

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO

LEANDRO SÉRGIO AMARAL SEQUEIRA

BLOCKCHAIN PARA RASTREABILIDADE E CONTROLE DE QUALIDADE DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR ELETRÔNICO EM MANAUS

MANAUS

2024

LEANDRO SÉRGIO AMARAL SEQUEIRA

**BLOCKCHAIN PARA RASTREABILIDADE E CONTROLE DE QUALIDADE DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR ELETRÔNICO EM MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Administração da Universidade Federal
do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para
obtenção de título de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Giovanni Figliuolo Uchôa

**MANAUS
2024**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S479b Sequeira, Leandro Sérgio Amaral
Blockchain para rastreabilidade e controle de qualidade de componentes eletrônicos : estudo de caso em uma empresa do setor eletrônico em Manaus / Leandro Sérgio Amaral Sequeira . 2024
25 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Antônio Giovanni Figliuolo Uchôa
TCC de Graduação (Administração) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Blockchain. 2. Rastreabilidade. 3. Controle de qualidade. 4. Eficiência operacional. I. Uchôa, Antônio Giovanni Figliuolo. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

LEANDRO SÉRGIO AMARAL SEQUEIRA

**BLOCKCHAIN PARA RASTREABILIDADE E CONTROLE DE QUALIDADE DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR ELETRÔNICO EM MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Administração da Universidade Federal
do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para
obtenção de título de Bacharel em Administração.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 19/07/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Giovanni Figliuolo Uchôa - UFAM
Orientador

Prof. Dr. Manoel Carlos de Oliveira Junior - UFAM
Avaliador

Prof.^a Dr.^a Valéria Gonçalves Vieira - UFAM
Avaliadora

BLOCKCHAIN PARA RASTREABILIDADE E CONTROLE DE QUALIDADE DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS: Estudo de Caso em uma Empresa do Setor
Eletrônico em Manaus

Leandro Sérgio Amaral Sequeira

Universidade Federal do Amazonas
sergioleandro2018@gmail.com.br

Antônio Giovanni Figliuolo Uchôa

Universidade Federal do Amazonas
antoniouchoa@ufam.edu.br

RESUMO

Este estudo trata-se de uma investigação detalhada da implementação e impactos das tecnologias de rastreabilidade avançada e Blockchain na empresa Delta (nome fictício), localizada no Distrito Industrial de Manaus. A pesquisa documental se concentrou na aplicação dessas tecnologias para aprimorar a gestão operacional e fortalecer o controle de qualidade ao longo da cadeia produtiva. Utilizando metodologias como análise de fluxo de trabalho, gráficos de desempenho e tabelas comparativas, foram examinados os efeitos dessas inovações na redução de retrabalhos, na eficiência operacional e na satisfação do cliente. Os resultados revelaram uma diminuição significativa nos índices de retrabalho, evidenciando melhorias substanciais na confiabilidade e consistência dos produtos entregues aos clientes.

Palavras-chave: Blockchain, rastreabilidade, controle de qualidade, eficiência operacional.

ABSTRACT

This study extensively investigated the implementation and impacts of advanced traceability and Blockchain technologies at Delta Company, situated in the Industrial District of Manaus. The research focused on how these technologies were deployed to enhance operational management and bolster quality control across the production chain. Employing methodologies such as workflow analysis, performance charts, and comparative tables, the study examined the effects of these innovations on reducing rework, improving operational efficiency, and

enhancing customer satisfaction. The findings demonstrated a significant decrease in rework rates, underscoring substantial improvements in the reliability and consistency of products delivered to customers.

Key-words: Blockchain, traceability, quality control, operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A indústria eletrônica enfrenta desafios complexos na busca por componentes eletrônicos de alta qualidade e na rastreabilidade efetiva de sua origem. Esses desafios . ampliados devido à constante evolução tecnológica e ao cenário globalizado, o qual a garantia de autenticidade e qualidade é vital para a conformidade com regulamentações e a satisfação do cliente. Em resposta a essas necessidades, a tecnologia Blockchain surge como uma solução inovadora e promissora que pode aprimorar a rastreabilidade e o controle de qualidade desses componentes.

