos fatores e barreiras que ocasionaram esta situação, o Interlocutor 10 afirmou: “Devido a custos e

prioridades. No nosso caso [do portal de] leitura foi aplicada somente às peças de fornecedores do Brasil, pois tais fornecedores não garantem seus respectivos processos, e no caso dos fornecedores importados [os portais não foram aplicados, pois] a maior parte garante seu respectivo processo”. Desse modo, as barreiras expostas acima e outras identificadas pelos interlocutores, as quais podem representar a causa para o processo de recebimento de materiais importados não ter recebido a implementação de tecnologias da indústria 4.0 são apresentados no Quadro 7:

Quadro 7: Barreiras a implementação de ferramentas indústria 4.0 no processo de logística *inbound* de peças importadas

Barreiras	Percepção dos interlocutores
Restrições financeiras	O custo de implementação seria maior para o processo de peças importadas.
Falta de apoio da gestão	A gestão da empresa ainda não enxerga o custo-benefício dessa implementação em relação ao processo manual atual.
Falta de padronização	Não há padronização de etiquetas para fornecedores de diferentes países.
Nível de confiança no fornecedor	Os fornecedores brasileiros (locais) não garantem a acuracidade na quantidade de materiais enviados podendo ocorrer divergências, e no caso dos fornecedores de materiais importados, grande parte deles são filiais da própria empresa em outros países, então há confiança na garantia do atendimento correto do pedido enviado.

O Quadro 7 apresenta as barreiras identificadas pelos interlocutores que não possibilitaram a implementação de ferramentas da I4.0 como os portais de recebimento automático por câmera no processo de logística *inbound* de peças importadas. As barreiras identificadas como restrições financeiras e falta de apoio da gestão fazem correspondência com as apresentadas na revisão da literatura (ARNOLD et al., 2016; GÖKALP et al., 2017). Ademais, nota-se que estas duas barreiras estão relacionadas visto que é a falta de clareza por parte da gestão da empresa em relação à análise de custo-benefício e ganhos monetários nestes investimentos que leva tanto a haver restrições financeiras ao investimento como a falta de apoio e iniciativa *top-down*.

Diversos problemas foram identificados pelos interlocutores, relacionados ao processo de logística *inbound* de peças importadas (Quadro 8).

Quadro 8: Problemas relatados em processo com inexistência de tecnologias indústria 4.0

Interlocutor	Relato dos interlocutores
8	Divergência do pedido versus material recebido, baixa de acuracidade no controle de estoque e movimentação de materiais.
5	Materiais que chegam sem a necessidade, fora do tempo e quantidade fora do especificado. Dificuldade para gerenciar o estoque etc.
10	Problemas com saldo de peças, pois quando uma divergência é detectada já é muito tarde para corrigir o nível do estoque e assim é necessário aumentar as despesas com importações de peças por transporte aéreo e administrar "na mão" tudo que envolve a anormalidade existente.

6	Gerenciamento e controle de entrada e saída de material. Acuracidade nas informações e velocidade em atualização dos dados.
9	Divergência de saldo é o mais agravante, falta de rastreabilidade no WIP e necessidade de inventários quase que semanais para ajustar os controles.
3	Baixa acuracidade, extravio de material, erro de sequência de FIFO de containers, etc.
7	Falta de acuracidade e demora na conferência do material pode resultar numa parada de linha.

Os problemas apresentados estão relacionados principalmente com a falta de acuracidade das informações dos materiais recebidos, o que possibilita o surgimento de divergências entre o estoque registrado e o físico. A partir do exposto, essas divergências apenas serão identificadas quando ocorrer a verificação total do estoque. Outrossim, no caso de uma diferença em que o estoque registrado é maior do que o físico e este problema não for identificado com tempo hábil para realização de um pedido emergencial, cria-se o risco de uma escassez de componentes para atender à produção que pode ser paralisada até a resolução do problema. No caso contrário em que o estoque registrado é menor do que o estoque físico, há o surgimento de excesso de estoque, o qual também é um problema visto que tais estoques são custosos e imobilizam considerável montante de capital. Além disso, os itens estocados representam um risco, pois podem ser avariados, tornarem-se obsoletos ou perderem-se nas inúmeras movimentações de materiais; além de ocuparem um grande espaço físico da operação (SLACK, BRANDON-JONES E JOHNSTON; 2020).

