

**CENTRO PAULA SOUZA
ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL DE MAUÁ
LOGÍSTICA**

**ALICE MIRANDA DOS SANTOS
IZABELA GOUVEIA DA SILVA
STHEFANY DA SILVA SANTOS**

**GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0 COM O
AUXÍLIO DO BLOCKCHAIN**

**Mauá – SP
2025**

**ALICE MIRANDA DOS SANTOS
IZABELA GOUVEIA DA SILVA
STHEFANY DA SILVA SANTOS**

**GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0 COM O
AUXÍLIO DO BLOCKCHAIN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Escola Técnica Estadual de
Mauá como requisito para a obtenção do
título de técnico em Logística.

Orientadora do projeto: Prof.^a Lucíola de
Almeida Pereira.

**Mauá – SP
2025**

**ALICE MIRANDA DOS SANTOS
IZABELA GOUVEIA DA SILVA
STHEFANY DA SILVA SANTOS**

**GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0 COM O
AUXÍLIO DO BLOCKCHAIN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Escola Técnica Estadual de
Mauá como requisito para a obtenção do
título de técnico em Logística.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em: /06/2025.

Banca examinadora:

Prof^a. Lucíola de Almeida Pereira, ETEC de Mauá – Orientadora

Prof. _____, ETEC de Mauá – Avaliador

Prof. _____, ETEC de Mauá – Avaliador

Dedico este trabalho a nós mesmos, pelo esforço contínuo, dedicação e pela vontade de ir além.

A Deus, por ser minha luz nos momentos de incerteza.

À minha família, meu alicerce e motivação.

E as minhas colegas de grupo que, com palavras de apoio e gestos de carinho, ajudaram a tornar este sonho possível.

“Grandes realizações não são feitas por impulso, mas por uma soma de pequenas realizações.” — Vincent van Gogh

Aos Professores da ETEC de Mauá, meu mais profundo reconhecimento. Cada aula ministrada, cada palavra de incentivo e cada desafio proposto foram fundamentais para moldar quem sou hoje. Carrego comigo não apenas o conhecimento técnico e prático que recebi, mas também os valores, a responsabilidade e a vontade de sempre buscar o melhor. Vocês foram muito mais do que transmissores de conhecimento, foram verdadeiros exemplos de dedicação, ética e paixão pelo que fazem. Muito obrigado por fazerem parte da minha história. Levarei para sempre o orgulho de ter sido aluno desta instituição e de ter aprendido com profissionais tão excepcionais.

RESUMO

O presente trabalho tem como tema “Gestão da cadeia de suprimentos na indústria 4.0 com o auxílio do *blockchain*”. Na qual seu objetivo é identificar como a ferramenta *blockchain* pode contribuir de maneira eficaz na gestão da cadeia de suprimentos, contra os ataques cibernéticos e da invasão de dados após a implementação da indústria 4.0 nas empresas logísticas.

Sendo assim, a integração do *blockchain* na gestão da cadeia de suprimentos, no contexto da Indústria 4.0, apresenta benefícios significativos, como maior segurança, rastreabilidade, transparência e eficiência em processos logísticos e produtivos. A aplicação dessa tecnologia tem se mostrado essencial para mitigar vulnerabilidades decorrentes do aumento de ataques cibernéticos, que se intensificaram com a digitalização das operações. Por meio de sua estrutura descentralizada, imutável e protegida por criptografia avançada, o *blockchain* anula grande parte desses ataques, como fraudes, adulterações de dados e acessos não autorizados, reforçando a integridade das informações compartilhadas entre os elos da cadeia.

Além disso, o *blockchain* se destaca por proporcionar confiança entre os parceiros e garantir a proteção de dados sensíveis, alinhando-se a legislações como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Dessa forma, conclui-se que, embora o *blockchain* seja uma solução promissora para enfrentar os desafios da segurança digital, sua aplicação requer planejamento estratégico e integração com as demais tecnologias da Indústria 4.0 para maximizar seus resultados e superar as barreiras existentes.

Palavras-chave: Blockchain. Cadeia. Indústria.

ABSTRACT

The present work has the theme "Supply chain management in Industry 4.0 with the help of blockchain." Its objective is to identify how the blockchain tool can effectively contribute to supply chain management against cyberattacks and data breaches following the implementation of Industry 4.0 in logistics companies. Thus, the integration of blockchain in supply chain management, within the context of Industry 4.0, presents significant benefits such as increased security, traceability, transparency, and efficiency in logistical and productive processes. The application of this technology has proven essential to mitigate vulnerabilities arising from the increase in cyberattacks, which have intensified with the digitalization of operations. Through its decentralized, immutable structure protected by advanced encryption, blockchain negates much of these attacks, such as fraud, data tampering, and unauthorized access, reinforcing the integrity of the information shared among the links in the chain. Moreover, blockchain stands out by providing trust among partners and ensuring the protection of sensitive data, aligning with legislation such as the General Data Protection Law (LGPD). Thus, it is concluded that, although blockchain is a promising solution to face the challenges of digital security, its application requires strategic planning and integration with other technologies of Industry 4.0 to maximize its results and overcome existing barriers.

Key words: Blockchain. Supply chain management. Industry.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR – Aviso de Recebimento

BTC – Bacharelado Interdisciplinar

DSCSA – Drug Supply Chain Security Act

ERP – Enterprise Resource Planning

EUA – Estados Unidos Da América

FDA – Food and Drug Administration

IA – Inteligência Artificial

IBM – International Business Machines Corporation

IOT – Internet Das Coisas

KPMG – Klynveld Peat Marwick Goerdeler

LATAM – Latin América

LGPD – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais

RA – Realidade Aumentada

RV – Realidade Virtual

VPL – Valor Presente Líquido

VR - Virtual Reality

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação do tema.....	14
1.2 Problemática	15
1.3 Hipótese	16
1.4 Objetivos gerais.....	17
1.5 Objetivos específicos.....	17
1.7 Metodologia	19
2. DESENVOLVIMENTO	20
2.1 Gestão da cadeia de suprimentos.....	20
2.3 As principais tecnologias da indústria 4.0.....	22
2.3.1 IoT (Internet of Things - Internet das Coisas)	22
2.3.2 IA (Inteligência Artificial).....	23
2.3.3 Big Data	25
2.3.4 Realidade Virtual e Realidade Aumentada	27
2.3.5 Robótica Avançada.....	30
2.3.6 Computação em Nuvem	31
2.3.7 Cibersegurança.....	33
3.0 Cadeia de suprimentos 4.0 ou Supply Chain 4.0 (SCM – Supply Chain Management)	34
3.1 Cadeia de suprimentos tradicional x digital.....	36
4.0 Blockchain	37
4.1 O blockchain na cadeia de suprimentos 4.0	39
4.2 O diferencial do Blockchain comparado a outras tecnologias na cadeia de suprimentos 4.0	41
5.0 Lei Geral de Proteção de Dados	43
5.1 Lei Geral de Proteção de Dados na cadeia de suprimentos	45
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
7. REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

A 4ª Revolução Industrial, a qual estamos vivenciando no presente, é caracterizada pelo aumento da automação e da implementação de novas tecnologias em diferentes setores, ampliando a agilidade e produtividade dentro das empresas, essa revolução é conhecida com Indústria 4.0, que é sinônimo de fabricação inteligente, onde proporciona a maior eficiência da tomada de decisões, revolucionando a forma como as empresas fabricam e produzem seus determinados produtos.

Em adição, com a chegada da indústria 4.0 e dos avanços tecnológicos, a gestão da cadeia de suprimentos adotou diferentes mudanças nas suas operações de etapas de fabricação e entrega de produtos, onde, antes da revolução, seus processos de automação eram limitados, logo, muitos processos da cadeia de suprimentos, como planejamento, controle de estoque e logística, eram realizados manualmente. Isso gerava maior propensão a erros humanos e ineficiências.

Com a implementação do *Supply Chain* 4.0 (Cadeia de suprimentos 4.0), a automação se tornou ampla e integrativa, tornando todas as etapas da cadeia mais ágeis, diminuindo a intervenção humana e aumentando a eficiência operacional. Ademais, depois da Indústria 4.0 a visibilidade se tornou muito maior, podendo monitorar em tempo real produtos e ferramentas, oferecendo rastreabilidade completa desde a matéria-prima até o produto final, e tudo isso com o auxílio do blockchain.

Entretanto, após esses avanços as cadeias de suprimentos tornaram-se mais complexas, globalizadas e digitalizadas, aumentando os pontos de vulnerabilidade. Embora os números possuem uma variação dependendo da fonte, relatórios de segurança digital apontam aumentos expressivos no número de ataques cibernéticos nas cadeias de suprimentos após a implementação da Indústria 4.0

O *Blockchain* é uma ferramenta de banco de dados em cadeia que surgiu em 2008, seu objetivo é armazenar e compartilhar informações de forma segura, transparente

e descentralizada sem a necessidade de intermediários, como bancos, podendo melhorar a rastreabilidade de produtos, diminuir ataques cibernéticos e vazamentos de dados.

O *blockchain* começou a ser implementado na cadeia de suprimentos por volta de 2016, quando empresas e organizações perceberam o potencial dessa tecnologia para aumentar a transparência, a segurança e a eficiência em processos logísticos complexos. Um dos primeiros casos de uso notáveis foi a parceria entre a IBM e a *Maersk*, a maior empresa de transporte de contêineres do mundo.

Sendo assim, com a implementação dessa ferramenta na cadeia de suprimentos, ocorreu uma melhora significativa na segurança cibernética, não há um percentual único, porém, relatórios sugerem que a implementação de blockchain pode reduzir as violações de dados na cadeia de suprimentos em até 30% a 50% em alguns setores, como o farmacêutico e o automotivo, onde a rastreabilidade e integridade de dados são essenciais. Desse modo, o Blockchain entrou na cadeia de suprimentos com grandes benefícios, principalmente na área de proteção de dados.