A indústria eletrônica na região de Manaus desempenha um papel vital na economia brasileira e internacional, abrigando diversas empresas que fabricam uma variedade de produtos eletrônicos. No entanto, a manutenção da qualidade dos componentes eletrônicos em todas as etapas da produção e o rastreamento eficaz desses componentes são desafios complexos. A complexidade é agravada por um mercado globalizado, onde a autenticidade dos componentes é essencial para a conformidade com regulamentações e para a confiança dos clientes (Tavares, 2001).

A aplicação da tecnologia Blockchain para rastrear a proveniência e a qualidade dos componentes eletrônicos tem o potencial de revolucionar a indústria, garantindo maior transparência e segurança nas operações. Além disso, ao melhorar a qualidade e a rastreabilidade dos componentes, essa pesquisa visa contribuir para a competitividade das empresas, a satisfação do cliente e a redução de custos associados a produtos defeituosos ou não conformes.

Ao longo das décadas seguintes, houve avanços significativos na área de TI, incluindo o surgimento de bancos de dados, redes de computadores, servidores e softwares diversos. Cada uma dessas inovações contribuiu para a expansão e aprimoramento das capacidades de processamento e armazenamento de dados.

A década de 1990 marcou um ponto de virada com o advento da World Wide Web (Web). Essa revolução trouxe consigo uma série de termos e conceitos que se tornaram parte integrante do conhecimento cotidiano. Algumas dessas terminologias incluem websites, Java (uma linguagem de programação), blogs, HTTP (Hypertext Transfer Protocol), URL (Uniform Resource Locator), HTML (Hypertext Markup Language), entre outros (Carvalho, 2018, p. 15).

Desde o surgimento dessas tecnologias, elas provocaram uma transformação global, tornando nossa interação, especialmente com a informação, mais ágil. Esse fenômeno, conhecido como "explosão da informação", não apenas introduziu novas áreas de conhecimento, mas também redefiniu a forma como acessamos e disponibilizamos informações (Carvalho, 2018, p. 15).

Com o advento do novo paradigma, houve uma transformação no modo de comunicar e divulgar a ciência. Os e-mails substituíram as cartas, os periódicos científicos migraram para o ambiente digital, e as comunicações tornaram-se instantâneas, proporcionando rapidez tanto na condução da pesquisa científica quanto na sua disseminação (Carvalho, 2018, p. 15).

A tecnologia Blockchain oferece diversas aplicações para aprimorar a rastreabilidade e o controle de qualidade dos componentes eletrônicos em uma empresa de Manaus. Isso pode resultar em uma produção mais eficiente, confiável e transparente, contribuindo para a excelência operacional e aprimorando a posição competitiva da empresa no mercado.

A relevância dessa pesquisa é evidenciada pela importância estratégica da indústria eletrônica em Manaus e a necessidade crescente de soluções que abordem a qualidade e a rastreabilidade dos componentes eletrônicos. Nesse sentido, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: Como a tecnologia Blockchain pode ser aplicada para aprimorar a rastreabilidade e o controle de qualidade dos componentes eletrônicos em uma empresa de Manaus? Além de sua relevância prática para a indústria, este estudo possui uma significativa relevância acadêmica ao explorar novas aplicações da tecnologia Blockchain em contextos industriais específicos, contribuindo para o avanço teórico e metodológico dentro do campo da gestão da cadeia de suprimentos e da tecnologia da informação. Ao investigar a adaptação eficaz dos princípios do Blockchain, esta pesquisa promete oferecer novas perspectivas e insights valiosos que podem beneficiar tanto acadêmicos quanto profissionais interessados em inovação tecnológica e melhorias em processos industriais. Na academia, a pesquisa contribui para o corpo de conhecimento sobre a aplicação de tecnologias de Blockchain

O estudo de caso realizado em uma empresa líder do setor eletrônico em Manaus teve como objetivo principal explorar as aplicações práticas da tecnologia Blockchain. Especificamente, focou-se em investigar como o Blockchain poderia melhorar a rastreabilidade dos componentes eletrônicos na cadeia de suprimentos da empresa e avaliar seu impacto no controle de qualidade dos processos industriais. Este estudo não só busca oferecer insights práticos para a indústria, mas também visa contribuir academicamente ao explorar novas

fronteiras da tecnologia da informação e gestão da cadeia de suprimentos, especialmente em setores industriais cruciais como o de Manaus.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Tecnologia Blockchain

A Blockchain é, essencialmente, um registro digital público que consiste em uma cadeia de blocos contendo transações realizadas. Esses blocos são conectados uns aos outros, formando uma cadeia contínua, daí o nome "Blockchain". Cada bloco armazena várias transações, e todas as transações em um bloco são confirmadas por consenso antes de serem adicionadas. Uma vez que as informações são gravadas em um bloco, é praticamente impossível alterá-las, tornando-a altamente segura contra fraudes e adulterações (Nakamoto, 2008).