Muitas organizações possuem as competências necessárias para digitalizar apenas algumas áreas de suas operações (GHADGE et al, 2022), em outros casos como o da logística *inbound* de peças importadas, a digitalização pode não ocorrer em certos processos devido à falta de interesse da empresa diante de barreira como restrições financeiras, falta de apoio da gestão e outras. Neste contexto, a falta parcial ou total de implementação de ferramentas da I4.0 como *internet* das coisas, computação em nuvem e sistemas *cyber*-físicos, as quais foram percebidas pelos interlocutores com maior potencial para aumento da eficiência para os processos logísticos, representa uma lacuna de oportunidade na empresa para melhorar o gerenciamento dos seus estoques de peças importadas.

5- Conclusão

Ao investigar a implementação de tecnologias da I4.0 com base no caso da logística *inbound* de uma montadora automobilística, os fatores motivadores identificados diante da implementação destas tecnologias foram: o processamento e tratamento automático de dados, a padronização de processo, o aumento na acuracidade no registro de dados, o aumento na

velocidade do processo e a redução de custos de operação. Estes fatores representaram para os interlocutores um aumento da eficiência dos processos e diminuição da carga de trabalho em relação às operações manuais.

As barreiras à implementação das ferramentas da I4.0 foram identificadas pelos interlocutores como a falta de política, infraestrutura e maturidade do setor de Tecnologia da Informação. A partir da análise do processo de logística *inbound*, foram observadas outras barreiras que surgiram diante da implementação de ferramentas da I4.0 no processo de recebimento e controle do estoque de peças importadas, a saber: restrições financeiras, falta de apoio da gestão, falta de padronização entre fornecedores e o nível de confiança no fornecedor.

Em relação à barreira de falta de apoio da gestão, foi exposta a percepção que muitos processos não são contemplados com a implementação de ferramentas da I4.0 porque, mesmo que sejam processos manuais e com carga de trabalho maior, eles atendem à necessidade e funcionam bem. A partir desse pressuposto, apesar de ser um consenso que as ferramentas da I4.0 proporcionam maiores benefícios para eficiência dos processos, a implementação dessas tecnologias necessita de análise da viabilidade e avaliação de sua real necessidade pois considerando a regra de Pareto, abordar as causas principais dos problemas de processo é o que oferece a maior parte da melhoria de desempenho.

A implementação das tendências tecnológicas da I4.0 não é homogênea entre diferentes organizações e, a partir das respostas dos interlocutores, percebeu-se que a implementação também não é homogênea nem mesmo entre as áreas funcionais de uma organização, apesar de as transformações nos meios de produção resultarem também em avanços significativos nos processos logísticos. Contatou-se a percepção por parte dos interlocutores de um foco maior na implementação de tais ferramentas nos processos produtivos em contraste com os processos logísticos. Este fato corrobora com a noção histórica de que as revoluções industriais surgem a partir de transformações nos sistemas produtivos e, após isto, se refletem para sistemas logísticos.

Diante das ferramentas da I4.0 identificadas na empresa houve a predominância de menções da aplicação da *internet* das coisas em processos como os sistemas de identificação automático de mercadorias e rastreamento de veículos via GPS, mas foi possível identificar também exemplos de robotização implementada em linhas de montagem da pintura e funilaria e computação em nuvem evidenciada com foco no trabalho de casa. No entanto, apesar de outras ferramentas da I4.0 não terem sido mencionadas pelos interlocutores, elas podem ter sido implementadas na empresa parcialmente ou por completo, enquanto os interlocutores podem não ter incluído esta informação na resposta do questionário, seja por falta de conhecimento ou

por as tecnologias da I4.0 terem se tornado intrínsecas às atividades diárias desses profissionais, que podem não as reconhecer como um avanço proveniente da indústria 4.0.

As possíveis limitações reconhecidas durante a pesquisa foram a seleção da amostra não diversificada em relação às áreas funcionais da empresa, cujo foco foi em profissionais das áreas de logística e planejamento e controle da produção. Outrossim, a carência na obtenção de dados sobre a caracterização detalhada das aplicações das ferramentas da I4.0 implementadas na empresa.

