

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS/GV
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO**

Lucas Roberto Coelho da Silva

**Determinantes tecnológicos da Indústria 4.0 na eficiência de Operadores Logísticos no
Brasil**

Governador Valadares

2022

Lucas Roberto Coelho da Silva

**Determinantes tecnológicos da Indústria 4.0 na eficiência de Operadores Logísticos no
Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Administração do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas/GV da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Rodrigues

Governador Valadares

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Coelho da Silva, Lucas Roberto.

Determinantes tecnológicos da Indústria 4.0 na eficiência de Operadores Logísticos no Brasil / Lucas Roberto Coelho da Silva. -- 2022.

57 p.

Orientador: Antonio Carlos Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA, 2022.

1. Operadores Logísticos. 2. Eficiência. 3. Indústria 4.0. 4. Data Envelopment Analysis (DEA). 5. Bootstrap Truncated Regression (BTR). I. Rodrigues, Antonio Carlos, orient. II. Título.

Lucas Roberto Coelho da Silva

**Determinantes tecnológicos da Indústria 4.0 na eficiência de Operadores Logísticos no
Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Administração do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas/GV da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Administração.

Aprovado em 19 de julho de 2022

BANCA EXAMINADORA

Dr. Antonio Carlos Rodrigues - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Leonardo Lemos da Silveira Santos
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dra. Nádia Carvalho
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho aos meus pais que me inspiram e sempre me guiaram em busca desta realização.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu porto seguro estando sempre ao meu lado e atendendo às minhas orações, por sempre ser minha luz, me dando forças para superar os momentos difíceis e chegar até aqui.

A minha mãe Maria e meu pai Roberto, pelo amor, companheirismo e o apoio incondicional nesta caminhada, por todo o esforço e dedicação para sempre me proporcionarem o melhor para que eu pudesse seguir os meus sonhos. Por sempre me incentivarem a crescer. Meu agradecimento por estarem ao meu lado sempre.

A todos os meus amigos e amigas que através dos anos tive o prazer de conhecer, pela ótima companhia de sempre, que fez diferença nessa trajetória tornando essa caminhada mais fácil.

Ao Antonio, por ser um ótimo professor, orientador e amigo que desde que nos conhecemos sempre esteve ao meu lado, me auxiliando tanto na vida acadêmica quanto profissional e pessoal, por ser uma referência que sempre me incentivou e tirou o melhor de mim. Por todas as possibilidades que me proporcionou. Minha eterna gratidão por ter sido um ótimo orientador.

A Juliana, por ser uma ótima professora e amiga, por ser um exemplo de pessoa que ama o que faz, pelos inúmeros conselhos desde o início do curso, por estar sempre presente quando precisei e pelo apoio incondicional sempre.

A todos os docentes do curso de Administração da UFJF-GV, que fizeram parte desta caminhada compartilhando seus saberes e sempre me atenderam com presteza.

Por fim, a Universidade Federal de Juiz de Fora - Campus Governador Valadares, pelos ótimos anos de experiência e aprendizado.

RESUMO

O presente trabalho busca identificar os impactos que a adoção de tecnologias da indústria 4.0 têm na eficiência de operadores logísticos. Foram utilizados dados secundários sobre a atuação dos operadores logísticos nos anos de 2019 e 2020 disponibilizados pela Revista Tecnológica. As análises foram feitas por meio do modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA) em dois estágios. No primeiro estágio, utilizou-se a DEA para mensurar a eficiência dos operadores logísticos. No segundo estágio, foi aplicada a *Bootstrap Truncated Regression* (BTR) para explorar a relação entre a eficiência e as tecnologias da Indústria 4.0 selecionadas. Em relação aos resultados, identificou-se no primeiro estágio uma ineficiência técnica média alta, o que indica falha gerencial na utilização dos recursos de forma eficiente. Por outro lado, os operadores logísticos atuam com baixa ineficiência de escala, ou seja, atuam bem próximo a escala (tamanho) ótima de produção. No segundo estágio, todas as variáveis contextuais foram significativas. As variáveis Drones, *Big-Data* e *Business Intelligence* apresentaram um impacto positivo, ao passo que a Internet das Coisas (IoT) demonstrou um impacto negativo. Os resultados mostram que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 promove ganhos expressivos de eficiência, porém elas devem ser bem exploradas para que seus custos de introdução não sobressaiam os benefícios. O estudo se mostra original uma vez que utiliza a metodologia DEA como ferramenta de *benchmarking* para o desenvolvimento de boas práticas no setor de prestação de serviços logísticos.

Palavras-chave: Operadores Logísticos, Eficiência, Indústria 4.0, Data Envelopment Analysis (DEA), Bootstrap Truncated Regression (BTR).

ABSTRACT

The present study seeks to identify the impacts that the adoption of industry 4.0 technologies have on the efficiency of third-party logistics (3PL). Secondary data on the performance of third-party logistics (3PL) in the years 2019 and 2020 made available by Revista Tecnológica were used. The analyzes were performed using the Data Envelopment Analysis (DEA) model in two stages. In the first stage, DEA was used to measure the efficiency of third-party logistics (3PL). In the second stage, Bootstrap Truncated Regression (BTR) was applied to explore the relationship between efficiency and selected Industry 4.0 technologies. Regarding the results, a high average technical inefficiency was identified in the first stage, which indicates a managerial failure in the efficient use of resources. On the other hand, third-party logistics (3PL) operate with low scale inefficiency, that is, they operate very close to the optimal production scale (size). In the second stage, all contextual variables were significant. The Drones, Big-Data and Business Intelligence variables had a positive impact, while the Internet of Things (IoT) had a negative impact. The results show that the adoption of Industry 4.0 technologies promotes significant efficiency gains, but they must be well explored so that their introduction costs do not outweigh the benefits. The study is original since it uses the DEA methodology as a benchmarking tool for the development of good practices in the logistics services sector.

Keywords: Third-party Logistics (3PL), Efficiency, Industry 4.0, Data Envelopment Analysis (DEA), Bootstrap Truncated Regression (BTR).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução histórica da Indústria 4.0	19
Figura 2 - Fronteira de Eficiência	35
Figura 3 - Boxplot dos inputs e output utilizados	40
Figura 4 - Coeficientes de correlação	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística Descritiva dos Inputs e Output	39
Tabela 2 - Escores de Eficiência dos Modelos DEA CCR e DEA BCC	42
Tabela 3 - Estatística Descritiva dos escores DEA CCR, DEA BCC e SE	45
Tabela 4 - Coeficientes e intervalo de confiança (95%) da BTR (retorno variável)	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias da Indústria 4.0	22
Quadro 2 - Inovações tecnológicas de operadores logísticos	33
Quadro 3 - Recomendações gerais sobre as condições das DMUs	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABOL - Associação Brasileira de Operações Logísticas

BTR - *Bootstrap Truncated Regression* (Regressão Truncada Bootstrap)

CD - Centro de Distribuição

DEA - *Data Envelopment Analysis* (Análise Envoltória de Dados)

DMU - *Decision Making Unit* (Unidade de Negócio)

IOT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)

OL - Operador Logístico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 OPERADORES LOGÍSTICOS	15
2.1.1 Definições Conceituais	15
2.1.2 Papel dos Operadores Logísticos nas Cadeias de Suprimentos	16
2.2 EFICIÊNCIA DOS OPERADORES LOGÍSTICOS	18
2.3 A INDÚSTRIA 4.0	19
2.3.1 Conceito de Indústria 4.0	19
2.3.2 Principais Mudanças da Indústria 4.0	20
2.3.3 Tecnologias da Indústria 4.0	22
2.3.3.1 Tecnologias de hardware	22
2.3.3.1.1 Manufatura aditiva	22
2.3.3.1.2 Veículos autônomos	23
2.3.3.1.3 Robótica Avançada	23
2.3.3.1.4 Internet das coisas	24
2.3.3.2 Tecnologias de software	25
2.3.3.2.1 Big-data e Business Intelligence	25
2.3.3.2.2 Machine learning	26
2.3.3.2.3 Realidade virtual e realidade aumentada	26
2.3.3.2.4 Blockchain	26
2.3.4 Logística 4.0	27
2.3.5 Implicações da Logística 4.0 nas Cadeias de Suprimento	28
2.3.5.1 Gerenciamento de armazéns e estoques	28
2.3.5.2 Gerenciamento de transportes	29
3. METODOLOGIA	31
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR	31
3.3 MODELO DEA EM DOIS ESTÁGIOS	33
3.4 BOOTSTRAP TRUNCATED REGRESSION (BTR)	36
3.5 COLETA DE DADOS	37
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	39
4.2 ANÁLISE DOS MODELOS DE EFICIÊNCIA	41
4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CONTEXTUAIS	45

5. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é um fenômeno que vem promovendo inovações nos mais diversos setores da indústria. Essas inovações impactam diretamente na demanda por novas tecnologias e na forma de gerenciamento das organizações, visto que os clientes passam a buscar um melhor desempenho operacional e um maior nível de serviço. Não obstante, a Indústria 4.0 também traz grandes implicações na logística, a demanda por produtos cada vez mais personalizados tem aumentado juntamente com a complexidade dos processos logísticos, fazendo com que seja necessária uma adaptação a esse contexto de mudança (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

A tecnologia sempre foi a força motriz da logística, alterando drasticamente os processos logísticos a cada nova revolução industrial, o que possibilita aos operadores logísticos (OLs) oferecerem soluções mais eficientes aos seus clientes (CERASIS, 2016). Assim, os OLs estão cada vez mais presentes nas cadeias de suprimentos globais, desempenhando um papel fundamental na integração entre as empresas e o consumidor final (INÁCIO, 2021). Para que as empresas se mantenham competitivas, especialmente nos mercados globais, é imprescindível que possuam processos logísticos eficientes (WINKELHAUS e GROSSE, 2020). Dessa forma, a adoção e utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na logística se tornou essencial pois são fundamentais para ganhos de eficiência e competitividade (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

Os benefícios que as tecnologias da Indústria 4.0 proporcionam na logística têm sido destacados na literatura, como em Corrêa (2019), Coelho (2016), Barreto, Amaral e Pereira (2017), Wang (2016) e Winkelhaus e Grosse (2020). No entanto, a Indústria 4.0 ainda é um tema recente e suas tecnologias ainda estão em processo de implementação e otimização, ocasionando em barreiras para a introdução de novas tecnologias tanto nos processos logísticos como nos demais segmentos da indústria, como: alto custo, capacitação, adaptação e conflito com dados sensíveis de clientes (INÁCIO, 2021).

Assim sendo, analisar os impactos que tecnologias provenientes da Indústria 4.0 têm na eficiência dos OLs pode fornecer *insights* de como essas empresas podem se posicionar para otimizar o uso de tais tecnologias e se tornarem mais competitivas. Neste sentido, este trabalho busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: **De que modo a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 impacta na eficiência de operadores logísticos?** Para isso utilizou-se técnica *Data Envelopment Analysis* (DEA) em dois estágios com a utilização da

Bootstrap Truncated Regression (BTR), permitindo mensurar o impacto de variáveis contextuais na eficiência do setor de prestação de serviços logísticos.

O presente estudo contribui com a literatura especializada de três formas. Primeiro, gerando conhecimento sobre a utilização do modelo DEA em dois estágios, bem como sua utilização como ferramenta de *benchmarking* para o desenvolvimento de boas práticas no setor. Segundo, ampliando o número de estudos de eficiência no setor de prestação de serviços logísticos. Terceiro, demonstrando empiricamente o impacto da adoção das tecnologias na eficiência dos OLS.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar os impactos que a adoção de tecnologias da indústria 4.0 têm na eficiência de operadores logísticos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) caracterizar o perfil de operadores logísticos brasileiros;
- b) mensurar a eficiência dos operadores logísticos através dos modelos de eficiência constante, variável e de escala;
- c) analisar o impacto da adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência dos operadores logísticos selecionados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 OPERADORES LOGÍSTICOS

2.1.1 Definições Conceituais

O advento da globalização gerou novas dinâmicas ao contexto das organizações, possibilitando a adoção de estratégias globais de coordenação. Essas novas mudanças trouxeram uma maior complexidade à gestão logística, necessitando assim de processos logísticos eficientes que possam sustentar a competitividade das organizações (NOVAES, 2015). Não obstante, o autor aborda que os serviços logísticos são importantes frente às complexidades cada vez mais crescentes dos sistemas logísticos ao dizer que:

Os serviços logísticos têm desempenhado um papel crítico nas [cadeias globais de commodities] porque eles não somente provêm conexões geográficas e de transações, mas integram e coordenam o processo de produção globalizado e atomizado. Sem a coordenação e integração realizada pelos serviços, as [cadeias globais de commodities] não seriam viáveis no atual ambiente econômico altamente competitivo (Novaes, 2015, p. 335).