1.2 Problemática

A cadeia de suprimentos ou *Supply Chain* é considerado um conjunto de operações relacionadas a produção, armazenagem e transporte e com a ajuda da “indústria 4.0” as questões práticas e burocráticas estão melhorando e progredindo em relação a agilidade, maximização de produção e eficiência, porém, com a influência da tecnologia implantada nos métodos operacionais e administrativos, vem gerando problemas com ataques cibernéticos.

Os ataques cibernéticos se tratam de invasões não autorizadas que exploram vulnerabilidade em engenharia social e softwares, através de meios maliciosos, como Malware que possibilita o acesso para prejudicar os sistemas, Jailbreak que explora falhas em dispositivos bloqueados para invadir com novos softwares, o Tunelamento de DNS que permite o contorno da segurança desviando o tráfego de servidores legítimos para servidores falsos e outros, que permite o acesso ao sistema de dados,

visando roubar e conter informações importantes, como identidade, extorsão, roubo de carga, bens e divulgação social.

Com base na pesquisa “*The State of Cybersecurity in LATAM 2024*”, cerca de 55% das empresas sofrem ou sofreram as consequências. Embora a tecnologia contribua para o avanço, as empresas permanecem vulneráveis e sendo o foco dos *hackers*.

Como uma empresa de diversos setores, incluindo saúde e educação, que foi atingida pelo *ransomware WannaCry* (vírus que possibilita uma vulnerabilidade no sistema Windows) tendo seus dados sequestrados e acessos bloqueados até o pagamento de um resgate em criptomoedas.

Portanto, como o *blockchain* pode contribuir para a prevenção de ataques cibernéticos e invasão de dados após a implementação da Indústria 4.0 na cadeia de suprimentos?

1.3 Hipótese

A Gartner prevê que até 2025, 45% das organizações em todo o mundo terão sofrido ataques em sua cadeia de suprimentos, um aumento de três vezes em relação a 2021. Contudo, se pode notar a fragilidade encontrada dentro da cadeia de suprimentos, onde seus ataques são considerados difíceis de detectar e prevenir, porém, com a implementação do *blockchain* nas empresas, diversos ataques diminuiriam, segundo o documento Projeto Piloto de Interoperabilidade de Blockchain da FDA (Administração de Alimentos e Medicamentos dos EUA) DSCSA (Drug Supply Chain Security Act - é uma lei dos Estados Unidos que visa aumentar a segurança e a transparência na cadeia de suprimentos de medicamentos): “Em alguns países, produtos farmacêuticos falsificados representam 70% de todos os medicamentos da cadeia de suprimentos. Um programa piloto recente da KPMG, da Merck, da Walmart e da IBM que usa o *blockchain*, gera uma nova confiança no sistema, reduzindo o tempo necessário para rastrear medicamentos prescritos de 16 semanas para somente dois segundos.”

Dessa forma, é certo que o blockchain é uma importante tecnologia para combater diversos ataques na cadeia de suprimentos, podendo rastrear de diferentes formas os produtos e evitar qualquer tipo de extravio ou vazamento de dados.

Vale ressaltar que a segurança para blockchain é projetada especificamente para proteger uma rede de blockchain contra infiltrações e ataques de criminosos cibernéticos e agentes de ameaças. Da mesma forma, as blockchains usam seus protocolos de segurança inerentes para oferecer transparência e imutabilidade. Sua tecnologia é útil em todas as etapas da indústria 4.0. Tendo a rastreabilidade como um forte pilar, o blockchain se aplica muito bem nessa nova etapa da indústria mais moderna, uma vez que, o blockchain poderá permitir que todos os dados da indústria sejam coletados e rastreados, sendo de grande importância na cadeia de suprimentos, que é um grande alvo para diferentes ataques de segurança.

A natureza descentralizada da blockchain elimina a necessidade de intermediários ou autoridades centrais para validar e manter os dados, reduzindo a vulnerabilidade a ataques de hackers e falhas de segurança. Portanto, não há um único ponto de falha na rede, que permite rastrear caminhos, monitorar a segurança dos produtos e dos funcionários e controlar a integridade das mercadorias.

Sendo assim, o blockchain desempenha um papel crucial na otimização da cadeia de suprimentos, proporcionando maior transparência, rastreabilidade e eficiência em todas as etapas do processo.

1.4 Objetivos gerais

Esta pesquisa tem como objetivo levar conhecimento e analisar o impacto da aplicação do blockchain como solução de ataques cibernéticos dentro da cadeia de suprimentos no contexto da indústria 4.0.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar como o blockchain pode ser um diferencial na cadeia de suprimentos;

- Analisar formas de prevenção e combate aos ataques cibernéticos;
- Reduzir a propensão a propensão à invasão de dados dentro da Supply Chain Management;
- Analisar o avanço tecnológico após a introdução da indústria 4.0 na indústria na indústria, com base nesse estudo.

1.6 Justificativa

A justificativa evidencia a relevância de entender o elo fraco que a cadeia de suprimentos é dentro de uma empresa, onde, com a falta da segurança de dados, pode ser vítima de diversos ataques em sua estrutura. De acordo com informações da Forrester, 55% dos profissionais de segurança relataram que sua organização sofreu um incidente de violação envolvendo a cadeia de suprimentos, principalmente após a implementação da indústria 4.0, onde a superfície de ataques é ampliada.

Um dos auxiliares para a solução de tais ataques é o *blockchain*, que é considerado um dos melhores mecanismos de defesa na cadeia de suprimentos, devido sua capacidade de ação em diversos setores dentro dela. Com isso, a tecnologia pode simplificar e coordenar as diversas etapas da cadeia de suprimentos, oferecendo benefícios como maior segurança, visibilidade, acessibilidade e transparência. Permite também, o registro centralizado das transações e monitoramento preciso de cada etapa do processo. Outrossim, é correto afirmar a notável diferença quando se trata do auxílio do *blockchain* contra o vazamento de **dados** e a prevenção contra os ataques cibernéticos dentro da cadeia de suprimentos.

A cadeia de suprimentos é uma estrutura organizacional onde envolve toda a operação de uma empresa, desde o armazenamento da matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor final. Portanto, é favorável compreender a importância de tal tema, pois a fragilidade que envolve a cadeia de suprimentos devido aos diversos ataques nela atingidos, torna mais significativo o auxílio do blockchain. Sendo assim,

é importante ressaltar a significância de tais - na cadeia de suprimentos, para poder evitá-los de maneira mais precisa.

1.7 Metodologia

A pesquisa utilizou uma metodologia exploratória com abordagem qualitativa, fundamentada em um levantamento bibliográfico. Foram analisadas fontes acadêmicas, institucionais e comerciais para compreender e descrever o impacto do blockchain na gestão da cadeia de suprimentos no contexto da Indústria 4.0. O objetivo foi descritivo, buscando detalhar os benefícios, desafios e aplicações dessa tecnologia, com foco na segurança de dados e eficiência operacional, onde permitiu uma visão ampla e fundamentada sobre as transformações e vulnerabilidades da cadeia de suprimentos frente às novas tecnologias digitais.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Gestão da cadeia de suprimentos

Conhecida também como *Supply Chain*, a gestão da cadeia de suprimentos é a coordenação e o conjunto de atividades dentro de uma empresa necessários para mover toda a operação desde a obtenção de matérias-primas até a entrega ao consumidor final de um determinado produto. Esse processo inclui *sourcing*, design, produção, armazenamento, expedição e distribuição, com o objetivo de melhorar a eficiência e satisfação do cliente ao longo de toda o processo, além disso, é uma operação que busca promover a ligação entre os diferentes participantes da cadeia, como fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas, buscando a redução de custos, o aumento da qualidade dos produtos ou serviços, a minimização dos tempos de entrega e a melhoria geral dos processos.

Esse conceito, historicamente, surgiu em meados da década de 1980, antes disso, as empresas frequentemente operavam de forma isolada, focando na produção e distribuição de seus produtos sem uma visão holística de suas operações. A necessidade de se conectar mais eficazmente com fornecedores e distribuidores levou à criação de sistemas que pudessem integrar as diversas etapas do processo produtivo.

A evolução da cadeia de suprimentos foi impulsionada por várias tendências, como a globalização, que ampliou os mercados e as fontes de fornecimento, e a adoção de tecnologias avançadas, como sistemas de gestão empresarial (ERP), que ajudaram a centralizar e otimizar as operações. No início dos anos 2000, a crescente complexidade dos mercados e as exigências dos consumidores por produtos personalizados e entregas rápidas levaram as empresas a reavaliar suas cadeias de suprimentos. A introdução de tecnologias como a Internet, a automação e a análise de dados transformaram o gerenciamento da cadeia de suprimentos, permitindo que as empresas gerenciassem suas operações de maneira mais ágil e eficiente.

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, é um conceito que representa a transformação das fábricas e do setor manufatureiro por meio da digitalização e da integração de tecnologias avançadas. Essa revolução surgiu em meados de 2010, originada de um projeto na estratégia de alta tecnologia do governo alemão, que tinha como objetivo promover a digitalização da manufatura e estabelecer a Alemanha como um líder global em soluções avançadas de produção.

O termo "Indústria 4.0" foi popularizado em 2016 por *Klaus Schwab*, fundador do *World Economic Forum*, em seu livro "A Quarta Revolução Industrial". *Schwab* descreveu a Indústria 4.0 como um fenômeno em que sistemas físicos e virtuais de manufatura colaboram de maneira flexível e em escala global. Ele destacou que essa nova era é caracterizada por inovações que conectam máquinas, produtos e sistemas através da **Internet das Coisas (IoT)**, inteligência artificial (IA), big data e automação, criando fábricas mais inteligentes e integradas.

A Indústria 4.0 marca uma mudança significativa em relação às revoluções industriais anteriores. Enquanto a Primeira Revolução Industrial (século XVIII) foi impulsionada pela mecanização e pela utilização de água e vapor, a Segunda Revolução Industrial (século XIX) focou na eletrificação e na produção em massa, e a Terceira Revolução Industrial (final do século XX) trouxe a automação e a informática para o setor produtivo, a Indústria 4.0 se baseia na interconexão digital e na colaboração em tempo real entre máquinas, sistemas e humanos.