Como descreve Santos (2021), a tecnologia Blockchain é uma inovação revolucionária que tem despertado um interesse significativo em diversos setores nos últimos anos. Sua arquitetura única e características intrínsecas a tornam uma ferramenta poderosa para a criação de sistemas descentralizados e seguros. Neste tópico, serão explorados os conceitos fundamentais da tecnologia Blockchain e como ela está moldando o cenário global.

Santos (2021) aponta que uma característica marcante da Blockchain é a descentralização. Ao contrário dos sistemas tradicionais, que dependem de uma autoridade central para validar transações, a Blockchain opera em uma rede *peer-to-peer*. Isso significa que não há uma única autoridade no controle; em vez disso, a validação é realizada por uma rede distribuída de participantes, conhecidos como nós. Essa descentralização confere maior segurança, transparência e resistência a falhas à tecnologia.

A tecnologia Blockchain é mais conhecida por ser o alicerce das criptomoedas, com o Bitcoin sendo o exemplo mais notório. No entanto, seu potencial vai muito além das finanças. Setores como saúde, logística, cadeia de suprimentos, imobiliário e governo estão explorando maneiras de aproveitar os benefícios da Blockchain. Por exemplo, na área de saúde, a Blockchain pode ser usada para garantir o rastreamento seguro e preciso dos registros médicos de pacientes, garantindo sua confidencialidade e integridade (Nakamoto, 2008).

A inovação contínua na tecnologia Blockchain também está permitindo o desenvolvimento de contratos inteligentes. Esses contratos são autoexecutáveis e autoaplicáveis, tornando os acordos à prova de falhas humanas. Eles podem ser usados em várias aplicações, desde a automatização de pagamentos até a execução de contratos complexos (Ribeiro *et al*, 2022).

Portanto, compreender os fundamentos da tecnologia Blockchain e suas inovações é crucial para explorar seu potencial em diversos setores.

Embora os Blockchains tenham sido inicialmente apontadas como uma tecnologia disruptiva, sob a ótica de inovação técnica, o *Bitcoin* e sua Blockchain não introduziram componentes verdadeiramente inovadores, pois todos eles já estavam em desenvolvimento antes da publicação do *white paper* do *Bitcoin* em 2008 (Tasca e Tessone, 2019).

Ao examinar os elementos tecnológicos envolvidos e considerar a perspectiva histórica, nota-se que o conceito de *hashing*, utilizado para segurança da informação, assinaturas e verificação da integridade da mensagem, remonta aos anos 50 na criptografia. Em termos simples, o *hash*¹ é um algoritmo que transforma dados de comprimento variável em dados de comprimento fixo. Esse conceito serviu como alicerce para o trabalho de *Merkle* (Oliveira, 2020, p. 35), que resultou na criação da *Árvore de Merkle*.

A ideia de uma criptomoeda para transações eletrônicas surgiu no início da web, por volta de 1990. Adam Back, um criptógrafo britânico com pós-doutorado na Universidade de Exeter, propôs o *Hashcash* em 2002. No entanto, foi apenas com o paper de Nakamoto (2008) que a primeira moeda eletrônica baseada em uma Blockchain, utilizando o conceito de Prova de Trabalho (PoW)², foi introduzida. Esse trabalho apresentou uma solução para o problema de gasto duplo e estabeleceu-se como uma rede distribuída, operando em grande parte do mundo desde então (Oliveira, 2020, p. 36). Em sua fase tecnológica inicial, o interesse em Blockchains continua a se expandir globalmente. No setor financeiro, 80% dos bancos têm a previsão de iniciar projetos relacionados à Blockchain até 2017. Paralelamente, os investimentos de capital destinados às atividades de Blockchain experimentaram um aumento significativo, ultrapassando a marca de 1,4 bilhões de dólares no período de 2014 a 2016 (Oliveira, 2020, p. 37).