A logística é um dos principais componentes de uma cadeia de suprimentos, sendo tratada com um ativo estratégico capaz de sustentar a vantagem competitiva de empresas (BOWERSOX et al., 2014). A competitividade é tratada por Novaes (2015) como um fator que leva as empresas a se dedicarem às suas competências centrais e conseqüentemente demandarem mais serviços logísticos terceirizados. Nesse sentido, a utilização dos operadores logísticos como recurso estratégico das empresas é intensificada na medida que a demanda por serviços logísticos terceirizados se expande (ALMEIDA e ZILBER, 2011).

A indústria de operadores logísticos teve sua ascensão no Brasil após a implantação do plano real, caminhando em seguida para uma fase de consolidação, onde os clientes são cada vez mais exigentes com novas demandas, como serviços personalizados e ganhos em produtividade (FLEURY e RIBEIRO, 2003).

O conceito de operador logístico apresenta várias faces na literatura (NOVAES, 2015). Os operadores logísticos, ou OLs, são empresas que prestam serviços integrados de logística, abrangendo atividades desde o recebimento do pedido até a entrega ao cliente final, o que se estendeu a outros tipos de processos diversos devido à demanda por serviços cada vez mais personalizados (BOWERSOX et al., 2014). A fala dos autores revela

um ponto tratado como fundamental para a caracterização de um OL. Qualquer empresa que preste serviços logísticos, por mais simples que seja, pode ser considerada uma provedora de serviços logísticos. Todavia, para poder ser caracterizada como OL, a empresa prestadora de serviços deve desempenhar os processos logísticos de forma integrada com os demais processos da cadeia de suprimentos (CORRÊA, 2019; NOVAES, 2015).

Não obstante, segundo a Associação Brasileira de Movimentação e Logística (ABML), o conceito de operador logístico é:

Operador Logístico é a empresa prestadora de serviços, especializada em gerenciar e executar todas ou parte das atividades logísticas, nas várias fases da cadeia de abastecimento de seus clientes, agregando valor aos produtos dos mesmos (ABML, 1999, p. 2-3).

No que tange a caracterização como operador logístico, a ABML trata que:

Para que uma empresa prestadora de serviços logísticos possa ser classificada como Operador Logístico, a mesma deve, no mínimo, prestar simultaneamente serviços nas três atividades básicas seguintes: Controle de estoque; Armazenagem; Gestão de transportes (ABML, 1999, p. 2-3).

Dessa forma, isso tudo implica a necessidade constante de que os OLs se mantenham competitivos no mercado, haja vista sua grande importância nas cadeias de suprimentos atuais (WANKE e AFFONSO, 2011).

2.1.2 Papel dos Operadores Logísticos nas Cadeias de Suprimentos

Há um consenso na literatura de que a concorrência nos dias atuais não é mais entre empresas, mas entre cadeia de suprimentos (CORRÊA, 2019). Conforme o autor, a administração de cadeias de suprimentos:

[...] é a administração integrada dos processos principais de negócios envolvidos com fluxos físicos, financeiros e de informações, englobando desde os produtores originais de insumos básicos até o consumidor final, na geração e fornecimento de bens, serviços e informações, de forma a agregar valor para todos os clientes – intermediários e finais – e para outros grupos de interesse legítimos e relevantes para a cadeia (acionistas, funcionários, gestores, comunidade, governo) (Corrêa, 2019, p. 12).

As cadeias de suprimento substituem os modelos de negócios caracterizados pelas relações frágeis entre empresas por um esforço coordenado com vários elos em níveis distintos, proporcionando ganhos de eficiência, competitividade e redução de riscos (BOWERSOX et al., 2014).

Nesse contexto de concorrência, os OLs surgem como atores fundamentais nas cadeias de suprimentos devido ao seu potencial de proporcionar ganhos de escala e distância (BOWERSOX et al., 2014). Ainda conforme os autores, um OL pode prestar serviços a diversos embarcadores ao mesmo tempo e aproveitar seu potencial logístico de consolidação de cargas, como foi tratado por Corrêa (2019), ao mostrar que os serviços de um OL podem viabilizar que uma empresa atenda mercados cada vez mais distantes de seus CDs, haja vista que com a consolidação de cargas de várias cadeias diferentes os OLs conseguem praticar custos reduzidos no transporte, além de gerar uma grande vantagem competitiva às empresas.

As atividades desempenhadas pelos OLs nas cadeias de suprimento são classificadas em dois grupos: logística de entrada e logística de saída. A logística de entrada trata de atividades que visam apoiar a produção, garantindo seu suprimento no momento certo, como nos sistemas *just-in-time*, ao passo que a logística de saída cuida das atividades de armazenamento, separação de pedidos e distribuição (NOVAES, 2015).

Ainda assim, além do potencial de consolidação de cargas, os OLs podem oferecer diversas outras soluções às cadeias de suprimentos, como por exemplo a integração dos processos logísticos que compreendem desde a aquisição de matéria prima até a entrega do produto ao consumidor final, oferecendo desde soluções em armazenagem, como a gestão integral dos estoques e suporte a operações de logística inversa como *cross-docking*, até a própria gestão do transporte, como o projeto e a otimização de cargas e rotas e soluções em tecnologia, com ferramentas que visam otimizar a sincronização dos serviços prestados e proporcionar um maior controle sobre as operações logísticas, como por exemplo o uso de sistemas de informação geográfica para a elaboração de rotas inteligentes (CORRÊA, 2019).

Não obstante, para Corrêa (2019, p. 317), a presença dos OLs atualmente se estende a muito mais áreas do que os serviços logísticos tradicionais, visto que: “incluem não apenas a execução de atividades, mas também o projeto, o planejamento de curto, médio e longo prazos e o controle de desempenho, inclusive de outros terceiros envolvidos”. Isso pode ser explicado pela crescente demanda por serviços personalizados e ganhos em produtividade tratados por Fleury e Ribeiro (2003). Por outro lado, Coelho (2016) atrela esse fato ao advento da Indústria 4.0, que surge nesse contexto como pré requisito para que as empresas se mantenham competitivas, visto que conforme o autor esse novo cenário competitivo passa a

tratar de negócios em escala muito maiores que os tradicionais, buscando ganhos de produtividade e níveis de serviço cada vez mais elevados.

2.2 EFICIÊNCIA DOS OPERADORES LOGÍSTICOS

A logística envolve elementos que implicam na maximização da eficiência de seus serviços através da melhoria dos níveis de serviço ao cliente e da redução dos custos que envolvem os processos logísticos (NOVAES, 2015).

O crescente desenvolvimento econômico traz a necessidade da melhoria contínua dos processos logísticos, haja vista que nesse ponto os clientes buscam cada vez mais desempenho operacional (RODRIGUES et al., 2018). Nesse contexto, os clientes se tornam cada vez mais seletivos, buscando serviços mais eficientes (FLEURY e RIBEIRO, 2003).

A terceirização de serviços logísticos surge como um meio de maximizar a eficiência dos OLs, visto que proporciona melhorias no serviço prestado, redução de custos e permite a empresa contratante se concentrar em sua atividade fim (LEUSCHNER et al., 2014).

O ganho em eficiência proporcionado pela terceirização dos OLs ocorre no ponto em que a mesma torna possível atingir novos mercados e proporcionar um melhor nível de serviço aos clientes, porém em um contexto de terceirização dos serviços logísticos a avaliação da eficiência dos OLs e da satisfação dos clientes contratantes surge como um fator crítico de sucesso para os integrantes das cadeias de suprimentos (ZAMCOPÉ et al., 2010).

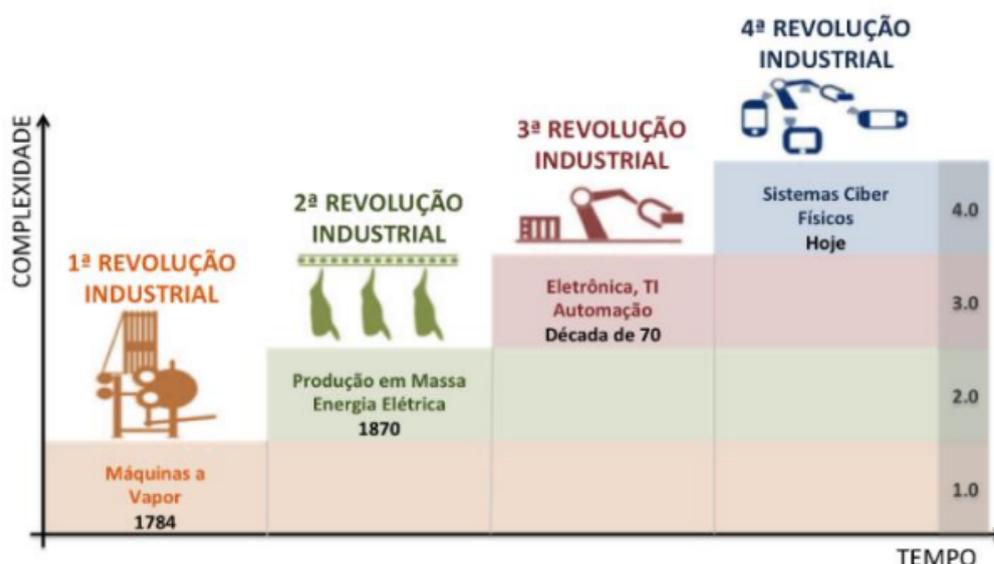
A crescente demanda dos clientes por serviços logísticos personalizados, eficientes e com custos baixos se esbarra na baixa margem de lucro e na competitividade enfrentada pelos OLs (RODRIGUES et al., 2018). Nesse sentido, os autores destacam que uma das melhores formas de otimizar a eficiência operacional dos OLs é com a realização de um *benchmarking*, que consiste em simular as melhores práticas adotadas no mercado e estabelecer um padrão de desempenho confiável.

2.3 A INDÚSTRIA 4.0

2.3.1 Conceito de Indústria 4.0

A primeira revolução industrial marcou o desenvolvimento de máquinas a vapor e sua utilização no processo produtivo, a segunda revolução industrial foi caracterizada pelo uso da eletricidade que trouxe uma maior dinamicidade ao processo produtivo, a terceira revolução industrial proporcionou a automação de processos através do uso da eletrônica e comunicação, por fim, a quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, começou a ser discutida em 2011, na Feira de Tecnologias Industriais de Hannover e preconiza a evolução das tecnologias cibernéticas e sua integração com os sistemas de toda a cadeia produtiva (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

Figura 1 - Evolução histórica da Indústria 4.0



Fonte: Coelho (2016).

O conceito de Indústria 4.0 é tratado por Barreto, Amaral e Pereira (2017) como:

A Indústria 4.0 engloba o desenvolvimento e integração de informações inovadoras e tecnologias de comunicação na indústria. O principal objetivo é fomentar a rede inteligente de produtos e processos ao longo da cadeia de valor, permitindo-lhe usar de forma mais eficiente os processos organizacionais, na criação de bens e serviços para aumentar o benefício do

cliente, oferecendo-lhes novos produtos e serviços (Barreto, Amaral e Pereira, 2017, p. 2).

Schwab (2016, p. 37) discorre sobre a Indústria 4.0 ao dizer que: “A escala e a amplitude da atual revolução tecnológica irão desdobrar-se em mudanças econômicas, sociais e culturais de proporções tão fenomenais que chega a ser quase impossível prevêê-las”. Na visão do autor, as mudanças proporcionadas pela Indústria 4.0 não se restringem apenas às mudanças no contexto industrial, elas se estendem a mudanças econômicas, geográficas, demográficas, políticas e na forma como é o trabalho em si.

A expressão “Indústria 4.0” descreve a visão de uma indústria muito mais inteligente, dinâmica e flexível que nos modelos tradicionais, sendo parte de toda uma cadeia de suprimentos inteligente. O impacto da Indústria 4.0 vai muito além da digitalização dos processos tradicionais, ela é uma forma de inovação que está obrigando as empresas a repensarem todo seu modelo de negócio e posicionamento na cadeia de valor (COELHO, 2016).