A transformação proporcionada pela Indústria 4.0 resulta em várias melhorias para as fábricas e empresas. A automação inteligente permite uma produção mais eficiente e flexível, enquanto a análise de dados em tempo real oferece insights valiosos que podem otimizar processos e reduzir desperdícios. Além disso, a conectividade entre dispositivos facilita a manutenção preditiva, melhorando a eficiência operacional e prolongando a vida útil dos equipamentos.

Entretanto, à medida que mais dispositivos e sistemas se conectam à rede, o volume de dados gerados e compartilhados aumenta exponencialmente, tornando-os

um alvo atraente para cibercriminosos. Vazamentos de dados podem comprometer informações sensíveis sobre operações, clientes e propriedade intelectual, resultando em danos significativos à reputação e à competitividade das empresas.

Além disso, os ataques cibernéticos podem causar interrupções nas operações, comprometer a segurança dos sistemas de produção e até levar à sabotagem. A complexidade e a interdependência das tecnologias na Indústria 4.0 aumentam o risco de falhas de segurança, exigindo que as empresas implementem robustas estratégias de proteção e mitigação. Isso inclui a adoção de medidas de segurança cibernética, como criptografia de dados, autenticação forte e monitoramento contínuo das redes.

2.3 As principais tecnologias da indústria 4.0

2.3.1 IoT (Internet of Things - Internet das Coisas)

Com a entrada das novas tecnologias, a partir da Indústria 4.0, diversos processos se tornaram mais ágeis e eficientes, e essas mudanças já foram implementadas na cadeia de suprimentos, como a IOT (Internet of Things - Internet das Coisas).

A IOT é uma tecnologia que conecta dispositivos físicos à internet, permitindo que eles coletem, transmitam e compartilhem dados em tempo real. Essa interconexão cria um ecossistema inteligente de máquinas, sensores e equipamentos que comunicam informações automaticamente, sem a intervenção humana, gerando maior eficiência e controle sobre as operações logísticas e produtivas.

Na cadeia de suprimentos, a IoT desempenha um papel central na otimização do fluxo de materiais, no rastreamento de produtos e na automação de processos. Sensores IoT instalados em veículos de transporte, por exemplo, podem monitorar a localização exata das mercadorias durante o transporte, fornecendo dados em tempo real sobre o status da entrega. Ao mesmo tempo, em armazéns e centros de distribuição, dispositivos conectados podem verificar níveis de estoque automaticamente, enviando alertas quando é necessário reabastecer, ou monitorar as

condições ambientais (como temperatura e umidade) para garantir que produtos sensíveis, como alimentos ou medicamentos, sejam armazenados nas condições corretas.

Na Indústria 4.0, a IoT é parte de um sistema mais amplo que conecta as máquinas, a inteligência artificial (IA), o big data e outras tecnologias para criar uma fábrica inteligente. No ambiente de produção, equipamentos conectados por IoT podem monitorar sua própria performance, detectar falhas ou desgastes de peças e solicitar manutenção preventiva automaticamente, evitando paradas inesperadas. Além disso, a integração entre a IoT e os sistemas de gerenciamento da cadeia de suprimentos permite que as fábricas ajustem sua produção em tempo real com base na demanda do mercado, evitando a produção excessiva ou a falta de produtos.

O criador da IOT e pesquisador britânico, Kevin Ashton, descreveu que “se tivéssemos computadores que soubessem de tudo o que há para saber sobre coisas, usando dados que foram colhidos, sem qualquer interação humana, seríamos capazes de monitorar e mensurar tudo, reduzindo o desperdício, as perdas e o custo.” Portanto, ela auxilia uma empresa e otimiza as suas ações, além de reduzir os custos e automatizar os processos, como afirmou Kevin.

2.3.2 IA (Inteligência Artificial)

A Inteligência Artificial (IA), quando aplicada à cadeia de suprimentos e à Indústria 4.0, tem um papel fundamental na automação e otimização de processos complexos. A IA utiliza algoritmos avançados para simular o raciocínio humano, permitindo a tomada de decisões precisas e baseadas em dados. Dentro da Indústria 4.0, a IA é uma das tecnologias mais importantes para impulsionar a transformação digital, oferecendo ganhos de eficiência, flexibilidade e inovação.

Na cadeia de suprimentos, a IA traz benefícios significativos em várias áreas. Um dos principais usos é a previsão da demanda, onde a IA analisa grandes volumes de dados históricos e atuais (incluindo tendências de mercado, comportamento dos clientes e até dados climáticos) para prever o que será necessário em termos de

produção e logística. Isso ajuda as empresas a ajustar suas operações com antecedência, evitando problemas como falta de estoque ou excesso de produtos, que resultam em custos adicionais.

Além disso, a IA também é aplicada na otimização logística, onde algoritmos inteligentes identificam as melhores rotas de entrega, levando em conta fatores como o trânsito, as condições climáticas e o tempo de deslocamento. Isso melhora a eficiência das operações de transporte, reduzindo custos e garantindo que os produtos cheguem aos clientes com mais rapidez. Na gestão de estoques, a IA automatiza o controle de inventário, garantindo que a reposição de mercadorias aconteça no momento certo, evitando desperdícios ou atrasos.

Outro uso importante da IA é a manutenção preditiva. Utilizando dados em tempo real captados por sensores (por exemplo, através da Internet das Coisas - IoT), a IA pode prever quando uma máquina ou equipamento precisará de manutenção, evitando falhas inesperadas que poderiam interromper a produção e afetar toda a cadeia de suprimentos.

Dentro da Indústria 4.0, a IA possibilita a criação de fábricas inteligentes, onde processos são automatizados e otimizados de forma contínua. Isso inclui a automação de tarefas repetitivas ou perigosas, realizadas por robôs controlados por IA, além de decisões autônomas sobre o momento ideal de realizar manutenção ou ajustar a produção para atender à demanda.

A customização em massa é outra vantagem trazida pela IA na indústria moderna. Com ela, as fábricas podem produzir em grande escala, mas ainda assim adaptar produtos às preferências individuais dos consumidores, algo que seria difícil de alcançar com métodos tradicionais.

Exemplos práticos do uso da IA podem ser observados em grandes empresas como a Amazon, que utiliza a tecnologia para prever a demanda de produtos com extrema precisão, garantindo que os itens certos estejam em estoque no lugar e no momento adequados. Já nas fábricas, a IA otimiza as linhas de produção, ajustando

automaticamente a quantidade de materiais utilizados, o que reduz desperdícios e melhora a eficiência geral.

A IA é, portanto, uma das forças motrizes da Indústria 4.0, onde sua integração com outras tecnologias, como IoT e big data, possibilita uma digitalização completa e interconectada dos processos produtivos e logísticos. Essa inteligência torna as operações mais ágeis, flexíveis e resilientes, permitindo que as empresas se adaptem rapidamente a mudanças no mercado ou a imprevistos.

2.3.3 Big Data

O Big Data é uma tecnologia essencial tanto para a cadeia de suprimentos quanto para a Indústria 4.0, pois transforma a maneira como as empresas coletam, armazenam e analisam grandes volumes de informações. Ele se refere à enorme quantidade de dados gerados constantemente por diversas fontes, como sensores de máquinas, transações online, redes sociais e dispositivos conectados. No contexto da digitalização industrial, o Big Data se tornou uma ferramenta poderosa para melhorar a eficiência, reduzir custos e criar estratégias mais ágeis e bem fundamentadas dentro das operações logísticas e produtivas.

Na cadeia de suprimentos, o uso do Big Data permite que as empresas tenham visibilidade em tempo real de todas as etapas do processo, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega do produto final. Uma das aplicações mais importantes do Big Data é a previsão da demanda. Ao analisar dados históricos e em tempo real, como tendências de mercado e comportamento dos consumidores, as empresas podem prever com precisão as variações na demanda por produtos. Isso permite que ajustem suas operações antecipadamente, evitando tanto a falta de estoque quanto o excesso de produtos, o que impacta diretamente a rentabilidade. Outro uso relevante é na gestão de estoques. Ao integrar informações de vendas, transporte e produção, o Big Data permite que as empresas monitorem os níveis de estoque em tempo real e realizem reabastecimentos automáticos quando necessário, otimizando a utilização de espaços nos armazéns e reduzindo o desperdício de recursos.

O Big Data também facilita o rastreamento e monitoramento de mercadorias durante o transporte. Sensores conectados geram dados em tempo real sobre a localização e condição dos produtos, o que permite prever atrasos e otimizar rotas de entrega. Com isso, as empresas podem responder rapidamente a problemas imprevistos, como congestionamentos ou condições climáticas adversas, garantindo que os produtos cheguem aos clientes dentro do prazo estabelecido.

Na Indústria 4.0, o Big Data é o motor que impulsiona a transformação das fábricas em ambientes inteligentes, onde processos são otimizados e automatizados de maneira contínua. As fábricas utilizam os dados gerados por máquinas e sensores para melhorar o desempenho da produção, identificando gargalos e ajustando o ritmo de trabalho em tempo real. Isso permite que a produção seja mais ágil e flexível, adaptando-se rapidamente às mudanças na demanda do mercado. Além disso, uma das grandes inovações trazidas pelo Big Data é a manutenção preditiva. Sensores instalados em máquinas industriais capturam dados operacionais que, quando analisados, permitem prever falhas antes que elas ocorram. Isso reduz os custos com reparos emergenciais e evita paradas inesperadas na produção, aumentando a eficiência e a longevidade dos equipamentos.

Outra aplicação do Big Data na Indústria 4.0 é a customização em massa. Com acesso a grandes volumes de informações sobre preferências e comportamentos dos consumidores, as empresas podem ajustar suas linhas de produção para oferecer produtos personalizados em grande escala, sem comprometer os custos operacionais. Isso torna a produção industrial mais versátil e alinhada às demandas específicas dos clientes.