Com objetivo de explorar mais os fatores motivadores e barreiras à implementação das ferramentas da I4.0, para estudos futuros sugere-se aplicar a investigação destes aspectos na rede de fornecedores da montadora automobilística, com objetivo de comparar os resultados obtidos e, também, desenvolver a metodologia a fim de avaliar e comparar o grau de maturidade dessas empresas em relação à implementação das ferramentas da indústria 4.0.

Referências

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 616 p.

BRICS Business Council (2017), “Skill development for industry 4.0”, **BRICS Skill Development Working Group**, p. 1-60, 2016.

ELIA, V; G., M. G; L., A. Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model. **Expert Systems with Applications**, Lecce, v. 63, p. 187-197, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.07.006>. Acesso em: 05 abr. 2023.

GHADGE, A; MOGALE, D. G; BOURLAKIS, M; MAIYAR, L. M; MORADLOU, H. Link between Industry 4.0 and green supply chain management: Evidence from the automotive industry. **Computers & Industrial Engineering**, Coventry, v. 169, p. 108-303, jul. 2022.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, Bandar Abbas, v. 29, n. 99, p. 910-936, jun. 2018.

GÖKALP, E; ŞENER, U; EREN, P. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. **Software Process Improvement and Capability Determination**, Ankara, v. 770, p. 128-142, set. 2017.

KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A; GAWANKAR, S, A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental**

Protection, Bakersfield, v. 117, p. 408-425, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>. Acesso em: 10 maio 2023.

KANAGACHIDAMBARESAN, G. R. et al. **Internet of Things for Industry 4.0: design, challenges and solutions**. Ghent: Springer, 2020.

KOH, L; ORZES, G; JIA, F. The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies' disruption on operations and supply chain management. **International Journal of Operations & Production Management**, Sheffield, v. 39, p. 817-828, nov. 2019.

LASI, H; FETTKE, P; KEMPER, H, G. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, Plymouth, v. 6, p. 239-242, ago. 2014.

LONI, R. World Class Manufacturing. **Wiley Statsref: Statistics Reference Online**, Bergamo, p. 1-7, nov. 2020.

LUTHRA, S; MANGLA, S, K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, Plymouth, v. 117, p. 168-179, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>. Acesso em: 08 abr. 2023.

MIGUEL, P, A, C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 280 p.

MOURA, T, C, M.; ANDRADE, I, L. A UTILIZAÇÃO DA TELEMETRIA NA GESTÃO DE FROTA EM UMA EMPRESA DE LOGÍSTICA. **Centro de Tecnologia**, Natal, v. 1, n. 1, p. 1-20, fev. 2022.

MÜLLER, J, M. Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: Strategies for industry 4.0 providers and users. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, Salzburg, v. 30, p. 1127-1142, mar. 2019.

MURINO, T; NAVIGLIO, G; ROMANO, E; GUERRA, L; CASSETTARI, L; MOSCA, R, N; REVETRIA, R. A WORLD CLASS MANUFACTURING IMPLEMENTATION MODEL. **Applied Mathematics in Electrical and Computer Engineering**, Napoli, p. 2-7, jan. 2012.

SILVA, N; BARROS, J; SANTOS, M, Y; COSTA, C; CORTEZ, P; CARVALHO, M, S; GONÇALVES, J N. C. Advancing Logistics 4.0 with the Implementation of a Big Data Warehouse: A Demonstration Case for the Automotive Industry. **Electronics**, Minho, v. 10, p. 1-18, set. 2021.

SOUZA, J.; ROYER, R. IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA AGV – VEÍCULO GUIADO AUTOMATICAMENTE: UM ESTUDO DE CASO. **ENEGEP**, Salvador, v. 33, p. 1-16, out. 2013

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá, UNIFEI, 2012.

POOR, P.; BASL, J. Processes of innovations implementation into Industry 4.0. automotive industry standards. **Acta Innovations**, Pilsen, v. 35, p. 21-28, abr. 2020.

PRADO, J. et al. Percepção dos benefícios do uso de sistemas de rastreamento de veículos pelos transportadores rodoviários. **Brazilian Business Review**, Vitória, v. 7, n. 2, p. 1-12, ago. 2010.

XU, L, da; XU, E, L.; LI, L. Industry 4.0: State of the art and future trends. **International Journal Of Production Research**, Norfolk, v. 56, p. 1-22, mar. 2018.