Barreto, Amaral e Pereira (2017, p.2) abordam as mudanças proporcionadas pela Indústria 4.0 ao dizerem que: “Esta revolução está causando profundas mudanças, não só na indústria, mas também na sociedade, no ritmo econômico e na perspectiva de como o trabalho é planejado e operacionalizado, de que forma devem ser orientadas as interações homem-máquina, entre outras situações”. Ainda conforme os autores, o principal objetivo da Indústria 4.0 é instituir uma manufatura eficiente e dinâmica, haja vista que durante os últimos anos o uso e a evolução de tecnologias na indústria se tornou indispensável, principalmente devido à crescente demanda por serviços personalizados e competitividade tratada por Bowersox et al., (2014), competitividade essa que como tratado Corrêa (2019) ocorre não mais entre empresas, mas entre cadeias de suprimentos, contribuindo para o aumento da complexidade da gestão e conseqüente demanda por inovação.

2.3.2 Principais Mudanças da Indústria 4.0

A visão da Indústria 4.0 vai muito além da produção enxuta ou das primeiras formas de integração entre a manufatura e os computadores, ela é a visão de produção da indústria do futuro. Um importante componente da Indústria 4.0 é a integração entre o mundo físico e o virtual, possibilitada através dos sistemas ciber físicos (WANG; WANG, 2016).

A principal base da Indústria 4.0 é a integração entre tecnologias digitais e a indústria, sendo diretamente ligada a sistemas ciber físicos (DRATH; HORCH, 2014). Na visão dos autores, existem três hipóteses que explicam os sistemas ciber físicos, sendo elas: 1) a comunicação nos sistemas é mais acessível, podendo ser viabilizada em qualquer local, o que auxilia serviços de diversas naturezas como a própria logística; 2) a conexão dos dispositivos com a rede em tempo real leva a um aumento substancial na disponibilidade de dados, que podem ser acessados de qualquer lugar; 3) os dispositivos possuem capacidade de armazenarem informações deles mesmos e as utilizarem para otimização própria.

As mudanças decorrentes da Indústria 4.0 estão presentes em todos os extremos das cadeias de suprimentos, havendo mudanças no nível de exigência tanto dos parceiros de negócios quanto dos consumidores finais, mudanças essas marcadas principalmente por mudanças na expectativa dos clientes, demanda por produtos inteligentes, novos modelos de colaboração e a digitalização dos processos (COELHO, 2016).

A Indústria 4.0 é caracterizada por Schwab (2016, p. 20) ao dizer que: “É caracterizada por uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizagem automática (ou aprendizado de máquina). Corrêa (2019) complementa essa descrição tratando que tais mudanças proporcionam uma mobilidade maior de acesso, bem como evoluções substanciais em tecnologias como *machine learning*, dentre outras. Além disso, o autor afirma que: “As tecnologias digitais, com seus computadores (*hardware* e *software*) e redes da Quarta Revolução Industrial, não são exatamente novidades, mas vêm se tornando muito mais sofisticadas, integradas e inteligentes, transformando, com isso, a sociedade e a economia global (CORRÊA, 2019, p. 362). Não obstante, as mudanças decorrentes da Indústria 4.0 possibilitam a criação de um cenário onde sistemas físicos e virtuais se integram e cooperam entre si de forma global e flexível (SCHWAB, 2016).

O sistema produtivo característico da Indústria 4.0 é descrito por Coelho (2016) como um sistema de customização em massa, sendo definido como: “produção de bens ou serviços que atendam desejos específicos e individuais a custos reduzidos, muito próximos dos custos de produção em massa sem customização, só possível com uma grande agilidade e flexibilidade da empresa (COELHO, 2016, p. 16)”. A demanda por agilidade e flexibilidade colocada pelo autor é enfatizada por Corrêa (2019), que coloca a logística como uma das implicações decorrentes da Indústria 4.0, haja vista que o nível de serviço logístico é tratado nesse ponto como fator fundamental para um sistema produtivo de customização em massa.

2.3.3 Tecnologias da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é orientada diretamente à melhoria da eficiência nas operações, havendo diversas tecnologias facilitadoras que possibilitam alcançar tal objetivo (COELHO, 2016). As novas tecnologias trazidas pela Indústria 4.0 são uma parte fundamental para o entendimento da mesma (CORRÊA, 2019).

As principais tecnologias que são consideradas pilares da Indústria 4.0 e da indústria inteligente são: a internet das coisas (IoT), os sistemas ciber físicos e o *big-data* (COELHO, 2016). Por outro lado, na concepção de Wang e Wang (2016), além das tecnologias citadas existem outras que estão transformando a produção industrial, tais como: robótica, realidade virtual e a manufatura aditiva.

Não obstante, Corrêa (2019) traz uma relação das tecnologias mais vezes citadas na literatura como relevantes para a Indústria 4.0, além de fazer uma distinção entre tecnologias de *hardware* e tecnologias de *software*, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologias de hardware	Tecnologias de software
manufatura aditiva (impressão 3D)	<i>(big) data analytics e business intelligence</i>
veículos autônomos	<i>machine learning</i>
robótica avançada (adaptativa)	realidade virtual e realidade aumentada
internet das coisas (IoT)	<i>blockchain</i>

Fonte: Corrêa (2019).

2.3.3.1 Tecnologias de hardware

2.3.3.1.1 Manufatura aditiva

A impressora 3D é capaz de construir objetos sólidos tridimensionais a partir de *designs* digitais previamente criados (CORRÊA, 2019). Ainda conforme o autor, o nome de manufatura aditiva é devido ao processo de adicionar sucessivamente diferentes camadas em 2D até que se obtenha o objeto em 3D.

A manufatura aditiva permite a produção de produtos sob demanda a partir de projetos digitais, sendo mais fácil modificar os projetos para se adaptarem aos requisitos específicos de cada cliente (WANG; WANG, 2016).

Dentre as vantagens trazidas pela impressora 3D, cabe destacar os ganhos em eficiência e redução de custos, visto que a mesma não depende da criação de moldes caros e pode executar formas mais complexas sem incorrer em perdas de custo no processo de fabricação, além de que a produção sob encomenda reduz o lead time de distribuição e os níveis de estoque (CORRÊA, 2019; DRUEHL et al., 2017). Os autores ainda destacam as implicações da manufatura aditiva na manutenção preditiva, haja vista que é possível criar peças de reposição para o conserto de veículos e equipamentos em um período de tempo muito menor que nos métodos tradicionais.

2.3.3.1.2 Veículos autônomos

Os veículos autônomos, na visão de Corrêa (2019, p. 365), “são aqueles capazes de trafegar sem qualquer interferência humana além da definição dos pontos de origem e destino e, possivelmente, das rotas a seguir”. Essa definição vai de encontro com o que foi tratado por Wang e Wang (2016) sobre os sistemas ciber físicos, quando os autores destacaram que esses sistemas consistem na aquisição de dados em tempo real no mundo físico com o seu gerenciamento analítico e feedback simultâneo.

Os drones, apesar de também poderem ser controlados, são um dos veículos autônomos mais discutidos na literatura, sendo basicamente robôs aéreos construídos através de rotores, baterias, sensores e dispositivos GPS, sendo utilizados principalmente em atividades logísticas de entrega e monitoramento de operações (DRUEHL, 2017). Não obstante, os drones trazem benefícios significativos nos processos de logística, destacando-se uma maior eficiência nas entregas, um tempo de resposta maior na entrega de peças de reposição a veículos que apresentam problemas e o alcance a áreas remotas e isoladas (VALLE e CORCOVADO, 2021).

2.3.3.1.3 Robótica Avançada

Até pouco tempo a utilização de robôs no processo produtivo se restringia a tarefas rigorosamente controladas e específicas, como na indústria automobilística (SCHWAB, 2016).

A robótica avançada surge no contexto da Indústria 4.0 em decorrência da integração entre as máquinas e as inteligências artificiais. Além disso, a nova geração de robôs é mais adequada ao trabalho em conjunto com humanos, sua integração junto a outras tecnologias provenientes da Indústria 4.0 promove ganhos substanciais em segurança, inteligência e flexibilidade (CORRÊA, 2019).

2.3.3.1.4 Internet das coisas

Schwab (2016, p. 29) conceitua a internet das coisas dizendo que: “ela pode ser descrita como a relação entre as coisas (produtos, serviços, lugares etc.) e as pessoas que se torna possível por meio de diversas plataformas e tecnologias conectadas”. O autor ainda complementa que ela é uma das principais pontes de integração dos sistemas ciber físicos no contexto da Indústria 4.0.

Coelho (2016), por outro lado, diz que:

O termo internet das Coisas “Internet of Things (IoT)” refere-se a objetos físicos e virtuais ligados à internet, tem as suas raízes no MIT (Massachusetts Institute of Technology) quando em 1999 um grupo desenvolvia o seu trabalho na área da identificação por radiofrequência (RFID) conectada. Desde então, tem sido impulsionada pelo aparecimento e uso generalizado de sensores cada vez mais pequenos e baratos, assim como um avanço nos dispositivos móveis, comunicações wireless e tecnologias cloud (COELHO, 2016, p. 20).

Barreto, Amaral e Pereira (2017) salientam que a indústria no contexto da IoT é marcada por ciclos de produção reduzidos, a incorporação das necessidades dos clientes em tempo real, assim como a manutenção das máquinas e equipamentos é realizada de forma preditiva e automatizada.

Druehl et al. (2017) destaca que o termo IoT é utilizado para descrever o fenômeno da digitalização e personalização da entrega de bens e serviços em consonância com a coleta e análise de dados adquiridos através de uma rede de dispositivos interconectados.

A literatura ainda aponta riscos e barreiras em relação a IoT, fatores de segurança e privacidade são citados como os principais riscos enfrentados pela IoT (CRUZ, 2016). A

interconexão entre dispositivos ameaça a privacidade dos usuários (MAGRINI, 2018). A segurança também se torna um risco uma vez que a interconexão entre dispositivos facilita a ocorrência de ataques digitais (GODOI e ARAÚJO, 2020). Além disso, o conceito de IoT ainda é novo no Brasil, pois apenas em 2020 foi aprovada no Brasil a legislação que dispõe sobre a IoT (FUTURECOM, 2020) e apenas em 2020 houve a redução das barreiras regulatórias a IoT, tornando a tecnologia mais barata (ANATEL, 2020).

Contudo, a IoT é um dos principais pilares da Indústria 4.0, proporcionando diversas formas de criação de valor para clientes e redes de suprimento (CORRÊA, 2019). Coelho (2016, p. 21) complementa dizendo que: “A conectividade e interação das coisas criando serviços de valor perceptível para o cliente é um dos mais fortes suportes da revolução que aí vem, abrindo um mundo de oportunidades e desafios”.

2.3.3.2 Tecnologias de software

2.3.3.2.1 Big-data e Business Intelligence

A utilização de tecnologias avançadas por parte das empresas gera um volume muito grande de dados, que são coletados de diversas fontes e então analisados e transformados em informações úteis para tomadas de decisões (CORRÊA, 2019). Essa base de dados é conhecida como *big-data*, que segundo Coelho (2016, p.22): “refere-se a grandes quantidades de dados que são armazenados a cada instante resultante da existência de milhões de sistemas atualmente ligados a rede (*IoT*), que produzem dados em tempo real sobre quase tudo e que se querem disponíveis em todo o lado”. O *big-data* atua no processamento deste grande volume de dados buscando correlações e descobertas (LEITE, 2019). Ainda assim, esse grande volume de dados traz benefícios nos processos logísticos, permitindo às empresas organizarem melhores rotas de entrega, otimizando o transporte de produtos delicados e possibilitando a implementação de tecnologias que visam a automatização dos armazéns (CETAX, 2022).

O principal desafio da Indústria 4.0 é processar todo o grande volume de dados que as empresas têm disponível e transformá-lo em conhecimento útil, necessitando para isso de processos complexos e inteligentes, como soluções de *Business Intelligence* (COELHO, 2016). O *Business Intelligence* tem como foco coletar, organizar, transformar e disponibilizar dados estruturados para a tomada de decisão assertiva nas organizações, permitindo assim uma análise preditiva e fornecendo *insights* a gestores (LEITE, 2019).