Empresas de grande porte já utilizam o Big Data de forma eficaz. O *Walmart*, por exemplo, monitora o comportamento dos consumidores em suas lojas para ajustar o estoque de acordo com as preferências locais, garantindo que a oferta de produtos seja adequada a cada região. Na indústria automotiva, montadoras utilizam o Big Data para otimizar suas linhas de produção, monitorando o desempenho das máquinas e ajustando o uso de materiais de acordo com as necessidades, além de personalizar

veículos conforme as preferências dos clientes, oferecendo uma ampla gama de variações de design e funcionalidades.

O Big Data é, portanto, um dos principais componentes da Indústria 4.0, pois permite a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real. Combinado com outras tecnologias, como a Inteligência Artificial (IA) e a Internet das Coisas (IoT), ele possibilita que as fábricas e cadeias de suprimentos sejam mais eficientes, automatizadas e adaptáveis. A análise dos dados permite decisões mais rápidas e precisas, impactando diretamente a eficiência operacional, a previsão de demandas, a otimização de recursos e a flexibilidade da produção.

Ao permitir a previsão mais precisa de necessidades e desafios, a visibilidade em tempo real dos processos e a otimização dos recursos, o Big Data transforma as cadeias de suprimentos e as fábricas em ambientes inteligentes e interconectados. Ele permite que as empresas personalizem produtos, reduzam custos operacionais, minimizem desperdícios e respondam rapidamente às mudanças do mercado, garantindo maior competitividade e inovação. Assim, o Big Data se consolidou como uma das ferramentas essenciais para as empresas que buscam se destacar na era digital e participar de maneira eficiente da Indústria 4.0.

2.3.4 Realidade Virtual e Realidade Aumentada

A indústria 4.0 tem intuito de sinergizar as tecnologias atuais, nesse contexto, a combinação da Realidade Virtual com a Aumentada aprimora significativamente os métodos e a eficiência na indústria.

A realidade virtual é um ambiente tridimensional (3D) artificial criado por computador que permite a imersão completa do usuário dentro desse mundo, integrando o mundo virtual ao físico.

O conceito de realidade virtual (não com o sentido de conjunto da tecnologia com a realidade) surgiu em 1938, quando foi citada no livro *“Le Théâtre et son double”*, sugerindo um teatro onde “a ilusão de personagens (...) criava uma realidade virtual”,

pelo autor francês Antonin Artaud, mostrando que esse conceito e vontade do ser humano de poder se “teletransportar” para outro “mundo” ou lugar já existe a algum tempo.

Já o termo realidade virtual no sentido de junção entre tecnologia e realidade, surgiu em 1980, com o fundador da *VPL Research Inc.* (a primeira empresa a vender óculos e luvas de realidade virtual (VR)), Jaron Lanier, onde utilizou tal termo para distinguir as simulações tradicionais geradas por computadores daquelas que envolviam vários usuários interagindo em um ambiente compartilhado, como acontece em jogos de realidade virtual.

Essa tecnologia trás diversos benefícios para a indústria, principalmente para a gestão da cadeia de suprimentos, promovendo maior eficiência e aprimorando a tomada de decisões. Uma das suas principais vantagens é o treinamento e capacitação de equipes, permitindo que colaboradores de logística, operações e armazenamento sejam treinados em ambientes simulados sem interromper as operações reais, o que facilita a preparação para situações complexas ou de risco. Além disso, a RV possibilita o planejamento e a simulação de diferentes cenários de distribuição e transporte, permitindo que gestores testem rotas, organizem armazéns e prevejam gargalos sem movimentar fisicamente os produtos, o que reduz custos e melhora a eficiência.

Outro ponto importante é a visibilidade e o monitoramento, onde a realidade virtual proporciona uma visão clara de toda a cadeia de suprimentos, desde fornecedores até clientes finais. Isso permite um controle detalhado do fluxo de materiais, facilitando a identificação de problemas e a otimização de processos. Além disso, a RV possibilita a colaboração remota, permitindo que equipes distribuídas globalmente trabalhem juntas em um ambiente virtual compartilhado, como se estivessem no mesmo local, o que melhora a coordenação e comunicação. Dessa forma, a realidade virtual contribui para uma gestão mais ágil e eficiente da cadeia de suprimentos, com redução de custos e melhorias no planejamento e controle das operações.

Já a realidade aumentada, ou AR (*Augmented Reality*), é uma tecnologia que combina o mundo real com elementos virtuais, gerados digitalmente, em tempo real. Diferente da realidade virtual, que cria um ambiente totalmente imersivo, a realidade aumentada sobrepõe informações, gráficos ou outros conteúdos digitais ao ambiente físico ao redor do usuário. Isso é feito por meio de dispositivos como *smartphones*, tablets, óculos inteligentes ou outros equipamentos que utilizam câmeras e sensores para *mapear* o espaço real e projetar as camadas digitais sobre ele. Um exemplo comum de RA é o jogo *Pokémon Go*, onde personagens virtuais aparecem em ambientes reais, visualizados através da tela do celular.

A ideia da realidade aumentada tem raízes nas décadas de 1950 e 1960, com as primeiras tentativas de criar interações entre o mundo real e o virtual. No entanto, o conceito moderno de RA começou a ganhar forma nos anos 1990. Um dos pioneiros da RA foi *Tom Caudell*, um pesquisador da *Boeing*, que cunhou o termo em 1990. Ele desenvolveu uma solução para ajudar os trabalhadores da fábrica a montar sistemas complexos de fiação, projetando sobreposições digitais diretamente nas superfícies reais, o que facilitava o processo de montagem.

Nos anos seguintes, a RA foi explorada em diferentes contextos, como treinamento militar, medicina, jogos e publicidade. Avanços tecnológicos, como câmeras de alta precisão, dispositivos móveis potentes e *softwares* de reconhecimento de imagem, permitiram que a RA se popularizasse e se tornasse acessível ao grande público, principalmente a partir da década de 2010.

A realidade aumentada (RA) traz uma série de benefícios para a indústria, especialmente na gestão da cadeia de suprimentos, ao proporcionar maior eficiência, precisão e visibilidade em processos complexos. Com a RA, trabalhadores podem visualizar informações em tempo real sobre equipamentos, produtos e processos diretamente no ambiente físico, o que melhora a tomada de decisões e reduz erros. Por exemplo, na logística e no armazenamento, a RA permite que os operadores visualizem instruções sobre onde colocar ou retirar itens, acelerando o processo de *picking* e otimizando o gerenciamento de estoques.

Além disso, a RA facilita o treinamento de funcionários, permitindo que eles pratiquem tarefas com a orientação de sobreposições digitais em seu campo de visão, o que reduz o tempo de treinamento e os custos associados. Outro benefício importante é o monitoramento e manutenção preditiva de equipamentos: técnicos podem usar a RA para acessar dados em tempo real sobre o funcionamento de máquinas, diagnosticando problemas e realizando manutenções antes que falhas ocorram.

Na coordenação de operações da cadeia de suprimentos, a RA também melhora a comunicação e colaboração entre equipes geograficamente distantes, permitindo que gestores e operadores visualizem e compartilhem dados em um ambiente digital sobreposto ao real. Isso garante maior controle sobre o fluxo de materiais e otimiza o planejamento logístico, resultando em redução de atrasos, custos operacionais e aumento da produtividade.

2.3.5 Robótica Avançada

Robótica avançada refere-se ao uso de robôs e sistemas automatizados altamente sofisticados, capazes de realizar tarefas complexas com precisão, flexibilidade e, muitas vezes, autonomia. Diferente dos robôs tradicionais, que são programados para executar uma série limitada de movimentos repetitivos, a robótica avançada usa inteligência artificial (IA), sensores, sistemas de controle em tempo real e aprendizado de máquina, o que permite que esses robôs adaptem seu comportamento e interajam com ambientes dinâmicos e pessoas. Exemplos incluem robôs colaborativos (cobots), veículos autônomos e drones.

A robótica avançada tem suas raízes no desenvolvimento dos primeiros robôs industriais no final dos anos 1950 e 1960. O *Unimate*, considerado o primeiro robô industrial, foi instalado em uma fábrica da General Motors em 1961 para automatizar processos de soldagem e manipulação de materiais. A partir dos anos 1980, com os avanços na tecnologia de sensores, controle computacional e inteligência artificial, a robótica evoluiu para permitir a criação de sistemas mais autônomos e flexíveis. Esse

desenvolvimento culminou em tecnologias como robôs colaborativos, que começaram a aparecer na década de 2010, ampliando o escopo da robótica na indústria.

Na Indústria 4.0, a robótica avançada está interconectada a sistemas digitais que coletam e analisam grandes volumes de dados em tempo real. Com isso, robôs podem colaborar com humanos, realizar manutenção preditiva, otimizar linhas de produção e adaptar-se rapidamente a mudanças nas demandas de produção. A flexibilidade desses sistemas é essencial para a personalização em massa e para atender à demanda por produtos mais diversificados com alta qualidade e menores prazos de entrega. Sendo assim, a robótica avançada tem um impacto significativo dentro da gestão da cadeia de suprimentos ao otimizar diversos aspectos das operações logísticas e de produção. Em armazéns, robôs autônomos podem realizar tarefas como separação e transporte de produtos, reduzindo o tempo de movimentação de materiais e melhorando a precisão no controle de estoque. Esses robôs também podem colaborar com operadores humanos em atividades mais complexas, aumentando a produtividade.

Além disso, sistemas robóticos integrados a plataformas de gestão digital facilitam o rastreamento e monitoramento em tempo real do fluxo de mercadorias, desde a fabricação até a entrega final, garantindo maior visibilidade e controle sobre os processos. Robôs em centros de distribuição podem operar 24 horas por dia, acelerando o processamento de pedidos e otimizando o armazenamento com base em padrões de demanda preditivos.

A robótica avançada também está ligada à redução de erros humanos, melhora na segurança dos trabalhadores e menor dependência de mão de obra manual, o que é crucial em momentos de alta demanda ou interrupções na cadeia de suprimentos.

2.3.6 Computação em Nuvem

Computação em nuvem refere-se à entrega de serviços de computação, como armazenamento, processamento de dados e aplicativos, por meio da internet ("nuvem"). Em vez de depender de servidores locais ou de um hardware físico, as

empresas podem acessar esses recursos remotamente, pagando apenas pelo que utilizam. Isso oferece flexibilidade, escalabilidade e eficiência, permitindo que as organizações ajustem seus recursos de acordo com a demanda sem a necessidade de grandes investimentos iniciais em infraestrutura.