Bancos centrais têm direcionado esforços para investigar e desenvolver tecnologias relacionadas à Blockchain. O Banco da Inglaterra, por exemplo, encomendou estudos sobre Moedas Digitais do Banco Central (CBDCs), conforme abordado por Braddick, Bailey e Ramsden (2018). Essas pesquisas não apenas buscam classificar criptoativos, mas também avaliam seu potencial e os possíveis impactos da tecnologia no sistema financeiro e nos mercados. Além disso, são considerados temas relevantes para a regulamentação de empresas

¹ OLIVEIRA, Victor Augusto de Almeida; BERTOLAI, Jefferson Donizeti Pereira. Moeda eletrônica do banco central: uma introdução. *Análise Econômica*, Porto Alegre, v. 40, n. 81, p. 179-221, mar. 2022.

² Prova de trabalho (proof-of-work, ou PoW) é o algoritmo que protege muitas criptomoedas, como Bitcoin (BTC) e Bitcoin Cash (BCH).

e políticas monetárias, conforme discutido por Chapman e Wilkins (2019), citados por Oliveira (2020, p. 36).

Na indústria, a adesão a grupos de trabalho e consórcios de Blockchain tem sido expressiva, com mais de cem corporações participando. O número de patentes registradas nesse contexto ultrapassa três mil. Esse cenário destaca a importância da Blockchain como uma das tecnologias emergentes mais promissoras, juntamente com Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e nanotecnologia, todas com potencial para terem um impacto significativo no futuro da sociedade (Oliveira, 2020, p. 37).

Glaser (2017) define Blockchain como um banco de dados transacional distribuído, onde nós globalmente distribuídos são conectados por uma rede ponto a ponto (P2P) com protocolo próprio para comunicação e descoberta de pares. Cada nó é identificado por um endereço IP, e os usuários referenciam-se entre si por meio de suas chaves públicas, que funcionam como endereços de e-mail. A chave privada, correspondente a cada usuário, é utilizada para assinar mensagens e transações, garantindo criptograficamente a autenticidade e a representação da intenção do usuário.

Um nó, seja físico ou virtual, comunica-se via TCP/IP e UDP com outros nós. Porém, um usuário é representado apenas por um endereço de chave pública, teoricamente capaz de fazer login a partir de qualquer nó. Cada nó mantém um banco de dados de todas as transações válidas históricas, agrupadas em blocos. Zheng *et al.* (2017) descrevem um bloco contendo informações como versão, *hash* da raiz da árvore *Merkle*, *timestamp*, limite de destino de um *hash* de bloco válido, *nonce e hash* do bloco pai, fornecendo uma ordenação temporal das transações.

Os blocos, que registram transações de compra e venda, compõem a Blockchain, agindo como um livro-caixa público. A validação das transações é realizada por meio de assinaturas digitais, seguida pela aplicação de uma função de *hash* que gera uma sequência inserida no cabeçalho do próximo bloco. Essa estrutura permite verificar erros ou alterações nos blocos de dados transmitidos em redes ponto a ponto, utilizando funções de dispersão ou *hash*, que mapeiam dados de tamanho variável para um conjunto de tamanho fixo.

As funções de *hash*, segundo Yano et al. (2018), são fáceis de calcular em uma direção, mas praticamente impossíveis na direção contrária, criando uma "impressão digital" dos dados. Cada bloco refere-se ao anterior, estabelecendo uma ordenação temporal das transações. A ordem das transações dentro de um bloco é determinada aleatoriamente, de acordo com o

algoritmo de consenso aplicado. Os nós "Light", configurados para economizar espaço em disco, coletam apenas os *hashes* de blocos de transações.

Quanto à classificação, Buterin (2015) destaca três tipos principais de Blockchains: pública, de consórcio e totalmente privada. Nas Blockchains públicas, todos os registros são públicos, permitindo a leitura, envio de transações e participação no processo de consenso a qualquer interessado. Blockchains de consórcio têm permissões de leitura restritas, com um grupo predefinido de nós participando do processo de consenso, sendo consideradas "parcialmente descentralizadas". Já as Blockchains totalmente privadas mantêm permissões centralizadas, limitando os nós associados ao processo de consenso a uma organização específica (Buterin, 2015).