2.3.3.2.2 Machine learning

O aprendizado de máquina, ou *machine learning*, consiste em treinar computadores para que aprendam e ajam como humanos, além de coletarem dados decorrentes de suas atividades e os utilizarem para melhorarem cada vez mais seu aprendizado de maneira autônoma (CORRÊA, 2019). Schwab (2016) corrobora com essa afirmação ao abordar que o *machine learning* possibilita as máquinas inteligentes se auto programarem e encontrarem as melhores soluções para problemas partindo de princípios iniciais previamente definidos.

2.3.3.2.3 Realidade virtual e realidade aumentada

A realidade virtual e a realidade aumentada são tecnologias de virtualização provenientes da Indústria 4.0 que consistem em criar no mundo virtual uma representação do mundo real com informações agregadas, de forma a aumentar a percepção humana da realidade (SYBERFELT et al., 2017).

As tecnologias de realidade virtual e aumentada representam dois tipos distintos de ambientes, a realidade virtual trata de um mundo virtual no qual o ser humano é inserido com auxílio de tecnologias, enquanto a realidade aumentada consiste na sobreposição de conteúdos digitais sobre o mundo físico (DRUEHL et al., 2017).

O processo de virtualização dos espaços físicos parte da modelagem, simulação e virtualização do projeto (CORRÊA, 2019; WANG; WANG 2016). Nesse sentido, Corrêa (2019) exemplifica o uso de tais tecnologias, enfatizando a realidade aumentada, no contexto da manutenção de máquinas e equipamentos, onde segundo o autor o diagrama de um circuito pode sobrepor o próprio circuito, indicando ao responsável pelo conserto os pontos específicos que necessitam de atenção, dentre outras utilidades práticas.

2.3.3.2.4 Blockchain

O *blockchain* foi apresentado em 2008 por um indivíduo chamado Satoshi Nakamoto e consiste fundamentalmente um banco de dados online com registros públicos de transações e eventos digitais executados ou compartilhados por participantes da rede (BELMIRO, 2018). O autor complementa tratando que essencialmente o *blockchain* foi desenvolvido pensando na criação da moeda digital *Bitcoin*.

Ferreira et al. (2017) abordam que o *blockchain* utiliza técnicas de criptografia que tornam praticamente impossível a alteração de algum registro cunhado na base de dados, o que conseqüentemente tem atraído muita atenção da indústria, principalmente a de serviços financeiros. Além disso, os autores ressaltam que nenhuma entidade única possui domínio sob o *blockchain*, de forma que todo indivíduo pode fazer registros no mesmo.

Corrêa (2019) chama atenção para as implicações do *blockchain* na cadeia de suprimentos. O autor exemplifica a utilização da ferramenta nos chamados *smart contracts*, que são contratos gravados no *blockchain* em que o sistema pode realizar diversas atividades, como pagamentos, uma vez que parâmetros pré definidos sejam atendidos. O autor ainda estende tratando que a tecnologia dos contratos inteligentes pode atender também ao processo produtivo, visto que a tarefa de validação dos parâmetros de fabricação é vista como onerosa, assim sendo, a utilização da ferramenta para tal pode gerar redução de custos no processo.

2.3.4 Logística 4.0

A Logística 4.0 é um tema que cada vez mais ganha importância nos campos de debate sobre logística e cadeia de suprimentos (WANG, 2016). A demanda por novos produtos e serviços personalizados está em crescimento contínuo, assim sendo, a adaptação da logística é de suma importância para que as empresas possam fazer frente às novas exigências do mercado (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017). Para os autores, o termo Logística 4.0 é usado para se referir a integração das inovações tecnológicas decorrentes da Indústria 4.0 na logística. Rosa et al. (2019) abordam a Logística 4.0 ao dizerem que:

A Logística 4.0 está acontecendo hoje, como uma evolução conceitual e prática, promovendo e adequando empresas e indústrias a uma nova ordem, mudando por completo a forma como essas instituições entendiam a competitividade global. Por essa evolução passam produtos, serviços e informações, cuja produção ou operação empregue maquinário computadorizado, robôs na linha produtiva, impressoras 3D, ou quaisquer outros componentes relacionados à uma produção melhor planejada ou, pela nova conceituação, “inteligente” (Rosa et al., 2019, p. 3).

As mudanças da Logística 4.0 foram estruturadas por Winkelhaus e Grosse (2020) em três dimensões que impactam significativamente na eficiência dos operadores logísticos,

sendo elas: 1) as mudanças externas, desencadeada pelas novas demandas por produtos e serviços cada vez mais personalizados; 2) as mudanças tecnológicas, marcadas pela transição dos sistemas logísticos tradicionais para a Logística 4.0; 3) mudanças referindo-se a própria logística, com implicações nas formas de distribuição, produção, armazenagem e na logística reversa. Os autores complementam sobre as dimensões abordadas ao tratarem que a Logística 4.0 é o resultado da integração de todas as dimensões e essa integração é responsável pelo desenvolvimento contínuo da Logística.

2.3.5 Implicações da Logística 4.0 nas Cadeias de Suprimento

A evolução de um sistema logístico tradicional para a Logística 4.0 traz implicações em diversos aspectos tecnológicos e de gestão, envolvendo desde o planejamento de recursos até o gerenciamento dos armazéns, transportes, informações e tecnologia, sendo fundamental o desenvolvimento e adoção de tais pontos para o uso mais eficiente da logística (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

2.3.5.1 Gerenciamento de armazéns e estoques

Os armazéns são espaços físicos que compreendem o manuseio e a armazenagem de produtos (CORRÊA, 2019). O autor complementa que a finalidade dos armazéns é minimizar o custo do manuseio e otimizar o uso do espaço de armazenagem para conseguir armazenar mais produtos em espaços menores, além de que a armazenagem é uma das principais atividades logísticas passíveis de receber mudanças com a Logística 4.0 devido a sua intensa demanda por mão de obra.

O gerenciamento dos armazéns é uma das principais implicações da Logística 4.0 na cadeia de suprimentos, haja vista que os armazéns são considerados um centro vital no fluxo de mercadorias nas cadeias de suprimentos e devido a grande concorrência no mercado se tornaram fonte de vantagem competitiva (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

No âmbito da Indústria 4.0, a robótica avançada em conjunto com o *machine learning* se destacam no gerenciamento de armazéns e estoques, haja vista que empresas que inseriram a robótica em seus processos de armazenagem perceberam um ganho em valor agregado (CORRÊA, 2019). O autor ainda destaca que tais tecnologias tornam possível atribuir uma tarefa específica a um robô que se desloca automaticamente para realizar as atividades de *picking* e complementa dizendo que:

Sistemas de navegação sofisticados são essenciais no espaço do robô móvel colaborativo (*cobot*). Isso ocorre porque os *cobots* são projetados para navegar de maneira autônoma em um centro de distribuição e em torno de possíveis obstáculos. Uma vez que a instalação é mapeada dentro do sistema de orientação de robôs, os robôs estão livres para se movimentar (Corrêa, 2019, p. 368).

No que tange às implicações das tecnologias de realidade aumentada no gerenciamento de armazéns e estoques, destaca-se que os sistemas baseados em tal tecnologia podem suportar uma gama de atividades, como a seleção de produtos nos armazéns ou o próprio envio de instruções de reparo através de dispositivos móveis (BAHRIN et al., 2016).

Não obstante, os sistemas de gerenciamento de armazéns também implicam em mudanças no transporte, pois os embarcadores poderão fornecer de forma automática informações como posição, carga e hora de chegada prevista para que sistemas inteligentes programem uma doca de recebimento e otimize a entrega *just-in-time* (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

2.3.5.2 Gerenciamento de transportes

O transporte é uma atividade que com a movimentação de bens cria utilidade de localização e tempo (COYLE et al., 2009). A utilidade de localização ocorre quando um produto é transportado a um local em que vale mais que no local de origem, enquanto a utilidade de tempo diz respeito ao nível de serviço logístico, ou seja, entregar o produto ao cliente com celeridade (CORRÊA, 2019).

Assim sendo, observa-se que o transporte é presente em todas as fases das cadeias de suprimentos, deslocando a matéria prima para a manufatura, o produto acabado para as lojas e até mesmo transportando o produto vendido ao consumidor final, sendo um componente importante na cadeia de valor (NOVAES, 2015).

A utilização de sistemas de gerenciamento de cadeias de suprimentos centrado no transporte logístico é um caminho inevitável frente ao paradigma da Logística 4.0, haja vista que torna possível a integração com outras tecnologias das cadeias de suprimento utilizando dados em tempo real para maximizar a eficiência dos processos logísticos (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017). Corrêa (2019, p. 307) complementa dizendo que: “Meios de

transporte mais eficientes podem aumentar muito mais que proporcionalmente as opções de mercado consumidor e de mercado fornecedor para uma cadeia de suprimentos”.

A IoT cada vez mais representa um papel importante nas indústrias de transporte e logística no contexto da Indústria 4.0, oferecendo soluções que realizam desde o monitoramento em tempo real de produtos até o gerenciamento de sistemas de transportes autônomos (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

Os veículos autônomos apresentam um potencial grande de redução dos custos de transporte (DRUEHL et al., 2017). Os autores ainda destacam que a utilização de caminhões autônomos que podem circular o tempo todo podem ajudar a reduzir congestionamentos e a escassez de motoristas, além de que os drones autônomos podem aumentar significativamente a eficiência de entregas de última milha, podendo alcançar locais de difícil acesso além de proporcionarem opções maiores de fracionamento de cargas quando comparado com veículos embarcados.

Os custos relacionados aos transportes logísticos são considerados como os mais representativos no processo logístico de uma organização (BALLOU, 2006). Assim sendo, a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na logística apresenta diversas vantagens de eficiência, como gerenciamento de áreas de cargas, sincronização de cargas multimodal, monitoramento da pegada de CO₂, controle de prioridade e velocidade dos embarcadores, contribuindo para a redução de custos com combustível, dentre outras (BARRETO, AMARAL e PEREIRA, 2017).

3. METODOLOGIA

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa é um procedimento racional e sistemático que objetiva fornecer respostas a problemas propostos, sendo realizada quando as informações disponíveis não são suficientes para resolver determinado problema (GIL, 2018).

Nesse estudo, buscou-se analisar de que modo a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 impacta na eficiência de operadores logísticos. A presente pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, haja vista que buscou analisar os efeitos práticos da adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência de operadores logísticos, pois uma pesquisa aplicada objetiva analisar um problema relativo ao conhecimento científico e gerar uma aplicação prática (MARCONI; LAKATOS, 2021).

Em relação aos objetivos, a pesquisa é caracterizada como descritiva. Gil (2019, p. 26) aborda que “...as pesquisas deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis”. O problema proposto na pesquisa está diretamente ligado à relação entre variáveis, visto que busca analisar a relação entre o uso de tecnologias da indústria 4.0 e seu impacto na eficiência de operadores logísticos.

Quanto à natureza, a pesquisa classifica-se como quantitativa, sendo baseada em dados secundários. A pesquisa quantitativa tem como objetivo primordial a explicação de fenômenos analisando variáveis multifacetadas que devem ser interpretadas e operacionalizadas (MATTAR; RAMOS, 2021). Assim sendo, a natureza quantitativa justifica-se tendo como base o objetivo do estudo, que através de análises estatísticas busca estabelecer indicativos concludentes.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

A logística é uma atividade que cada vez mais vem ganhando destaque na economia. Sua representatividade indica sua relevância na integração de todas as unidades de negócio das empresas e cadeias de suprimento, visto que possui a capacidade de maximizar o nível de serviço das organizações e conseqüentemente a eficiência de seus fluxos e processos. Não obstante, a logística é destacada como um diferencial competitivo nas organizações, fato esse

que incentiva as empresas a terceirizarem os serviços logísticos em busca de uma gestão mais eficiente dos processos logísticos nas cadeias de suprimentos.