Na Indústria 4.0, a computação em nuvem é uma tecnologia central, possibilitando o armazenamento e processamento massivo de dados gerados por sensores, máquinas e sistemas conectados. A nuvem permite que as empresas armazenem e acessem dados de qualquer lugar e a qualquer momento, facilitando a análise e a automação em larga escala. Esse acesso contínuo e em tempo real a dados, análises e recursos computacionais é vital para as fábricas inteligentes, onde a produção e a logística são integradas digitalmente.

A computação em nuvem também facilita a interconectividade entre sistemas ciberfísicos, inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT), permitindo que dispositivos e máquinas se comuniquem e funcionem de forma coordenada. Além disso, a nuvem oferece escalabilidade, permitindo que as empresas aumentem ou diminuam sua capacidade de processamento e armazenamento conforme necessário, sem interrupções na produção.

Essa tecnologia começou a ganhar forma no início dos anos 2000, com o desenvolvimento da infraestrutura de internet e de grandes data centers. Embora o conceito de computação distribuída tenha sido explorado desde os anos 1960, foi só com o surgimento de empresas como *Amazon Web Services (AWS)* em 2006 que o uso comercial da nuvem começou a se popularizar. AWS introduziu o conceito de "infraestrutura como serviço" (IaaS), permitindo que as empresas aluguem poder de processamento e armazenamento sem a necessidade de comprar e manter servidores físicos.

Ao longo dos anos, gigantes de tecnologia como Microsoft (com Azure) e Google (com Google Cloud) também entraram no mercado, expandindo os tipos de serviços oferecidos na nuvem, como plataformas de desenvolvimento (PaaS) e software como serviço (SaaS).

Na gestão da cadeia de suprimentos, a computação em nuvem transforma a forma como as empresas gerenciam o fluxo de materiais e informações, ao proporcionar visibilidade e conectividade em tempo real entre todos os elos da cadeia. Com plataformas de gerenciamento baseadas na nuvem, empresas podem monitorar o status dos pedidos, rastrear embarques e otimizar inventários, garantindo uma resposta rápida a mudanças na demanda ou problemas logísticos.

A computação em nuvem permite a integração de sistemas entre fornecedores, fabricantes, distribuidores e clientes, criando uma cadeia de suprimentos mais transparente e colaborativa. Isso facilita a troca de dados em tempo real, o que é crucial para melhorar o planejamento e a execução das operações logísticas, reduzindo falhas e custos.

Além disso, a nuvem oferece uma plataforma para análise preditiva, onde grandes volumes de dados coletados ao longo da cadeia de suprimentos podem ser processados rapidamente, gerando insights que permitem prever padrões de demanda, otimizar rotas de transporte e gerenciar estoques de forma mais eficiente. As empresas também podem usar a nuvem para implementar sistemas de automação e inteligência artificial, o que agiliza a tomada de decisões e aumenta a eficiência operacional.

2.3.7 Cibersegurança

A cibersegurança é a prática de proteger sistemas, redes e dados contra ataques cibernéticos, acessos não autorizados e roubo de informações, tornando-se essencial na era digital, especialmente na Indústria 4.0. Com o aumento da digitalização e da interconectividade, onde máquinas, dispositivos e processos estão conectados, a cibersegurança se torna vital para garantir a integridade e a confiabilidade das operações industriais. A preocupação com a cibersegurança surgiu com a popularização da internet nos anos 1980 e 1990, mas ganhou maior relevância a partir dos anos 2000, à medida que as ameaças se tornaram mais sofisticadas e abrangentes.

Na Indústria 4.0, a cibersegurança protege não apenas os dados e a infraestrutura digital, mas também as operações industriais, que podem ser gravemente afetadas por violações de segurança. Com a integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e computação em nuvem, a proteção contra ataques cibernéticos é crucial para garantir a continuidade operacional e a segurança dos sistemas ciberfísicos. Estrategicamente, a cibersegurança busca garantir que todos os processos funcionem de forma segura, preservando a integridade dos dados e prevenindo paradas na produção.

Na gestão da cadeia de suprimentos, a cibersegurança se torna indispensável, pois a crescente dependência de plataformas digitais aumenta a exposição a ameaças cibernéticas. A troca de dados em tempo real entre fornecedores, fabricantes e distribuidores é padrão, o que requer uma robusta proteção de transações e informações sensíveis. Um ataque a um único elo da cadeia pode gerar impactos significativos, como paralisação de produção, interrupções no transporte e danos à reputação da empresa.

Implementar tecnologias de criptografia e protocolos de segurança para monitorar o tráfego de dados é fundamental para garantir a segurança da cadeia de suprimentos. A proteção contra acessos não autorizados assegura que informações sobre inventário, logística e fornecedores sejam confiáveis e seguras. Além disso, é crucial que as empresas avaliem os padrões de cibersegurança de seus fornecedores, já que vulnerabilidades em um parceiro podem comprometer toda a cadeia.

3.0 Cadeia de suprimentos 4.0 ou Supply Chain 4.0 (SCM – Supply Chain Management)

A *Supply Chain* 4.0 é a evolução da cadeia de suprimentos a partir das novas tecnologias, seus avanços foram de extrema importância quando se trata da complexidade dos processos envolvidos dentro dela.

A Cadeia de Suprimentos 4.0 é um conceito que representa a evolução das cadeias de suprimentos tradicionais, incorporando tecnologias digitais e inovadoras que visam transformar e otimizar as operações logísticas e produtivas. Esse conceito surgiu como resposta às mudanças significativas no mercado global, caracterizadas por uma crescente complexidade nas operações, demandas variáveis dos consumidores e a necessidade de maior eficiência e agilidade nas cadeias de suprimentos.

Historicamente, as cadeias de suprimentos passaram por diversas transformações. Inicialmente, eram sistemas lineares e isolados, onde as empresas focavam na produção em massa e na eficiência de custos. Com o advento da globalização e da digitalização, as cadeias de suprimentos começaram a se tornar mais interconectadas, levando à introdução de tecnologias como sistemas de gestão empresarial (ERP) e, posteriormente, à automação e à utilização de dados para melhorar as operações.

A transição para a Cadeia de Suprimentos 4.0 ganhou impulso com o surgimento da Indústria 4.0, um termo que se refere à quarta revolução industrial, marcada pela fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas. A Indústria 4.0 promove a digitalização das fábricas, integrando dispositivos conectados (Internet das Coisas, ou IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e automação avançada. Essa mudança propôs um novo paradigma de produção, onde a flexibilidade e a adaptabilidade são essenciais.

A Cadeia de Suprimentos 4.0, portanto, reflete essa nova era, utilizando tecnologias digitais para criar redes logísticas mais eficientes, rápidas e resilientes. A integração de sistemas e dados permite que empresas monitorem e gerenciem suas operações em tempo real, melhorando a visibilidade em todas as etapas da cadeia, desde o fornecimento de matérias-primas até a entrega final ao consumidor.

Com a Cadeia de Suprimentos 4.0, as empresas podem agora coletar e analisar grandes volumes de dados, permitindo uma melhor previsão da demanda e a otimização de estoques. Isso significa que, em vez de se basear em estimativas, as empresas podem responder rapidamente às mudanças nas necessidades dos consumidores, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência operacional.

Além disso, a automação e a robótica são componentes-chave dessa nova abordagem. O uso de robôs em armazéns, transportes automatizados e sistemas automatizados de processamento de pedidos aumenta a produtividade e a precisão das operações. Outro aspecto importante é a transparência e a rastreabilidade, que permitem que os produtos sejam monitorados em todas as etapas do processo, aumentando a confiança entre os parceiros da cadeia.

Apesar de seus muitos benefícios, a Cadeia de Suprimentos 4.0 também enfrenta desafios. A segurança cibernética se torna uma preocupação crítica, pois a interconexão de sistemas aumenta a vulnerabilidade a ataques. Além disso, a complexidade da integração de novas tecnologias com sistemas existentes pode ser um obstáculo para muitas empresas, especialmente para as de menor porte.

3.1 Cadeia de suprimentos tradicional x digital

A cadeia de suprimentos tradicional e a cadeia de suprimentos digital são dois modelos distintos de gerenciar o fluxo de materiais, informações e serviços, desde o fornecedor até o consumidor final. A principal diferença entre elas está no nível de integração tecnológica e automação.

A cadeia de suprimentos tradicional é caracterizada por processos mais manuais e descentralizados. Muitas das operações são realizadas de forma manual, ou com o uso de sistemas isolados, como planilhas, o que resulta em uma coleta de dados mais lenta e fragmentada. A comunicação entre os diferentes elos da cadeia, como fornecedores, fabricantes e distribuidores, tende a ser menos eficiente, ocorrendo, muitas vezes, por e-mail, telefone ou até em papel. Isso faz com que o tempo de resposta seja mais lento, especialmente quando surgem mudanças na demanda, problemas de fornecimento ou interrupções inesperadas.

Além disso, na cadeia de suprimentos tradicional, as decisões são frequentemente tomadas com base em dados históricos, sem o suporte de ferramentas avançadas de análise em tempo real. A gestão de estoque também é mais conservadora, com

reposições feitas de maneira periódica e baseadas em relatórios, o que limita a visibilidade em tempo real sobre o inventário.

Por outro lado, a cadeia de suprimentos digital utiliza a automação e a integração de sistemas por meio de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e big data. Esses recursos permitem a coleta e o processamento contínuo de dados em tempo real, criando uma cadeia mais ágil e conectada. A comunicação entre os diferentes elos é mais integrada, e plataformas digitais facilitam o intercâmbio de informações de forma instantânea, o que permite uma coordenação eficiente das atividades.

Esse modelo digital também tem uma capacidade muito maior de responder rapidamente às flutuações da demanda e a outros desafios do mercado. Com ferramentas avançadas de análise preditiva e machine learning, as previsões são feitas com base em dados atualizados, possibilitando decisões mais precisas. A gestão de estoques é otimizada, com a implementação de modelos just-in-time, que reduzem custos e melhoram a alocação de recursos.