A tecnologia Blockchain, descreve Santos (2021), tem demonstrado seu potencial inovador em vários setores industriais, proporcionando maior eficiência, segurança e transparência. Neste contexto, destacam-se quatro setores nos quais a Blockchain está promovendo mudanças significativas:

Logística e Cadeia de Suprimentos: A gestão da cadeia de suprimentos e a logística também estão passando por uma revolução graças à Blockchain. A tecnologia permite um registro seguro e imutável de informações sobre a origem, transporte e entrega de produtos. Essa aplicação é especialmente valiosa para a rastreabilidade de alimentos e produtos farmacêuticos, garantindo a autenticidade dos produtos e a rápida identificação de produtos defeituosos.

Fábricas: A tecnologia Blockchain também está encontrando aplicação nas fábricas, onde é usada para otimizar a manutenção de máquinas e equipamentos. Registros imutáveis de manutenção e informações de garantia são armazenados na Blockchain, permitindo um acompanhamento preciso do histórico de manutenção e reduzindo o tempo de inatividade não planejado. Além disso, a Blockchain oferece uma maneira segura de verificar a autenticidade das peças de reposição, ajudando a manter a qualidade dos produtos.

Ribeiro et al. (2022) apontam que a tecnologia Blockchain apresenta um conjunto de vantagens consideráveis, mas também enfrenta desafios significativos, tanto no âmbito geral quanto na sua aplicação em setores industriais. Algumas das principais vantagens e desafios relacionados ao uso da Blockchain:

Segurança de Dados: A Blockchain oferece uma camada adicional de segurança de dados, tornando os registros praticamente imutáveis. Isso é crucial para proteger informações confidenciais e críticas, como registros médicos e transações financeiras.

Transparência: A tecnologia Blockchain é conhecida por sua transparência. Todos os participantes da rede têm acesso a um registro idêntico e compartilhado, o que elimina a necessidade de intermediários e reduz a possibilidade de fraudes.

Rastreabilidade: A capacidade de rastrear ativos e informações ao longo de uma cadeia de suprimentos ou processo produtivo é uma das principais vantagens da Blockchain. Isso é especialmente útil em setores que requerem rastreabilidade rigorosa, como o farmacêutico e o alimentício.

Desafios:

Escalabilidade: A escalabilidade é um dos maiores desafios enfrentados pela tecnologia Blockchain. À medida que mais transações são registradas, a rede pode enfrentar problemas de desempenho e aumento no tempo de confirmação das transações.

Consumo de energia: A mineração de criptomoedas e a manutenção de redes Blockchain consomem uma quantidade significativa de energia. Isso levanta preocupações ambientais e de eficiência energética.

Educação e Adoção: A compreensão da tecnologia Blockchain ainda é limitada em muitos setores. A falta de conhecimento e expertise é um obstáculo à adoção generalizada.

Percebe-se que as vantagens do uso da Blockchain abrangem a segurança dos dados, transparência e rastreabilidade dos processos, oferecendo uma camada adicional de proteção para informações críticas e permitindo que todos os participantes da rede tenham acesso a um registro idêntico e compartilhado. No entanto, essa tecnologia também enfrenta desafios significativos, como problemas de escalabilidade, elevado consumo de energia e a necessidade de maior educação e adoção nos diversos setores. Apesar desses obstáculos, a Blockchain pode transformar setores industriais ao aprimorar a segurança, transparência e rastreabilidade, desde que seus desafios sejam abordados de maneira eficaz para garantir uma implementação sustentável e eficiente.

2.2. Controle de Qualidade

O controle de qualidade é um elemento crucial em qualquer setor industrial, e na indústria eletrônica não é exceção. Gonçalves e Gasparotti (2019) destacam que garantir que os componentes eletrônicos atendam aos padrões de qualidade especificados é fundamental para a satisfação do cliente e para a integridade dos produtos eletrônicos fabricados. Entre os vários pontos a serem analisados podemos pontuar:

Segundo Gonçalves e Ferreira (2017), na indústria eletrônica, o controle de qualidade é uma série de procedimentos rigorosos destinados a verificar a conformidade dos componentes eletrônicos com padrões predefinidos. Esses processos abrangem desde a inspeção visual até testes de desempenho e funcionalidade. O objetivo principal é garantir que os componentes eletrônicos sejam fabricados de acordo com as especificações e atendam aos requisitos de segurança e desempenho. Conforme demonstra Boylestad e Nashelsky (2013) no quadro 1:

Quadro 1: Processos de Inspeção e Testes de Controle de Qualidade para Placas de Circuito Impresso (PCBs)