A tendência no setor é que nos próximos anos a terceirização de serviços logísticos aumente devido aos ganhos em eficiência operacional que são propiciados pela atividade. A Associação Brasileira de Operadores Logísticos (ABOL) surgiu em 2012 e desde então vem sendo responsável pelo levantamento de dados do setor. A Fundação Dom Cabral (FDC) realiza um estudo bianual, encomendado pela ABOL, sobre o perfil dos OLs. O estudo, realizado em 2020, indica que o setor é composto por 275 empresas, com um faturamento médio anual de R\$ 366 milhões por empresa, além de representarem uma receita operacional bruta total de R\$ 100,8 bilhões anuais. Não obstante, identificou um aumento 23,8% na receita operacional bruta das empresas em relação a 2018 (ABOL, 2020). Além disso, a pesquisa destaca a relevância do setor de OLs como um dos setores que mais empregam no país, sendo responsável por aproximadamente 1,5 milhões de postos de trabalho diretos e indiretos, além de arrecadarem R\$ 14,7 bilhões em tributos e R\$ 11,5 bilhões em encargos trabalhistas.

O setor de OLs, embora tenha crescido exponencialmente nos últimos anos, ainda sofre com o fato de que os OLs não possuem uma Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE) própria, o que impacta diretamente na avaliação do setor, visto que dessa forma é difícil mensurar com exatidão a representatividade dos OLs no mercado (ABOL, 2020).

A mudança nas dinâmicas de consumo aproximaram o mercado do consumidor final, o que demanda a atuação quase que ininterrupta dos OLs. Nesse sentido, a ABOL destaca que as empresas têm incorporado a inovação tecnológica em seu pacote de valor logístico para fazer frente às novas demandas do mercado (ABOL, 2020). Ainda assim, o ranqueamento das inovações mais observadas nas empresas analisadas, sendo descritas como um pacote de inovações que os OLs devem entregar aos clientes, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Inovações tecnológicas de operadores logísticos

Inovação	Representatividade (%)
Inovação na distribuição urbana	52,78%
Automatização das operações	48,65%
Entrega direta ao consumidor	48,57%
Frotas com alta tecnologia embarcada	41,67%
Operações sustentáveis com baixa emissão de poluentes	41,67%
Galpões verdes sustentáveis	30,56%
Embalagens sustentáveis	13,89%

Fonte: Adaptado de ABOL (2020).

Contudo, os mercados mais atingidos pelos OLs nos últimos anos são o automotivo, alimentos e bebidas, eletroeletrônicos, saúde, têxtil e varejo. Todavia, atividades que compreendem a aproximação ao consumidor final passaram a se destacar, como o comércio eletrônico, com a entrega direta no varejo (ABOL, 2020).

3.3 MODELO DEA EM DOIS ESTÁGIOS

A *Data Envelopment Analysis (DEA)*, ou Análise Envoltória de Dados (DEA), é um modelo estatístico não paramétrico introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). O método mensura a eficiência relativa de cada unidade de negócio (*Decision Making Units - DMUs*) por meio da razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*). No modelo DEA, as variáveis são ponderadas por pesos, calculados livremente ou de forma restrita através de programação linear, objetivando maximizar a eficiência de cada DMU em relação ao conjunto de referências (SENRA et al, 2007).

Uma das grandes vantagens da utilização da DEA é o fato deste modelo ser não paramétrico, pois ao contrário dos modelos paramétricos, ele não estima os parâmetros de uma função para a fronteira de eficiência, o cálculo da eficiência é realizado de forma

comparativa entre as DMUs a partir dos dados referentes aos *inputs* e *outputs* das DMUs analisadas, sem estimar a função da fronteira (MARIANO, 2008). Não obstante, os modelos não paramétricos não estabelecem relações funcionais entre as variáveis, o que permite aos *inputs* e *outputs* possuírem unidades de medida diferentes, além de que o próprio modelo é o responsável pela definição de pesos às DMUs, de forma que sejam alocados visando o melhor score possível para mensurar a eficiência da DMU, sendo uma vantagem na identificação de DMUs ineficientes (FERREIRA e GOMES, 2020; WANKE e AFFONSO, 2011).

Existem dois modelos clássicos em DEA: CCR (Retornos Constantes de Escala), proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (CHARNES et al., 1978) e o BCC (Retornos Variáveis de Escala), proposto por Banker, Charnes e Cooper (BANKER et al., 1984). O modelo CCR trabalha com retornos constantes de escala e considera eficiência total, ou seja, qualquer variação nos *inputs* produz uma variação proporcional nos *outputs*. Por outro lado, o modelo BCC não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, possibilitando que DMUs que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes.

As DMUs podem ser classificadas de duas formas nos modelos DEA: 1) eficiência técnica pura (BCC) e a 2) eficiência de escala (SE). Na eficiência técnica, as DMUs podem ser tecnicamente eficientes ou ineficientes. As DMUs que se mostram eficientes são as que produzem em um nível compatível com sua utilização de insumos; ao passo que as ineficientes são as que utilizam insumos em excesso. A eficiência técnica está diretamente ligada a aspectos gerenciais, de maneira que a ineficiência pode ser sanada ao reduzir a utilização de insumos ou otimizando a produção, para atingirem um número maior de *outputs* dado o mesmo conjunto de *inputs* (FERREIRA e GOMES, 2020; FINAMORE et al., 2015). A forma do modelo DEA é demonstrada a seguir:

$$\min \theta_{j_0} - \varepsilon (\sum_{i=1}^m S_{ij_0}^- + \sum_{i=1}^n S_{rj_0}^+)$$

Sujeito a:

$$\theta_{j_0} x_{ij_0} - \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} - S_{ij_0}^- = 0; i = 1, \dots, m$$

$$y_{ij_0} - \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} + S_{rj_0}^+ = 0; r = 1, \dots, n$$

$$\lambda_j, S_{ij_0}^-, S_{rj_0}^+ \geq 0; \forall i, j, r$$

(1)

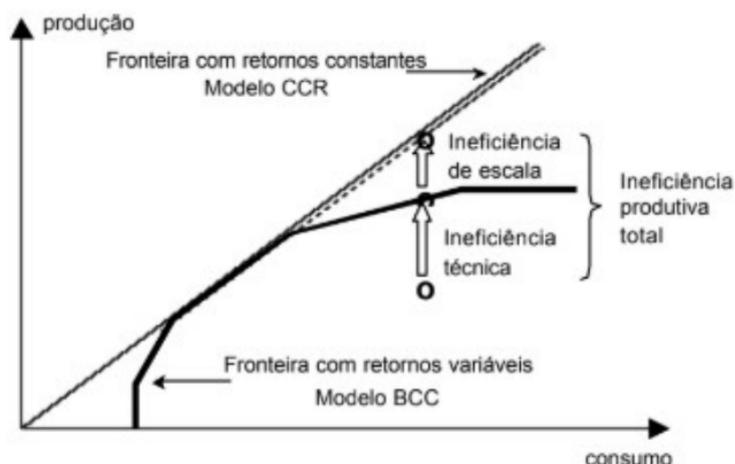
tal que θ_{j0} é a eficiência da DMU “j0”; ε um número positivo infinitésimo que torna os coeficientes dos *inputs* e dos *outputs* positivos; S_{ij0}^- são variáveis de folga para as restrições dos *inputs*, que obrigatoriamente são negativas; S_{rj0}^+ são variáveis de folga para as restrições dos *outputs*, que obrigatoriamente são positivas; e λ_j o peso atribuído às DMUs.

A eficiência de escala é calculada através da razão entre os escores de eficiência do modelo CCR e BCC, podendo operar com retornos constantes, crescentes ou decrescentes de escala (FERREIRA e GOMES, 2020). As DMUs operando com retornos constantes estão na escala ótima de produção. As DMUs com retornos crescentes estão abaixo da escala ótima, indicando que a produção pode ser expandida a custos decrescentes, ao passo que as DMUs operando com retornos decrescentes estão acima da escala ótima, indicando a necessidade de se reduzir o volume de produção (FINAMORE et al., 2015).

$$EE = \frac{\theta_{CCR}}{\theta_{BCC}}$$

Observa-se que para retornos constantes de escala (CCR) os resultados são iguais, independente da orientação determinada pelo modelo. Por outro lado, nos retornos variáveis de escala (BCC), a quantidade de DMUs eficientes aumenta apesar da orientação do modelo e o nível de ineficiência é impactado pela direção definida, conforme visto na Figura 2.

Figura 2 - Fronteira de Eficiência



Fonte: Belloni (2000).

Para o cálculo da eficiência são possíveis dois tipos de orientação. A orientação a *inputs* tem como objetivo produzir a mesma quantidade de produtos, minimizando a utilização dos recursos. Em contrapartida, a orientação a *outputs* visa maximizar a produção mantendo constante a quantidade de recursos consumidos (FERREIRA e GOMES, 2020).

A abordagem DEA é amplamente utilizada na literatura, como em Wanke e Afonso (2010), Werneck (2011), Henriques (2019) e Silva et al. (2019). As abordagens de DEA em dois estágios tornam-se relevantes pelo reconhecimento de que fatores ambientais ou variáveis contextuais podem influenciar de forma significativa nos escores de eficiência, haja vista que a competência gerencial é insuficiente para explicar os níveis de eficiência identificados em determinada DMU (WANKE e AFONSO, 2011).

Neste trabalho, a análise multivariada do segundo estágio utilizou uso da *Bootstrap Truncated Regression* (BTR), ou Regressão Truncada *Bootstrap* (BTR). A distribuição normal truncada é um método eficiente para estimar a relação entre uma variável dependente e outras variáveis. Assim, a técnica analisará os impactos das variáveis contextuais de interesse nos escore de eficiência identificados no estágio anterior.

3.4 BOOTSTRAP TRUNCATED REGRESSION (BTR)

O modelo DEA com *Bootstrap Truncated Regression* (BTR) refere-se à técnica proposta por Simar e Wilson (2007) que consiste em uma regressão truncada que testa a significância das variáveis independentes e cria intervalos de confiança para os *scores* obtidos pelo modelo DEA. O modelo, basicamente, utiliza um modelo de regressão para dados truncados, repetido várias vezes, com bootstrap (reamostragem). Essa medida visa eliminar possíveis vieses da estimação.

O resultado do escore da eficiência encontrado com a utilização de DEA situa-se entre 0 e 1, dessa forma a aplicação de modelos de regressão de mínimos quadrados ordinários torna-se problemática (MARINHO, 2003). A distribuição normal truncada é um eficiente método para estimar a relação entre uma variável dependente truncada e outras variáveis. Assim, a técnica analisará os impactos das que as variáveis contextuais de interesse têm nos escore de eficiência identificados no primeiro estágio (HENRIQUES, 2019).

Simar e Wilson (2007) apontam ainda a necessidade e a adequação da aplicação do BTR pois o modelo DEA em dois estágios depende de variáveis contextuais que não são incorporadas nos *scores* de eficiência no primeiro estágio, fazendo com que seja necessário considerar o erro no segundo estágio. Além disso, os *scores* de eficiência estimados no

primeiro estágio apresentam grande correlação entre si, o que implica em inconsistências estatísticas nas estimativas. Assim sendo, os autores ressaltam que a utilização da BTR é de suma importância na correção das estimativas e conseqüentemente na precisão das mesmas.

3.5 COLETA DE DADOS

Os *inputs*, *output* e variáveis contextuais utilizados neste estudo foram coletados da base de dados da Revista Tecnológica dedicada ao setor de operadores logísticos para os anos de 2019 e 2020. A utilização da base de dados secundária economizou tempo e recursos necessários para coletar dados primários. Os dados secundários são informações já existentes que são submetidas a um tratamento estatístico e que são reconhecidamente importantes para pesquisas devido a sua diversidade e conveniência em adquiri-los (GIL, 2019).

Após limpeza da base de dados original, rejeitando-se operadores que não apresentavam todas as variáveis utilizadas neste estudo, obteve-se uma amostra final de 38 operadores logísticos. Foram selecionados três *inputs* e um *output* que eram comuns a todos os integrantes da pesquisa para elaboração dos modelos de DEA. Para conferir maior poder discriminatório entre as eficiências encontradas nos modelos DEA, cada combinação operador-ano foi considerada uma DMU.

Para assegurar a aderência do modelo, o estudo utilizou a convenção de que o número mínimo de observações de DMUs deve ser maior ou igual ao triplo do somatório de *inputs* e *outputs* ($38 > 3(3+1)$) (ROSANO-PEÑA, 2008).