4.0 Blockchain

O blockchain, que traduzido, possui o significado de “corrente de blocos”, surgiu em 2008, juntamente da bitcoin. *Satoshi Nakamoto*, foi o criador – ou criadores – do *blockchain*, onde publicou o *white paper* (guia) do BTC, intitulado “Bitcoin: A *Peer-to-Peer Electronic Cash System*” (*Bitcoin: Um Sistema de Dinheiro Eletrônico Peer-to-Peer*), onde, no documento, não é citado o termo “*blockchain*”, apenas a palavra separada em “*block*” e “*chain*”, mostrando que o termo junto é apenas uma criação do mercado. Portanto, antes da Bitcoin, não existe registros do uso da tecnologia, sendo assim, a BTC (*Bitcoin*) foi a primeira grande aplicação do *blockchain*.

O blockchain é uma cadeia de blocos interconectados que armazena um banco de dados, onde permite o compartilhamento transparente e seguro de informações dentro de uma empresa. Seu funcionamento envolve alguns conceitos importantes. Primeiramente, cada bloco contém um conjunto de transações e um cabeçalho com

informações como o *hash* (uma espécie de assinatura digital que representa o conteúdo do bloco), o carimbo de tempo e uma referência ao bloco anterior. O *hash* é gerado por uma função criptográfica, o que garante a integridade dos dados, pois qualquer alteração no conteúdo do bloco mudaria o *hash* correspondente.

Diferente dos sistemas tradicionais, que são centralizados e controlados por uma única entidade, o blockchain é descentralizado, sendo mantido por uma rede de computadores (nós) distribuídos. Cada nó armazena uma cópia completa da cadeia de blocos, e para que novos blocos sejam adicionados, é necessário que todos concordem sobre a validade das transações, o que é feito por meio de um protocolo de consenso. O mais comum é o *Proof of Work (PoW)*, em que computadores competem para resolver um problema matemático complexo, mas existem outros métodos, como o *Proof of Stake (PoS)*, que seleciona validadores com base na quantidade de moedas que possuem.

Uma das principais características do blockchain é sua imutabilidade. Uma vez que um bloco é adicionado à cadeia, torna-se muito difícil modificá-lo, pois exigiria a alteração de todos os blocos seguintes, algo extremamente custoso em termos de recursos computacionais, especialmente em redes grandes e distribuídas.

A tecnologia blockchain serve para garantir segurança, transparência e descentralização em transações e registros de dados. A segurança vem do uso de criptografia, que torna as transações praticamente à prova de adulterações, enquanto a transparência é garantida pelo fato de todas as transações serem visíveis para todos os participantes da rede. A descentralização elimina a necessidade de intermediários, o que torna os processos mais eficientes e menos suscetíveis a manipulações. Além disso, o *blockchain* pode ser usado para contratos inteligentes, que são programas que executam automaticamente quando determinadas condições são atendidas, eliminando intermediários em muitas negociações.

O *blockchain* pode ser aplicado em diversas áreas além do setor financeiro. No setor de finanças, ele continua sendo a base para o funcionamento das criptomoedas, como o *Bitcoin* e outras, e também é utilizado em transferências internacionais e

sistemas de pagamento. Na gestão de cadeias de suprimentos, a tecnologia permite rastrear produtos desde a origem até o consumidor final, assegurando a autenticidade dos bens e melhorando a eficiência logística. Em votações eletrônicas, o *blockchain* pode criar sistemas seguros e transparentes, minimizando o risco de fraude. No setor de saúde, a tecnologia pode garantir a privacidade e integridade dos dados médicos, permitindo o compartilhamento seguro de informações entre profissionais e instituições.

Outras áreas de aplicação incluem o registro de propriedade intelectual, onde o *blockchain* pode ser usado para proteger patentes e direitos autorais, e o mercado imobiliário, onde ele pode simplificar e proteger o registro e a transferência de propriedades. No contexto de Internet das Coisas (IoT), a tecnologia *blockchain* pode ajudar a gerenciar a comunicação segura entre dispositivos conectados, sem a necessidade de intermediários.

4.1 O blockchain na cadeia de suprimentos 4.0

A Cadeia de Suprimentos 4.0 é a evolução digital das operações logísticas e produtivas tradicionais, integrando tecnologias avançadas como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA), e automação para criar uma rede interconectada, ágil e inteligente. Nesse novo modelo, os processos da cadeia de suprimentos, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega final ao cliente, são monitorados e controlados em tempo real. A conectividade entre sistemas, dispositivos e empresas proporciona uma eficiência sem precedentes, com maior visibilidade e otimização de recursos. No entanto, com essa digitalização, também surgem novas vulnerabilidades, especialmente em relação à fragilidade da segurança dos dados e o aumento dos ataques cibernéticos.

Na Cadeia de Suprimentos 4.0, vastas quantidades de dados são geradas e compartilhadas entre diferentes agentes, como fornecedores, transportadores e fabricantes. Esses dados podem incluir informações sensíveis sobre pedidos, rotas de entrega, detalhes de contratos e até registros financeiros. Com a crescente interconectividade, esses dados passam a ser um alvo atraente para *hackers* e

cibercriminosos. Vazamentos de dados podem comprometer informações confidenciais, prejudicar a integridade das operações e afetar a confiança entre os parceiros da cadeia. Além disso, ataques cibernéticos podem causar interrupções operacionais, sabotagem de sistemas e até mesmo roubo de propriedade intelectual.

Para mitigar esses riscos, uma solução promissora na Cadeia de Suprimentos 4.0 é o uso da tecnologia *blockchain*. O *blockchain*, originalmente desenvolvido como a base das criptomoedas, é uma tecnologia de registro distribuído que oferece um alto nível de segurança, transparência e imutabilidade nas transações. Cada registro inserido em uma cadeia de blocos é criptografado, e qualquer alteração em um bloco subsequente requer consenso de toda a rede, o que praticamente impede fraudes ou adulterações.

No contexto da cadeia de suprimentos, o *blockchain* pode ser aplicado de várias maneiras para resolver os problemas de segurança de dados. Uma das principais vantagens do *blockchain* é sua capacidade de criar um registro descentralizado e à prova de adulteração de todas as transações e eventos que ocorrem na cadeia de suprimentos. Isso significa que todos os participantes podem visualizar um histórico completo e transparente de cada etapa do processo, desde o momento em que um produto é fabricado até sua entrega ao consumidor final. A natureza descentralizada do *blockchain* elimina a necessidade de intermediários para validar as transações, reduzindo o risco de fraudes e erros.

Uma aplicação prática do *blockchain* na Cadeia de Suprimentos 4.0 é a autenticação e rastreamento de produtos. Com o *blockchain*, cada produto ou lote pode ter um identificador único que é registrado na rede, possibilitando que todos os envolvidos no processo rastreiem a procedência, verificando sua autenticidade e origem. Isso é especialmente útil em setores como o farmacêutico e o de alimentos, onde a rastreabilidade é crucial para garantir a qualidade e segurança dos produtos.

Além disso, o *blockchain* pode ajudar a proteger dados sensíveis. Informações como contratos, acordos e transações financeiras podem ser armazenadas de forma segura e descentralizada, e apenas as partes autorizadas podem acessá-las. A

criptografia dos dados no *blockchain* garante que eles não possam ser lidos ou modificados por pessoas não autorizadas, evitando vazamentos de informações confidenciais. Isso aumenta a confiança entre os parceiros da cadeia, pois todos têm acesso aos mesmos dados de maneira transparente e segura, sem a necessidade de confiar em um único ponto centralizado de controle.

Outro aspecto importante é a capacidade do *blockchain* de resistir a ataques cibernéticos. Como o sistema é distribuído por uma rede de nós (computadores), os dados não estão armazenados em um único servidor central que poderia ser *hackeado*. Para um ciberataque ser bem-sucedido no *blockchain*, seria necessário comprometer simultaneamente a maioria dos nós da rede, o que é extremamente difícil e caro de realizar. Isso torna o *blockchain* uma tecnologia altamente segura e confiável para proteger dados e transações na Cadeia de Suprimentos 4.0.

Portanto, o *blockchain* oferece uma solução robusta para os desafios de segurança de dados e ciberataques enfrentados pela Cadeia de Suprimentos 4.0. Ao garantir a integridade, a autenticidade e a rastreabilidade dos dados, ele fortalece a confiança entre os parceiros e melhora a eficiência e a segurança das operações. Ao mesmo tempo, sua estrutura descentralizada e criptografada reduz significativamente o risco de fraudes e ataques cibernéticos, tornando-o uma peça-chave para a proteção e a evolução das cadeias de suprimentos digitais.

4.2 O diferencial do Blockchain comparado a outras tecnologias na cadeia de suprimentos 4.0

O *blockchain* é uma tecnologia inovadora que tem se destacado na gestão da cadeia de suprimentos 4.0, oferecendo uma série de diferenciais em comparação a outras tecnologias. Um dos principais diferenciais do *blockchain* é sua capacidade de fornecer um registro imutável de todas as transações. Cada transação é gravada em um bloco, que, uma vez adicionado à cadeia, não pode ser alterado ou excluído. Isso garante que todos os participantes da cadeia de suprimentos tenham acesso às mesmas informações em tempo real, aumentando a transparência e a confiança entre os parceiros. Enquanto a IoT coleta dados em tempo real e a computação em nuvem

armazena essas informações, o *blockchain* garante que os dados sejam autênticos e verificáveis, minimizando o risco de manipulação.

O *blockchain* também permite um rastreamento detalhado dos produtos ao longo de toda a cadeia de suprimentos, desde a origem dos materiais até o consumidor final. Essa rastreabilidade é crucial para garantir a autenticidade e a segurança dos produtos, especialmente em indústrias onde a proveniência é vital, como alimentos e produtos farmacêuticos. Embora a IoT possa monitorar o movimento de produtos em tempo real, o *blockchain* oferece um histórico auditável que valida a origem e as condições dos produtos em cada etapa do processo.