Inspeção de Placas de Circuito Impresso (PCBs)	As placas de circuito impresso são a espinha dorsal de qualquer dispositivo eletrônico. Portanto, a inspeção das PCBs é um dos aspectos críticos do controle de qualidade.
---	--

	Isso envolve a verificação minuciosa de soldagens, trilhas de cobre, conexões e a presença de quaisquer defeitos visíveis.
Verificação de Soldagem	Soldagem de componentes, como chips e conectores, são inspecionadas quanto à integridade e à qualidade da ligação. Soldagens defeituosas podem resultar em problemas de conexão e funcionamento do dispositivo
Testes de Componentes Individuais	Cada componente eletrônico, como resistores, capacitores e semicondutores, passa por testes individuais para garantir que estejam operando dentro das tolerâncias especificadas
Inspeção de Qualidade Visual	A inspeção visual abrange todos os aspectos dos componentes, desde a conformidade com os padrões estéticos até a detecção de defeitos visíveis, como rachaduras ou descolorações
Avaliação de Desempenho Elétrico	Os componentes eletrônicos são testados quanto ao desempenho elétrico, incluindo tensão, corrente, resistência e outros parâmetros elétricos relevantes

Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013).

Para Gonçalves e Gasparotti (2019), os processos de controle de qualidade na fabricação de componentes eletrônicos são abrangentes e detalhados, garantindo que cada componente atenda aos padrões de qualidade. Alguns dos principais processos incluem:

Testes Funcionais: Os componentes eletrônicos passam por testes rigorosos para verificar se desempenham suas funções conforme o esperado. Isso inclui testes de tensão, corrente, frequência e funcionalidades específicas, dependendo do tipo de componente. (Gonçalves; Gasparotti, 2019).

Inspeção Visual: A inspeção visual é realizada para detectar defeitos visíveis, como soldagens defeituosas, contatos soltos ou componentes danificados (Gonçalves; Gasparotti, 2019).

Rastreabilidade: A rastreabilidade é fundamental na indústria eletrônica para garantir que cada componente possa ser rastreado até sua origem, facilitando a identificação de possíveis problemas e recalls, se necessário (Gonçalves; Gasparotti, 2019).

Documentação e Certificação: A documentação de qualidade e certificação, como normas ISO, são essenciais para garantir a conformidade com regulamentos e padrões internacionais (Gonçalves; Gasparotti, 2019).

Esses processos abrangentes de controle de qualidade garantem que os componentes eletrônicos sejam produzidos com a mais alta integridade e conformidade, atendendo às necessidades da indústria eletrônica e dos consumidores.

2.3 Aplicação da Tecnologia Blockchain

Segundo Gonçalves e Ferreira (2017) a aplicação da tecnologia Blockchain na rastreabilidade e no controle de qualidade de componentes eletrônicos representa uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios inerentes à indústria eletrônica. Neste tópico, será explorado como a Blockchain pode ser empregada para aprimorar a rastreabilidade e o controle de qualidade, considerando casos de uso, vantagens e impactos.

Como descreve Santos (2021), a implementação da tecnologia Blockchain oferece vantagens específicas para a rastreabilidade de uma cadeia de produtos. Ao aplicar essa tecnologia no âmbito de componentes eletrônicos podemos verificar certos pontos pelas quais a Blockchain pode aprimorar o processo de rastreabilidade:

Transparente: A Blockchain proporciona uma trilha transparente e imutável da proveniência de cada componente. Isso garante que cada parte seja autêntica e atenda às especificações exigidas.

Tempo Real: O registro de dados na Blockchain é instantâneo, permitindo o acompanhamento em tempo real da movimentação e histórico de cada componente.

Redução de Fraudes e Falsificações: A imutabilidade da Blockchain reduz significativamente a possibilidade de falsificação de componentes eletrônicos. Cada parte é autenticada e rastreada.

Conformidade Facilitada: A verificação da conformidade regulatória é simplificada, pois os dados de rastreabilidade são facilmente acessíveis e confiáveis.

Garantia de Qualidade Reforçada: A rastreabilidade aprimorada permite uma garantia de qualidade mais robusta, uma vez que cada componente pode ser rastreado até a sua origem.

Redução de Defeitos de Qualidade: A capacidade de rastrear componentes ao longo de toda a cadeia de suprimentos pode ajudar a identificar e corrigir problemas de qualidade mais rapidamente, reduzindo a ocorrência de defeitos.