Os *inputs* selecionados foram: o número de funcionários no Brasil, devido a grande demanda por mão de obra no setor logístico, além de ser um fator que tende a sofrer muita interferência com a logística 4.0; a área de armazenagem total em metros quadrados, pois o processo de armazenagem figura dentre as maiores mudanças no contexto da Indústria 4.0, haja vista que a literatura indica um grande ganho de valor agregado em empresas que adotaram novas tecnologias provenientes deste processo; e por último a frota de transporte total, uma vez que meios de transporte mais eficientes permitem às empresas alcançarem novos mercados e melhorarem sua margem de lucro. Por outro lado, o *output* selecionado foi a receita bruta anual no Brasil, devido ao fato de que resultados financeiros são amplamente utilizados como indicadores de eficiência (MIN e JOO, 2009).

Para análise em segundo estágio as seguintes variáveis contextuais que são tecnologias empregadas pelos OLS foram selecionadas: Drones; Big Data; Business Intelligence; e

Internet das Coisas (IoT). Tais variáveis foram utilizados regressores, a fim de identificar os determinantes da eficiência dos operadores logísticos.

Por fim, foi utilizada a versão gratuita do software R 3.2.2 (<https://cran.r-project.org/>) e pacote rDEA para calcular os escores de eficiência para os modelos clássicos DEA. O pacote permitiu calcular também a significância das variáveis contextuais, utilizando o modelo Bootstrapped Truncated Regression.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foi utilizada a versão gratuita do software R 3.2.2 (<https://cran.r-project.org/>) e pacote rDEA para calcular os *scores* de eficiência para os modelos clássicos DEA. O pacote permitiu calcular também a significância das variáveis contextuais, utilizando o modelo Bootstrapped Truncated Regression.

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva para os *inputs* e *outputs* selecionados. A ampla dispersão de dados é evidente, refletindo possíveis diferenças de escala operacional dos operadores logísticos.

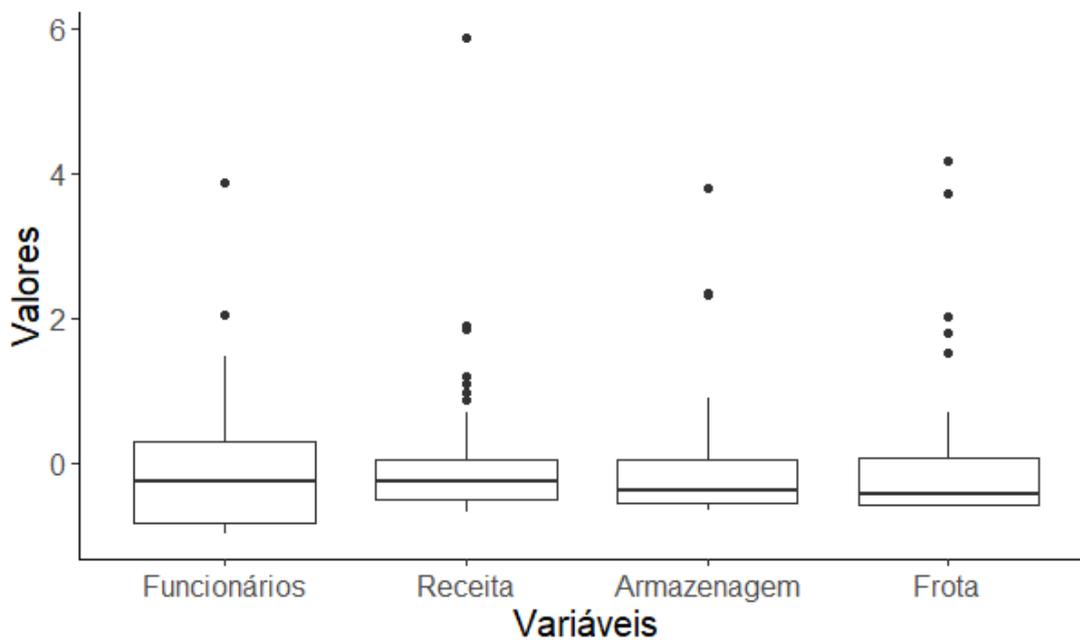
Tabela 1 - Estatística Descritiva dos *Inputs* e *Output*

	<i>Input 1</i>	<i>Input 2</i>	<i>Input 3</i>	<i>Output</i>
	Nº Funcionários (Brasil)	Área de Armazenagem Total (m2)	Frota de Transporte Total	Receita Bruta Anual (Brasil)
Mínimo	38	14000	2	1650000
Mediana	1000	109500	194,5	101550000
Média	1117,16	285229,32	376,76	200502026,32
Máximo	2812	1765000	2010	1500000000
Desvio Padrão	826,24	445706,63	474,69	265429319,21

DMUs = 38

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

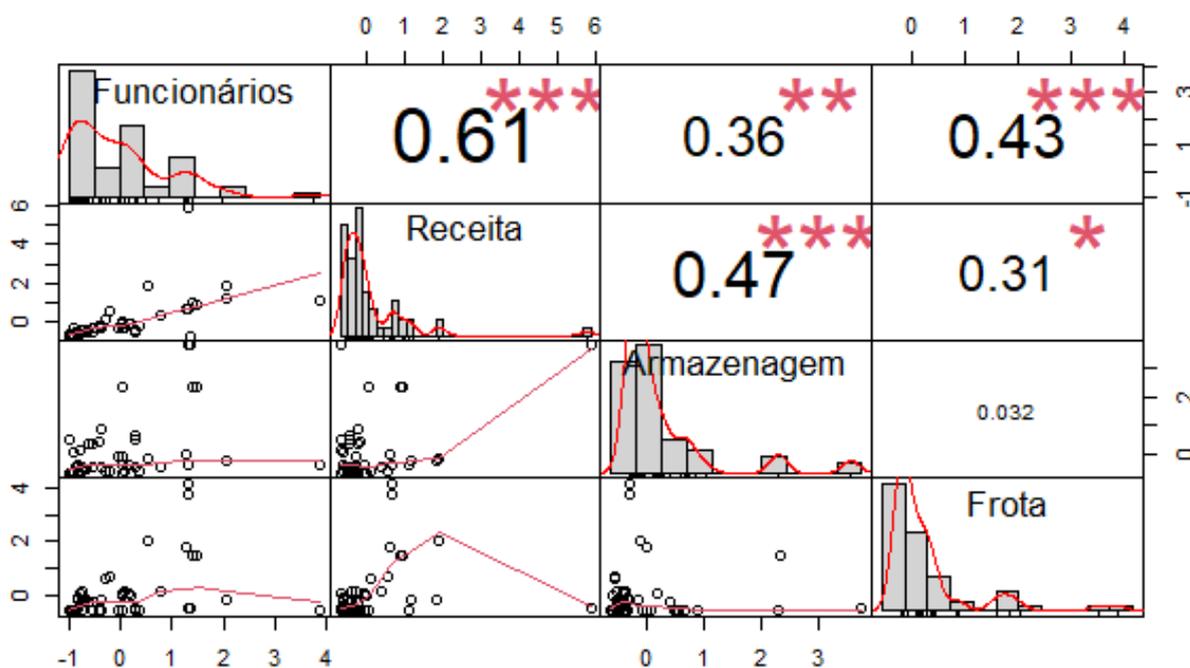
A Figura 3 destaca visualmente pelo gráfico boxplot grande dispersão em relação à média. É possível identificar a existência de outliers nas variáveis receita bruta anual no Brasil, área de armazenagem total e frota de transporte total. Todavia, os outliers foram mantidos uma vez que modelo DEA é não paramétrico, pois o modelo admite outras formas de distribuição que não a normal. Além disso, a retirada de outliers poderia reduzir o poder discriminatório do modelo.

Figura 3 - Boxplot dos *inputs* e *output* utilizados

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para verificar a possibilidade de reduzir o número de variáveis consideradas na análise, foram verificados os coeficientes de correlação entre os *inputs* e *outputs* do modelo. A Figura 4 apresenta os resultados entre as variáveis.

Figura 4 - Coeficientes de correlação



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tendo em vista que os coeficientes de correlação entre os pares de *inputs* não são altos, todas variáveis foram mantidas no estudo.

4.2 ANÁLISE DOS MODELOS DE EFICIÊNCIA

O primeiro estágio do modelo DEA consistiu na análise dos modelos de eficiência DEA CCR e DEA BCC (Ver Tabela 2). Os modelos foram orientados ao *output* porque o desempenho geral dos OLS pode ser medido pelo seu resultado financeiro (MIN e JOO, 2009). A orientação ao *output* permite que a produção varie mesmo em um cenário onde a quantidade de insumos é constante. Assim sendo, os OLS buscam aumentar seus resultados, dado os recursos atuais, para responder de forma mais eficaz à demanda. Isso implica responder à pergunta: “Quanto proporcionalmente a produção (receita bruta) de uma DMU pode ser aumentada sem alterar a quantidade de insumos utilizados (número de funcionário, armazéns e frota)?”.

A Tabela 2 apresenta as eficiências de escala (SE) e retorno às escalas (RTS) para cada DMU da amostra.

Tabela 2 - Escores de Eficiência dos Modelos DEA CCR e DEA BCC

DMU	λ					DMU	λ				
	CCR	BCC	SE	(Lam bda)	RTS		CCR	BCC	SE	(Lam bda)	RTS
1	0,358	0,367	0,976	0,355	Crescente	20	0,830	0,882	0,941	0,134	Crescente
2	0,973	1	0,973	1,759	Decrescente	21	1	1	1	1	Constante
3	0,536	0,597	0,897	0,216	Crescente	22	0,925	0,925	1	1	Constante
4	0,576	0,645	0,893	0,241	Crescente	23	0,131	0,131	0,999	0,944	Crescente
5	1	1	1	1	Constante	24	0,142	0,142	0,999	0,976	Crescente
6	0,568	0,620	0,916	0,347	Crescente	25	0,346	0,364	0,951	0,498	Crescente
7	0,389	0,484	0,804	2,099	Decrescente	26	0,214	0,225	0,951	0,498	Crescente
8	0,389	0,484	0,804	2,099	Decrescente	27	1	1	1	1	Constante
9	0,132	0,154	0,860	0,096	Crescente	28	0,736	0,736	1	1	Constante
10	0,147	0,177	0,832	0,082	Crescente	29	0,521	0,523	0,996	0,673	Crescente
11	1	1	1	1	Constante	30	0,489	0,491	0,996	0,706	Crescente
12	0,367	0,675	0,543	2,903	Decrescente	31	0,277	1	0,277	0,016	Crescente
13	0,367	0,675	0,543	2,903	Decrescente	32	0,042	0,05	0,854	0,094	Crescente
14	0,492	0,497	0,990	0,455	Crescente	33	0,415	0,419	0,990	0,89	Crescente
15	0,243	0,263	0,923	0,165	Crescente	34	0,672	0,674	0,996	1,025	Decrescente
16	0,331	0,351	0,941	0,205	Crescente	35	0,415	0,419	0,990	0,89	Crescente
17	0,292	0,326	0,898	1,756	Decrescente	36	0,708	0,714	0,992	0,88	Crescente
18	0,269	0,306	0,879	1,864	Decrescente	37	0,001	0,001	1	1	Constante
19	0,941	1	0,941	0,134	Crescente	38	1	1	1	1	Constante

Elaborado pelo autor (2022).