Outra característica distintiva do *blockchain* é sua estrutura descentralizada. Ao contrário das tecnologias tradicionais que dependem de servidores centralizados, o *blockchain* opera em uma rede distribuída, onde cada participante mantém uma cópia do livro-razão. Isso reduz a dependência de intermediários e diminui os riscos associados à centralização de dados, tornando o sistema mais robusto e menos suscetível a falhas ou ataques cibernéticos. Essa descentralização é especialmente importante em um ambiente cada vez mais interconectado, onde as vulnerabilidades podem ter um impacto em toda a cadeia.

Adicionalmente, o *blockchain* permite a implementação de contratos inteligentes, que são acordos autoexecutáveis com termos codificados diretamente no código do *blockchain*. Esses contratos podem automatizar processos complexos, como pagamentos, ordens de compra e liberações de produtos, com base em condições predefinidas. Isso não apenas melhora a eficiência operacional, mas também reduz a necessidade de intermediários, como corretores ou auditores. Enquanto a IA pode otimizar processos, os contratos inteligentes proporcionam uma automação transparente e segura, com verificação instantânea das condições acordadas.

A segurança é outro dos pilares do *blockchain*, que utiliza criptografia avançada para proteger dados e garantir que as transações sejam seguras. Cada bloco contém um código *hash* único que conecta a ele o bloco anterior, criando uma cadeia extremamente difícil de ser alterada. Qualquer tentativa de fraude ou manipulação é

facilmente detectável, já que a alteração de um único bloco requer a modificação de todos os blocos subsequentes. Embora a cibersegurança seja crucial para proteger sistemas e dados, o *blockchain* adiciona uma camada adicional de segurança ao permitir que todas as transações sejam visíveis e auditáveis por todos os participantes da rede.

Em adição, o *blockchain* se destaca por sua capacidade de funcionar como um sistema de registro universal que se integra a diferentes tecnologias e plataformas. Isso permite que informações provenientes de diversas fontes sejam consolidadas em um único registro, facilitando a comunicação e a colaboração entre diferentes partes interessadas na cadeia de suprimentos. Enquanto a computação em nuvem e big data podem compilar e analisar dados de várias fontes, o *blockchain* fornece um registro acessível e verificável por todas as partes envolvidas, promovendo uma cadeia de suprimentos mais coesa e eficiente.

5.0 Lei Geral de Proteção de Dados

A Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), formalmente conhecida como Lei nº 13.709/2018, estabelece critérios para a coleta e uso de dados, seu objetivo é controlar o uso de dados pessoais de acordo com uma série de princípios, na qual são eles:

Finalidade: O tratamento de dados deve ser realizado para propósitos legítimos, específicos, explícitos e informados ao titular, não podendo haver tratamento posterior de forma incompatível com essas finalidades.

Adequação: O tratamento deve ser compatível com as finalidades informadas ao titular, conforme o contexto do tratamento.

Necessidade: O tratamento deve ser limitado ao mínimo necessário para a realização de suas finalidades, abrangendo apenas os dados pertinentes e proporcionais ao alcance dos objetivos pretendidos.

Livre Acesso: Garantia aos titulares de consulta facilitada e gratuita sobre a forma e a duração do tratamento, bem como sobre a integralidade de seus dados pessoais.

Qualidade dos Dados: Assegura aos titulares que seus dados pessoais serão exatos, claros, relevantes e atualizados, de acordo com a necessidade e para o cumprimento da finalidade de seu tratamento.

Transparência: O tratamento de dados deve ocorrer de forma transparente e acessível aos titulares, sempre respeitando os segredos comerciais e industriais envolvidos.

Segurança: A lei exige a utilização de medidas técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou difusão.

Prevenção: A adoção de medidas que previnam a ocorrência de danos em virtude do tratamento de dados pessoais.

Não discriminação: Proíbe-se o tratamento de dados pessoais para fins discriminatórios, ilícitos ou abusivos.

Responsabilização e prestação de contas: Os agentes de tratamento de dados pessoais devem demonstrar a adoção de medidas eficazes capazes de comprovar a observância e o cumprimento das normas de proteção de dados pessoais.

De acordo com o artigo nº2 da LEI Nº 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018, a LGPD possui como fundamentos:

- I - o respeito à privacidade;
- II - a autodeterminação informativa;
- III - a liberdade de expressão, de informação, de comunicação e de opinião;
- IV - a inviolabilidade da intimidade, da honra e da imagem;
- V - o desenvolvimento econômico e tecnológico e a inovação;

VI - a livre iniciativa, a livre concorrência e a defesa do consumidor; e

VII - os direitos humanos, o livre desenvolvimento da personalidade, a dignidade e o exercício da cidadania pelas pessoas naturais. (JUSBRASIL)

Devido a essas características da Lei Geral de Proteção de Dados, que a Constituição consegue manter a proteção dos direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural.

5.1 Lei Geral de Proteção de Dados na cadeia de suprimentos

A Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) tem como objetivo garantir a proteção dos dados pessoais dos indivíduos, e seu alcance é bastante amplo. Ela se aplica a todas as empresas que coletam, processam ou armazenam informações pessoais, incluindo as do setor de logística. Esse setor depende da coleta de dados para uma série de operações, como rastreamento de produtos, gerenciamento de estoques, planejamento de rotas de entrega e comunicação com clientes e parceiros.

Na logística, os dados pessoais processados podem incluir informações de clientes, como nomes, endereços, telefones e e-mails, além de dados de motoristas, funcionários e parceiros comerciais. No caso de motoristas, por exemplo, podem ser tratados dados como CPF, CNH, informações bancárias e, em situações específicas, até mesmo dados de saúde relacionados à capacidade de trabalho. Esses dados são essenciais para a operação, mas também representam uma responsabilidade significativa para as empresas.

A LGPD exige que as organizações sigam princípios rigorosos ao lidar com esses dados. Isso inclui a necessidade de coletar apenas os dados estritamente necessários para a finalidade pretendida, garantir que os titulares sejam informados sobre o uso das informações e implementar medidas de segurança para proteger esses dados contra acessos não autorizados, vazamentos ou outras formas de exposição.

Além disso, as empresas devem estabelecer uma base legal para o tratamento dos dados, como o consentimento do titular ou a necessidade para a execução de um

contrato. Elas também precisam estar preparadas para responder às solicitações dos titulares, como pedidos de acesso, correção ou exclusão de seus dados. No caso de compartilhamento de informações com terceiros, como fornecedores ou transportadoras, as empresas devem assegurar que esses parceiros também estejam em conformidade com a LGPD.

Com a integração de novos processos após a indústria 4.0, torna-se importante que a cadeia de suprimentos da empresa esteja em integração a Lei Geral de Uso de Dados, dessa maneira, o *Supply Chain* exige maior atenção entre suas diferentes etapas entre os fornecedores, fabricantes e operadores logísticos, onde são propícios a diferentes tipos de riscos de invasão e compartilhamento de dados sigilosos devido a participação de diferentes setores dentro da devida cadeia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração do *blockchain* na gestão da cadeia de suprimentos, no contexto da Indústria 4.0, apresenta benefícios significativos, como maior segurança, rastreabilidade, transparência e eficiência em processos logísticos e produtivos. A aplicação dessa tecnologia tem se mostrado essencial para mitigar vulnerabilidades decorrentes do aumento de ataques cibernéticos, que se intensificaram com a digitalização das operações. Por meio de sua estrutura descentralizada, imutável e protegida por criptografia avançada, o *blockchain* anula grande parte desses ataques, como fraudes, adulterações de dados e acessos não autorizados, reforçando a integridade das informações compartilhadas entre os elos da cadeia. Além disso, o *blockchain* se destaca por proporcionar confiança entre os parceiros e garantir a proteção de dados sensíveis, alinhando-se a legislações como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Dessa forma, conclui-se que, embora o *blockchain* seja uma solução promissora para enfrentar os desafios da segurança digital, sua aplicação requer planejamento estratégico e integração com as demais tecnologias da Indústria 4.0 para maximizar seus resultados e superar as barreiras existentes.

7. REFERÊNCIAS

Blockchain para Cadeia de Suprimentos: Usos e Benefícios. Michael Chen, 2024. Disponível em: www.oracle.com/br/blockchain/what-is-blockchain/blockchain-for-supply-chain/. Acesso em: 21 nov. 2024.

A tecnologia Blockchain e a Cadeia de Suprimentos: A tecnologia Blockchain e a Cadeia de Suprimentos. Rodilson Silva, 2019. Disponível em: a-tecnologia-blockchain-e-a-cadeia-de-suprimentos/. Acesso em: 05 dez. 2024.

O blockchain aplicado à cadeia de suprimentos: O blockchain aplicado. intermodal digital, 2022. Disponível em: tecnologia/o-blockchain-aplicado-a-cadeia-de-suprimentos/. Acesso em: 14 nov. 2024.

A tecnologia Blockchain aplicada à Cadeia de Suprimentos: A tecnologia Blockchain. produção inteligente, 2021. Disponível em: pitecg.com/a-tecnologia-blockchain-aplicada-a-cadeia-de-suprimentos/. Acesso em: 31 out. 2024.

O que é blockchain? Conheça a tecnologia que torna as transações com criptos possíveis: O que é blockchain?. infomoney, 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/guias/blockchain/>. Acesso em: 24 out. 2024.

O que é cadeia de suprimentos na logística? Conceito e exemplos!: O que é cadeia de suprimentos na logística?. notazz, 2024. Disponível em: <https://notazz.com/o-que-e-cadeia-de-suprimentos-na-logistica-conceito-e-exemplos/>. Acesso em: 31 out. 2024.

Uma revisão de ataques, vulnerabilidades e defesas na indústria 4.0 com novos desafios na soberania de dados à frente: Uma revisão de ataques. MDPI, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/15/5189>. Acesso em: 17 out. 2024.

Os fabricantes aumentam as defesas cibernéticas à medida que os gargalos da cadeia de suprimentos — e as vulnerabilidades — se aprofundam: Os fabricantes aumentam as defesas cibernéticas à medida que os gargalos da cadeia de suprimentos. PWC, 2021. Disponível em: <https://www.pwc.com/us/en/industries/industrial-products/library/cyber-supply-chain.html>. Acesso em: 07 nov. 2024.