Após a classificação dos operadores logísticos segundo os critérios de eficiência técnica pura e escala, pode-se realizar algumas recomendações gerais, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Recomendações gerais sobre as condições das DMUs

Tipo de retorno (RTS)	Condição da DMU segundo a pura eficiência técnica	
	Eficiente	Ineficiente
Constante	<p>Total: 5 DMUS (5, 11, 21, 27, 38)</p> <p>As DMUs estão utilizando os recursos sem desperdícios e operam em escala ótima. O aumento da produção deve ocorrer mantendo-se a proporção de uso dos fatores.</p>	<p>Total: 3 DMUS (22, 28, 37)</p> <p>Apesar de estarem operando em escala ótima, existe ineficiência técnica. Isso significa que se pode reduzir o uso dos insumos e continuar produzindo a mesma quantidade. De maneira equivalente, a produção pode crescer utilizando-se os mesmos insumos. Eliminando as ineficiências técnicas, as DMU tornam-se eficientes com retornos constantes.</p>
Crescente	<p>Total: 2 DMUS (19, 31)</p> <p>Apesar de tecnicamente eficiente, não existindo insumos utilizados em excesso, o volume de produção está abaixo da escala ótima. Isso significa que as DMUs podem aumentar a produção a custos decrescentes. Nesse sentido, o aumento da produção deve ocorrer mediante incorporação de insumos, porém mantendo-se as relações entre as quantidades de produto e insumos.</p>	<p>Total: 20 DMUS (1, 3, 4, 6, 9, 10, 14, 15, 16, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 32, 33, 35, 36)</p> <p>As DMUs apresentam ineficiência técnica, devido ao uso excessivo de insumos, e ineficiência de escala, que ocorre pois a DMU está operando abaixo da escala ótima. Para aumentar a eficiência técnica é preciso eliminar os excessos de uso dos insumos, ao passo que para operar em escala ótima é necessário aumentar a produção. O aumento da produção deve ocorrer reduzindo as relações entre quantidades utilizadas de insumo e o volume de produção.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Quadro 3 - Recomendações gerais sobre as condições das DMUs

(continuação)

Tipo de retorno (RTS)	Condição da DMU segundo a pura eficiência técnica	
	Eficiente	Ineficiente
Decrescente	<p>Total: 1 DMU (2)</p> <p>DMU tecnicamente eficiente, porém operando acima da escala ótima. Mantendo-se essa situação, o aumento da produção se dará a custos crescentes. Pode-se reduzir o tamanho da produção das DMUs, utilizando mais unidades, porém menores e mantendo a mesma proporção entre <i>inputs</i> e <i>outputs</i>. Também pode-se otimizar a produção com adoção de políticas qualitativas, ou seja, o aumento da produtividade dos fatores possibilitaria o crescimento da produção sem a necessidade de se utilizar mais insumos.</p>	<p>Total: 7 DMUS (7, 8, 12, 13, 17, 18, 34)</p> <p>Nesta situação, as DMUs estão operando acima da escala ótima e apresentam ineficiência técnica. É preciso corrigir os dois problemas. Para aumentar a eficiência técnica, deve-se eliminar os insumos que estão sendo utilizados em excesso, o que equivale a produzir mais utilizando os mesmos insumos. Com relação ao problema de escala, pode-se simplesmente reduzir a produção em cada DMU, utilizando um número maior de DMUs menores para produzir a mesma quantidade anterior. Pode-se, ainda, melhorar a tecnologia, aumentando a produtividade dos fatores de produção.</p>

As ineficiências identificadas nos OLs se dão em sua maioria por DMUs tecnicamente ineficientes que apresentam retornos crescentes de escala, representando 57,89% das DMUs analisadas. O cenário atual do setor logístico corrobora com o grande número de OLs que apresentam alto grau de ineficiência. Durante a crise sanitária em decorrência do vírus Sars-Cov-2 ocorreu um aumento exponencial na demanda por serviços logísticos em alguns segmentos da indústria devido ao crescimento do e-commerce e da logística humanitária, quando foram identificadas muitas lacunas na gestão de empresas do setor devido a ainda possuírem processos engessados e baixa flexibilidade logística para atender o aumento da demanda (GUEDES, 2021).

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos resultados obtidos pelos modelos DEA CCR, DEA BCC e SE. É possível identificar uma assimetria grande entre as DMUs

analisadas, haja vista que o valor mínimo identificado é 0,001, enquanto o máximo é 1. A eficiência média identificada no modelo CCR é baixa (0,506), indicando uma ineficiência geral de 49,38%, enquanto que no modelo BCC a eficiência média identificada também se mostra baixa (0,561) representando uma ineficiência geral de 43,9%. A ineficiência média de escala é de 9,09%, sugerindo que em ambos os modelos a ineficiência gerencial se sobressai em relação à ineficiência de escala, o que pode ser explicado por estudos conduzidos pela ABOL (2022) que indica a necessidade de grandes investimentos no setor de OLS, como investimentos em inovações tecnológicas orientados à redução de custos e melhora na eficiência das operações, principalmente na capacitação das pessoas envolvidas no setor.

Tabela 3 - Estatística Descritiva dos escores DEA CCR, DEA BCC e SE

	DEA CCR	DEA BCC	SE
Eficiência Média	0,506	0,561	0,909
Mínimo	0,001	0,001	0,277
Quartil 1	0,281	0,332	0,894
Mediana	0,415	0,510	0,962
Quartil 3	0,729	0,846	0,998
Máximo	1	1	1
% de ineficiência média	49,38%	43,90%	9,09%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após apresentados os modelos de eficiência e seus respectivos escores, inicia-se o segundo estágio, onde as variáveis contextuais analisadas foram testadas para se mensurar o seu impacto na eficiência das DMUs estudadas.

4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CONTEXTUAIS

Para identificar os determinantes da eficiência dos operadores logísticos no Brasil, foram pesquisados, na base de dados da Revista Tecnológica, tecnologias 4.0 utilizadas pelas empresas. Os determinantes são as variáveis de controle do estudo porque são atributos e não *inputs* ou *outputs* para os processos operacionais.

As variáveis de controle binárias selecionadas foram: drones, big data, business intelligence e internet das coisas (IoT). Essas variáveis assumem o valor 1 para casos que

possua a característica mencionada e de outra forma, o valor 0. Sabe-se da necessidade de $k-1$ variáveis dummy para representar uma variável com k categorias (GUJARATI e PORTER, 2011), a categoria base é a própria ausência da característica.

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de significância e de regressão para as variáveis contextuais para um intervalo de confiança de 95% e um conjunto de reamostragens de 2000 interações, sendo um valor considerado suficiente por Simar e Wilson (2007) para construir os intervalos de confiança na BTR. Para interpretação dos resultados, utiliza-se os intervalos de confiança para inferir a significância dos parâmetros. Por exemplo, se o alfa for 0,05 e o valor 0 não estiver dentro do intervalo de confiança, as amostras bootstrap indicam que o coeficiente para a variável ambiental específica é significativo no nível 0,05 (alfa). Adicionalmente, um sinal positivo em uma variável explicativa indica impacto negativo na eficiência de escala e um sinal negativo indica um impacto positivo nos escores (BALCOMBE et al., 2008).

Tabela 4 - Coeficientes e intervalo de confiança (95%) da BTR (retorno variável)

Coeficientes	Valor	Limite Inferior (2,5%)	Limite Superior (97,5%)
(Interceptação)	-2.810,20	-5.637,02	-5.431,84
Drones	-667,11	-1.366,90	-1.193,17
Big Data	-396,97	-832,35	-672,39
Business Intelligence	-1.639,67	-3.242,68	-3.022,36
Internet das Coisas (<i>IoT</i>)	608,13	1.111,49	1.280,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para a análise dos resultados da BTR, utilizou-se o modelo BCC pois este modelo permite realizar uma comparação mais justa, possibilitando DMUs pequenas operarem com retornos crescentes e DMUs grandes com retornos decrescentes de escala. Considerando os retornos variáveis de escala, observa-se na Tabela 4 que todas as variáveis contextuais analisadas foram significativas nos escores de eficiência das DMUs. As variáveis Drones, *Big Data* e *Business Intelligence* apresentaram uma relação positiva com a eficiência de escala das DMUs, enquanto que a variável Internet das Coisas (*IoT*) demonstrou uma relação negativa.

O impacto positivo identificado na utilização de drones pode ser explicado devido ao seu papel importante na Logística 4.0, pois permitem às empresas realizarem entregas mais rápidas e eficientes, sendo fundamental no contexto atual de intensificação do *ecommerce*,

além de que permitem uma resposta rápida na entrega de peças de reposição e no alcance de áreas remotas e de difícil acesso (VALLE e CORCOVADO, 2021). Não obstante, a utilização de drones também trás benefícios em relação ao seu papel na digitalização dos armazéns, onde também atuam tornando mais eficiente o processo de armazenagem ao monitorar o armazém inspecionando as condições do espaço físico, identificando e coletando produtos de difícil acesso humano e auxiliando os operadores a se locomoverem no espaço (MECALUX, 2021).

Em relação a utilização de *big-data*, o impacto positivo pode ser explicado pela grande quantidade de dados que as empresas precisam lidar no contexto da Indústria 4.0 (COELHO, 2016). A utilização de *big-data* traz diversas possibilidades que tornam os processos logísticos mais eficientes, as empresas podem armazenar dados sobre entregas e observar padrões visando torná-las mais eficientes, além de que o *big-data* em conjunto com uma análise preditiva permite às empresas anteciparem problemas otimizando as rotas de entrega, o que também impacta na qualidade em que bens perecíveis são transportados e, por fim, viabiliza a automatização de armazéns ao permitirem que sistemas inteligentes operem de forma autônoma com um grande fluxo de dados (CETAX, 2022).

A última variável que apresentou um impacto positivo foi a utilização de *business intelligence*. Esse impacto também pode ser explicado devido a grande quantidade de dados no contexto da Indústria 4.0, pois o principal desafio da Indústria 4.0 é tratar esses dados e transformá-los em informações úteis (COELHO, 2016). A utilização de soluções de *business intelligence* promove melhoria de processos, o monitoramento das operações e a disponibilização de informações em tempo real para tomada de decisão assertiva (LEITE, 2019).

Por fim, infere-se que o impacto negativo identificado na utilização da IoT é explicado primeiramente por questões de privacidade e segurança que envolvem esse conceito. A IoT prevê uma série de dispositivos interconectados coletando, compartilhando e armazenando dados a todo momento (COELHO, 2016). Os dados compartilhados nessa interconexão são muitas vezes sensíveis, ameaçando a privacidade dos usuários (MAGRINI, 2018). Assim como a falta de segurança pode facilitar ataques digitais onde indivíduos mal intencionados podem acessar dispositivos simples, como uma bateria, e a partir disso ascender na rede até alcançar dados cada vez mais restritos (GODOI e ARAÚJO, 2020). Por outro lado, o conceito de IoT ainda está em uma fase embrionária no Brasil. Uma das principais barreiras enfrentadas pela indústria para implementar novas tecnologias é seu alto custo de aquisição no período introdutório (CNI, 2016). Não obstante, a regulamentação da IoT no Brasil é indicada

como um dos principais desafios a serem enfrentados pela implementação da IoT no país (FUTURECOM, 2020). Os dados utilizados na pesquisa são referentes a atuação dos OLs nos anos de 2019 e 2020, o que corrobora com o fato de que o conceito de IoT é novo, pois apenas no dia 25 de junho de 2019 foi instituído no Brasil o decreto N° 9.854, que institui o Plano Nacional de Internet das Coisas visando acompanhar o desenvolvimento de sistemas de comunicação máquina a máquina e IoT (BRASIL, 2019). Além disso, apenas no dia 29 de outubro de 2020 foi aprovada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) a redução de barreiras regulatórias a IoT (ANATEL, 2020).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o impacto que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 têm na eficiência de operadores logísticos. Para isso, foi definida uma amostra de 38 operadores logísticos e o estudo consistiu na análise de seus respectivos escores de eficiência e no impacto das variáveis contextuais nos mesmos. Em primeiro lugar, o estudo revelou um grande espaço para melhoria, principalmente em termos de eficiência técnica, visto que o grau de ineficiência média tanto do modelo CCR quanto do modelo BCC se mostrou alto. Ainda assim, a análise dos intervalos de confiança da BTR constatou um impacto positivo das variáveis contextuais drones, *big-data* e *business intelligence* na eficiência das DMUs, ao passo que a variável internet das coisas (IoT) demonstrou um impacto negativo.

Em termos práticos, os achados desta pesquisa indicam que a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 em conjunto com uma boa gestão pode promover a OLS ganhos expressivos em eficiência, porém tais tecnologias devem ser bem exploradas para que seus custos de introdução não sobressaiam em relação aos benefícios.

Ademais, pode-se inferir que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 nos OLS se faz cada vez mais necessária devido aos benefícios percebidos e ao potencial de otimizar ainda mais os processos logísticos. Todavia, essas tecnologias ainda estão em um período embrionário, como constatado com o impacto negativo da IoT, o que torna necessário a evolução conceitual e técnica sobre a aplicação de tais tecnologias.

Diante dos resultados encontrados, o estudo contribuiu gerando conhecimento e expandindo o número de estudos sobre a aplicação do modelo DEA para analisar a eficiência de empresas do setor de prestação de serviços logísticos, visto que compreender os impactos de novas tecnologias é fundamental em um cenário de adaptação. Ainda assim, destaca-se que a demonstração empírica deste impacto contribuiu para identificar as melhores práticas no setor e consequentemente servir de *benchmarking* para outras empresas.