Ataques à cadeia de suprimentos são o ponto ideal para ameaças à identidade: Ataques à cadeia de suprimentos. SILVERFORT, 2024. Disponível em: <https://www.silverfort.com/pt/blog/identity-security-is-the-key-to-managing-manufacturers-supply-chain-cyber-risk/#:~:text=Ataques%20%C3%A0%20cadeia%20de%20suprimentos%20s%C3%A3o%20o%20ponto>. Acesso em: 07 nov. 2024.

O que é um ataque à cadeia de suprimentos?: O que é um ataque à cadeia de suprimentos?. ZSCALER, 2020. Disponível em: <https://www.zscaler.com/br/resources/security-terms-glossary/what-is-a-supply-chain-attack>. Acesso em: 28 nov. 2024.

Blockchain Interoperability Pilot. **FDA DSCSA**, 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/downloads/documents/us-en/107a02e94ac8f64e>. Acesso em: 26 set. 2024.

Soluções blockchain para cadeias de suprimentos: Soluções blockchain para cadeias de suprimentos. IBM, Ano da Publicação. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/blockchain-supply-chain>. Acesso em: 07 nov. 2024.

O que é SCM (gestão da cadeia de suprimentos)?: A gestão da cadeia de suprimentos (SCM) inclui todas as atividades que transformam matérias-primas em produtos acabados para uso dos clientes.. **SAP**. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/scm/what-is-supply-chain-management.html#:~:text=A%20gest%C3%A3o%20da%20cadeia%20de%20suprimentos%20inclui%20todas,qualidade%2C%20a%20produtividade%20e%20a%20satisfat%C3%A7%C3%A3o%20dos%20clientes..> Acesso em: 26 set. 2024.

Gestão de Cadeia de Suprimentos: conceito, objetivo, tipos e desafios: Gestão de Cadeia de Suprimentos: conceito, objetivo, tipos e desafios. CLARA, 2023. Disponível em: <https://www.clara.com/pt-br/blog/gestao-cadeia-suprimentos-conceito-objetivo-tipos-desafios>. Acesso em: 14 nov. 2024.

O que é cadeia de suprimentos digital? Benefícios, componentes principais e desafios em 2024. **Global Simplex**, 2023. Disponível em: <https://www.simpleglobal.com/pt/blog/what-is-digital-supply-chain-benefits-key-components-and-challenges-in-2024/#:~:text=Ao%20contr%C3%A1rio%20das%20cadeias%20de%20abastecimento%20tradicionais%2C%20que,agilizar%20todos%20os%20aspectos%20da%20cadeia%20de%20abastecimento..> Acesso em: 15 ago. 2024.

Internet das Coisas: o que é, como funciona e exemplos de uso: Entenda o que é Internet das Coisas, como ela funciona, qual é a sua importância e alguns exemplos

de uso no cotidiano de pessoas e empresas. **CNN Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/internet-das-coisas/>. Acesso em: 19 set. 2024.

Qual o impacto da internet das coisas na cadeia de suprimentos?: Neste post, mostraremos quais são os impactos da IoT na cadeia de suprimentos, mostrando suas aplicações e principais vantagens. Confira!. **Equipe Neogrid**, 2021. Disponível em: <https://www.neogrid.com/qual-o-impacto-da-internet-das-coisas-na-cadeia-de-suprimentos/#:~:text=Qual%20o%20impacto%20da%20internet%20das%20coisas%20na,3%20Principais%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20para%20ind%C3%BAstria%20e%20varejo%20.> Acesso em: 22 ago. 2024.

DOWNIE, Amanda; FINN, Teaganne. O que é IA na cadeia de suprimentos?. **IBM**, 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/ai-supply-chain>. Acesso em: 28 nov. 2024.

Cadeia de suprimentos 4.0: quais são os principais impactos e tendências?. **CISS**, 2023. Disponível em: <https://blog.ciss.com.br/cadeia-de-suprimentos-4-0/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

PEDERNEIRAS, Gabriela. Gestão da cadeia de suprimentos na Indústria 4.0. **Industria40**, 2020. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/19280-gestao-da-cadeia-de-suprimentos-na-industria-40#:~:text=A%20gest%C3%A3o%20da%20cadeia%20de%20suprimentos%20%C3%A9%20um,automa%C3%A7%C3%A3o%2C%20uso%20de%20dados%20e%20melhoramento%20dos%20processos..> Acesso em: 17 out. 2024.

História da logística: da rota da seta até a integração global dos processos digitais. **TOTVS**, 2024. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-logistica/historia-da-logistica/#:~:text=O%20panorama%20log%C3%ADstico%20mundial%20foi%20marcado%20pela%20introdu%C3%A7%C3%A3o,relacionadas%20%C3%A0%20transforma%C3%A7%C3%A3o%20e%20ao%20movimento%20de%20bens..> Acesso em: 14 nov. 2024.

PORTES, Rodrigo. Indústria 4.0: o que é e como surgiu: Entenda como surgiu o termo Indústria 4.0 na história e o que significa a quarta revolução industrial.. **startse**, 2023. Disponível em: <https://www.startse.com/artigos/industria-4-0-o-que-e/>. Acesso em: 24 out. 2024.

Escutar Conceito de Blockchain: Escutar Conceito de Blockchain. CONCEITO, 2008. Disponível em: <https://conceito.de/blockchain>. Acesso em: 31 out. 2024

O que é blockchain? Conheça a tecnologia que torna as transações com criptos possíveis: O que é blockchain?. INFOMONEY, 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/guias/blockchain/>. Acesso em: 31 out. 2024.

O que é a tecnologia blockchain?. **AWS**. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/blockchain/?aws-products-all.sort-by=item.additionalFields.productNameLowercase&aws-products-all.sort-order=asc>. Acesso em: 19 set. 2024.

O que é Indústria 4.0?. **IBM**. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/industry-4-0>. Acesso em: 19 set. 2024.

Autor. Supply Chain 4.0: como ela funciona e seus impactos. **FM2S**, 2023. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/supply-chain-4-0#:~:text=A%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20do%20Supply%20Chain%204.0%20na%20ind%C3%BAstria,log%C3%ADstica%20e%20as%20rela%C3%A7%C3%B5es%20com%20clientes%20e%20fornecedores..> Acesso em: 12 set. 2024.

Cadeia de suprimentos 4.0: quais são os principais impactos e tendências?. **CISS**, 2023. Disponível em: <https://blog.ciss.com.br/cadeia-de-suprimentos-4-0/>. Acesso em: 12 set. 2024.

Supply chain 4.0: tudo sobre a revolução da cadeia de suprimentos. **benner**, 2021. Disponível em: <https://www.benner.com.br/supply-chain-4-0/>. Acesso em: 31 out. 2024.

Quais são as principais tecnologias da Indústria 4.0: 12 opções para conhecer. **LogAp**, 2023. Disponível em: <https://logap.com.br/blog/principais-tecnologias-industria-4-0/>. Acesso em: 17 out. 2024.

Indústria 4.0: pilares, tecnologias, impactos e desafios. **Equipe TOTVS**, 2023. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>. Acesso em: 10 out. 2024.

VELASCO, Ariane. O que é realidade virtual? Conheça esta tecnologia que pode mudar o mundo. **Canaltech**, 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/rv-ra/o-que-e-realidade-virtual-conheca-esta-tecnologia-que-pode-mudar-o-mundo-154999/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

Entenda a relação entre Realidade virtual, Realidade aumentada e Indústria 4.0. **Convergint**, 2020. Disponível em: <https://convergint.com.br/2020/10/07/tecnologia-industria-4-0/#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%204.0%20traz%20para%20dentro%20das%20empresas,fim%20de%20tornar%20processos%20mais%20din%C3%A2micos%20e%20pr%C3%A1ticos..> Acesso em: 07 nov. 2024.

VITUZZO, Heloisa Pires. Realidade virtual e inteligência artificial: inovações aplicadas às empresas: Saiba como a realidade virtual e a aumentada podem mudar a maneira como o mundo opera. **Olhar Digital**, 2022. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2022/11/08/colunistas/realidade-virtual-e-inteligencia-artificial-inovacoes-aplicadas-as-empresas/#:~:text=No%20final%20dos%20anos%2080%2C%20os%20g%C3%AAnios%20da,melhorar%20a%20experi%C3%AÂncia%20do%20usu%C3%A1rio%20com%20o%20ambiente..> Acesso em: 14 nov. 2024.

Robótica avançada: o que é, benefícios e principais aplicações. **Universal Robots Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/br/blog/rob%C3%B3tica-avancada-o-que-%C3%A9-benef%C3%ADcios-e-principais-aplicac%C3%B5es/>. Acesso em: 14 nov. 2024.

DUTRA ALENCASTRO, Marcos Vinicius. LGPD no Brasil: Impactos e desafios da Proteção de Dados Pessoais para empresas e consumidores: Uma análise das principais obrigações, riscos e implicações legais da Lei Geral de Proteção de Dados no ambiente digital. **Jusbrasil**, 2025. Disponível em:

<https://www.jusbrasil.com.br/artigos/lgpd-no-brasil-impactos-e-desafios-da-protecao-de-dados-pessoais-para-empresas-e-consumidores/2703346074?msockid=2895e1bd7d6567ce06a7f2d67cbc66e5>.

Acesso em: 21 nov. 2024.

Presidência da República Secretaria-Geral Subchefia para Assuntos Jurídicos: LEI Nº 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018. **Planalto**, 2018. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso

em: 21 nov. 2024.

Privacidade e proteção de dados: entenda a LGPD na logística. **Mobi Logística**, 2023. Disponível em: <https://blog.mobi.com.br/lgpd-na-logistica/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

LGPD e os pontos de atenção voltados ao supply chain: entenda mais sobre o assunto. **Comlink**, 2024. Disponível em: <https://blog.comlink.com.br/lgpd-em-supply-chain/>. Acesso em: 22 ago. 2024.