Como limitação ao estudo, destaca-se o fato de que os dados não foram coletados diretamente com os operadores logísticos, sendo utilizada uma base secundária extraída da Revista Tecnológica. Além disso, os dados analisados são referentes a atuação dos operadores logísticos nos anos de 2019 e 2020, não existindo dados sobre períodos anteriores. No entanto, recomenda-se que para estudos futuros seja utilizado um intervalo de tempo e uma amostra maior, assim como a utilização de outras variáveis contextuais se faz relevante

para identificar os determinantes de eficiência e a segmentação por tipo de operador logístico ou área de atuação pode fornecer *insights* sobre barreiras em potencial.

REFERÊNCIAS

- ABML. **O conceito de operador logístico**; 1999. Disponível em: <https://docplayer.com.br/448453-Conceito-do-operador-logistico-fevereiro-de-1999.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- ALMEIDA, M. V.; ZILBER, M. A. **Operadores logísticos como fonte de vantagem competitiva: Um estudo exploratório baseado na visão de recursos**. Revista de Administração da Unimep. 2011, 9(2), 131-152. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273719433007>. Acesso em: 02 nov. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE OPERADORES LOGÍSTICOS (ABOL). **ABOL apresenta atualização de 2020 da pesquisa que define o Perfil dos Operadores Logísticos no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://abolbrasil.org.br/project-updates/abol-apresenta-atualizacao-de-2020-da-pesquisa-que-define-o-perfil-dos-operadores-logisticos-no-brasil/>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- _____. **Operadores logísticos preveem crescimento expressivo em 2022**. 2022. Disponível em: <https://tecnologica.com.br/categoria/especiais/operadores-logisticos-preveem-crescimento-e-xpressivo-em-2022.html>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- BAHRIN, M.; OTHMAN, F.; AZLI, N.; TALIB, M. **Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic**. Journal Teknologi, [s.l.], v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016.
- BALCOMBE, K.; FRASER, I.; LATRUFFE, L.; RAHMAN, M.; SMITH, L. **An application of the DEA double bootstrap to examine sources of efficiency in Bangladesh rice farming**. Applied Economics, [S.L.], v. 40, n. 15, p. 1919-1925, ago. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00036840600905282>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANKER, R. D.; CHARNES, H. COOPER, W. W. **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis**. Management Science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. **Industry 4.0 implications in logistics: an overview**. Procedia Manufacturing, vol. 13, p. 1245-1252, 2017.
- BELMIRO, J. N. **Blockchain e o potencial de novos modelos de negócios: um mapeamento sistemático**. Gestão e Projetos, v. 9, n. 3, p. 33–48, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/gep.v9i3.11121>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- BELLONI, J. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras**. Dissertação de Mestrado: UFSC, 2000. 245p.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B.; BOWERSOX, J. C. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre AMGH, 2014. 455p.

BRASIL. ANATEL. **Anatel retira barreiras regulatórias à Internet das Coisas e aplicações Máquina-a-Máquina.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-retira-barreiras-regulatorias-a-internet-das-coisas-e-aplicacoes-maquina-a-maquina>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRASIL. Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, ano 156, n. 10, p. 1-148, 25 jun. 2019.

CERASIS. **The future of supply chain, logistics & manufacturing: how technology is transforming industries.** CERASIS, 2016. Disponível em: https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/LOGISTIK/Technology_Manufacturing_SupplyChain_Logistics_eBook.pdf. Acesso em: 02 jun. 2022.

CETAX. **5 Exemplos de Como Big Data na Logística Pode Transformar a Cadeia de Suprimentos.** 2022. Disponível em: <https://www.cetax.com.br/blog/5-exemplos-de-como-big-data-na-logistica-pode-transformar-a-cadeia-de-suprimentos/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring efficiency of decision-making units.** European Journal of Operational Research, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. Disponível em: <https://personal.utdallas.edu/~ryoung/phdseminar/CCR1978.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria.** Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 20 de jun. 2022.

COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0.** 2016. 65p. Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 04 out. 2021.

CORCOVADO, J. M. F.; VALLE, V. C. L. L. **Regulação do Uso Comercial de Drones no Espaço Aéreo Urbano e sua Logística Para Transporte de Objetos nas Smart Cities.** International Journal Of Digital Law, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 185-200, 15 ago. 2021. International Journal of Digital Law. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.47975/ijdl.valle.v.2.n.2>. Acesso em: 21 fev. 2022.

CORRÊA, H. L. **Administração de cadeias de suprimentos e logística: integração na era da Indústria 4.0.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 454p.

COYLE, J. J.; LANGLEY JR., C. J.; GIBSON, B. J.; NOVACK, R. A.; BARDI, E. J. **Supply Chain Management: A Logistics Perspective.** 8th ed. South-Western/Cengage, 2009.

CRUZ E. V. **A vulnerabilidade da Internet das coisas (IoT), um risco para as empresas, 2016.** Disponível em: <http://www.segs.com.br/info-ti/18046-a-vulnerabilidade-da-internetdas-coisas-iot-um-risco-para-as-empresas.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or hype?** IEEE industrial electronics magazine, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

DRUEHL, C.; CARRILLO, J.; HSUAN, J. **Technological Innovations: Impacts on Supply Chains**. George Mason University School of Business Research Paper. N. 18-7, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3082323>. Acesso em: 08 jan. 2022.

EFRON, B. **Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife**. The Annals of Statistics, 7(1), 1–26, 1979. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-statistics/volume-7/issue-1/Bootstrap-Methods-Another-Look-at-the-Jackknife/10.1214/aos/1176344552.full>. Acesso em: 19 fev. 2022.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados**. 2. ed. Viçosa: ED UFV, 2020. p. 392.

FERREIRA, J. E.; PINTO, F. G.; SANTOS, S.C. **Estudo de Mapeamento Sistemático Sobre as Tendências e Desafios do Blockchain - Systematic Mapping Study On Trends And Challenges Of Blockchain**. Gestão.org, v. 15, n. 0, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21714/1679-18272017v15Ed.p108-117>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FINAMORE, E. B.; GOMES, A. P.; DIAS, R. S.; Dias, M. A. **Eficiência relativa dos setores econômicos de Minas Gerais: uma aplicação do modelo DEA na matriz insumo-produto**. 55th Congress of the European Regional Science Association: "World Renaissance: Changing roles for people and places", Lisboa, 2015. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/124789>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FLEURY, P. F.; RIBEIRO, A. F. M. **A indústria de provedores de serviços logísticos no Brasil**. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo e dos recursos. São Paulo: Atlas, 2003. p. 302-312.

FUTURECOM. **IoT no Brasil: quais são as barreiras e como superá-las?** 2020. Disponível em: <https://digital.futurecom.com.br/transformao-digital/iot-no-brasil-quais-so-barreiras-e-como-super-las>. Acesso em: 20 nov. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019. p. 230.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018. p. 173.

GODOI, M. G.; ARAÚJO, L. S. **A INTERNET DAS COISAS: evolução, impactos e benefícios**. Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 1, p. 19-30, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/538/363>. Acesso em: 26 jun. 2022.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. Bookman: Porto Alegre, 2011.

GUEDES, A. **Pandemia traz novo cenário aos operadores logísticos: mais uso de tecnologia e capacitação de profissionais**. 2021. Disponível em: <https://www.painelloistico.com.br/pandemia-traz-novo-cenario-aos-operadores-logisticos-mais-uso-de-tecnologia-e-capacitacao-de-profissionais/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

HENRIQUES, I. C. **Eficiência do Setor Bancário Brasileiro: Modelo DEA Dois Estágios com Regressão Truncada Bootstrapped**. 2019. 196 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Pol. Públicas - Face, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/35204/1/2019_IagoCotrimHenriques.pdf. Acesso em: 19 fev. 2022.

INÁCIO, D. **Impacto das Tecnologias da Indústria 4.0 na Resiliência e Responsividade da Cadeia de Suprimentos Digital**. 2021. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/71681/R%20-%20D%20-%20DANI%20INACIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 jun. 2022.

LEITE, R. C. **A IMPORTÂNCIA DO BUSINESS INTELLIGENCE (BI) PARA AS LOGÍSTICAS QUE DESEJAM INOVAR**. 2019. Disponível em: [https://revistamundologistica.com.br/blog/rosana/a-importancia-do-business-intelligence-\(bi\)-para-as-logisticas-que-desejam-inovar](https://revistamundologistica.com.br/blog/rosana/a-importancia-do-business-intelligence-(bi)-para-as-logisticas-que-desejam-inovar). Acesso em: 01 out. 2021.

LEUSCHNER, R., CARTER, C.R., GOLDSBY, T.J., ROGERS, Z.S., 2014. **Third-party logistics: a meta-analytic review and investigation of its impact on performance**. J. Supply Chain Manag. 50, 21–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jscm.12046>. Acesso em: 26 jan. 2022.

MAGRINI, E. **A Internet das Coisas**. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MARCONI, M. A.; LAKATOS; E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021. p. 354.

MARIANO, E. B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2008. doi:10.11606/D.18.2008.tde-24062008-163828. Acesso em: 29 jun. 2022.

MARINHO, A. **A avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde dos municípios do estado do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Economia, v. 57, n. 3, 2003.

MATTAR, J.; RAMOS, D. K. **Metodologia da pesquisa em educação: abordagens qualitativas, quantitativas e mistas**. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2021. 470p.

MECALUX. **Drones: definição, aplicações e potencial**. 2021. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/drones-logistica>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MIN, H.; JOO, S. J. **Benchmarking third-party logistics providers using data envelopment analysis**. Benchmarking: An International Journal, 16(5), p. 572-587; 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235307737_Benchmarking_the_operational_efficiency_of_third_party_logistics_providers_using_data_envelopment_analysis. Acesso em: 07 jun. 2022.

NOVAES, A. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 403p.

RODRIGUES, A. C.; MARTINS, R. S.; WANKE, P. F.; et al. **Efficiency of specialized 3PL providers in an emerging economy**. *International Journal of Production Economics*, v. 205, p. 163–178, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.012>. Acesso em: 14 nov. 2021.

ROSA, A.; SANTOS, D. MORAES, J. SANTOS, S. **Indústria 4.0 e Logística 4.0: inovação, integração, soluções e benefícios reais decorrentes do mundo virtual**. 2019.

ROSANO-PEÑA, C. **Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA)**. *RAC - Revista de Administração Contemporânea*, v. 12, n. 1, 2008.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. New York: World Economic Forum, 2016.

SENRA, L. F.; NANCI, L. C.; MELLO, J. C.; M, L. A. **Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA**. *Pesquisa Operacional*, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 191-207, ago. 2007. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-74382007000200001>. Acesso em: 19 mar. 2022.

SILVA, F. G. F.; RODRIGUES, J. A. S.; FALCÃO, V. A. **Análise dos ganhos de eficiência dos aeroportos concedidos no primeiro grupo de leilões brasileiros**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33º, 10 a 14 nov. 2019, Balneário Camboriú (SC). *Anais [...] Balneário Camboriú (SC)*, 2019. p. 313- 324.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. **Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes**. *Journal Of Econometrics*, [S.L.], v. 136, n. 1, p. 31-64, jan. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009>. Acesso em: 19 fev. 2022.

SYBERFELT, A.; DANIELSSON, O.; GUSTAVSON, P. **Augmented reality smart glasses in the smart factory: Product evaluation guidelines and review of available products**. *IEEE Access*, v. 5, p. 9118-9130, 2017.

WANG, K. **Logistics 4.0 solution: new challenges and opportunities**. In *Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*. Holanda: Atlantis Press. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2991/iwama-16.2016.13>. Acesso em: 15 dez. 2021.

WANG, L.; WANG, G. **Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0**. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, v. 6, n. 4, p. 1-8, 2016.

WANKE, P. F.; AFFONSO, C. R. **Determinantes da eficiência de escala no setor brasileiro de operadores logísticos**. *Production*, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 53-63, 24 set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132010005000045>. Acesso em: 9 nov. 2021.

WINKELHAUS, S., GROSSE, EH. **Logística 4.0: Uma revisão sistemática rumo a um novo sistema logístico.** *International Journal of Production Research*, 58 (1), 18–43. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>. Acesso em: 28 out. 2021.

ZAMCOPE, F. C.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; et al. **Modelo para avaliar o desempenho de operadores logísticos: um estudo de caso na indústria têxtil.** *Gestão & Produção*, v. 17, n. 4, p. 693–705, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000400005>. Acesso em: 26 out. 2021.