Melhoria na Eficiência de Recall: Em caso de produtos com defeito, a Blockchain facilita a identificação precisa dos produtos afetados, permitindo recalls mais eficientes e específicos.

Auditoria de Qualidade Eficaz: Os registros imutáveis da Blockchain servem como uma base sólida para auditorias de qualidade, permitindo que as empresas demonstrem conformidade.

A aplicação da tecnologia Blockchain nas manufaturas apresenta um impacto significativo no controle de qualidade, conforme indicado por Ribeiro et al. (2022). A rastreabilidade aprimorada oferecida pela Blockchain reforça a garantia de qualidade, permitindo que cada componente seja rastreado até sua origem. Isso leva à redução de defeitos de qualidade, pois problemas podem ser identificados e corrigidos rapidamente ao longo da cadeia de suprimentos. Além disso, em casos de recalls, a Blockchain facilita a identificação precisa dos produtos afetados, tornando o processo mais eficiente. Os registros imutáveis proporcionados pela tecnologia também servem como uma base sólida para auditorias de qualidade, ajudando as empresas a demonstrarem conformidade com os padrões estabelecidos. Dessa forma, a Blockchain não só melhora a qualidade dos produtos, mas também aumenta a eficiência e a transparência nos processos de controle de qualidade.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada nesta pesquisa envolve um estudo de caso em uma empresa do setor eletrônico sediada em Manaus com o nome fictício de Empresa Delta. O estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que permite investigar um fenômeno complexo em seu

contexto natural, sem interferência direta no objeto de estudo (Yin, 2015). Objetiva-se examinar como a implementação da tecnologia Blockchain afeta a rastreabilidade e o controle de qualidade de componentes eletrônicos na empresa em questão.

No que se refere à estratégia de pesquisa, utiliza-se uma abordagem combinada de pesquisa exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória, como descrita por Birochi (2015), ajuda a estabelecer uma visão geral do tópico de pesquisa e a refinar os instrumentos de coleta de dados. A pesquisa descritiva, conforme definida por Gil (2019), tem como objetivo descrever minuciosamente as características do fenômeno em análise, possibilitando comparações entre diferentes cenários.

Para a coleta de dados, utilizou-se de informações documentais fornecidas pela empresa, tornando-se o objeto de presente estudo. Por acessibilidade, houve a cooperação de dois funcionários de Tecnologia da Informação (T.I.), no período de maio a junho de 2024, disponibilizando dados sobre o objeto de estudo. A análise de dados inclui informações referentes ao ano de 2020 na empresa, período em que se concentra na avaliação dos efeitos da tecnologia Blockchain sobre a rastreabilidade e o controle de qualidade de componentes eletrônicos.

A base teórica é construída por meio de uma pesquisa em bases de dados relevantes, como Scielo, Google Scholar e Periódicos da Capes. Utilizou-se termos-chave como "Componentes Eletrônicos", "Controle de Qualidade", "Rastreabilidade" e "Blockchain" para orientar a pesquisa. Foram selecionados artigos e fontes que estão alinhados com o escopo do tema de pesquisa, com destaque para trabalhos relacionados ao uso da tecnologia Blockchain na rastreabilidade de componentes eletrônicos.

Neste estudo, adota-se uma análise metodológica baseada sobre a pesquisa documental, uma vez que o foco principal está na análise de dados mensuráveis relacionados à rastreabilidade e ao controle de qualidade de componentes eletrônicos na perspectiva do Blockchain. A mensuração e comparação de dados coletados, favoreceu uma base sólida para a análise de resultados (Birochi, 2015).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A implementação de Blockchain e sistemas avançados de rastreabilidade na empresa do Distrito Industrial de Manaus foi detalhadamente descrita durante a coleta de dados, focando

em processos cruciais que visam assegurar integridade, segurança e transparência em todas as etapas da produção e distribuição de produtos.

Este estudo destaca como tais tecnologias são aplicadas para otimizar a gestão operacional e fortalecer o controle de qualidade ao longo da cadeia produtiva. Inicialmente, o processo será apresentado a seguir em um fluxograma (Figura 1), ilustrando de forma clara e concisa cada etapa envolvida na implementação dessa tecnologia.

Figura 1 - Fluxograma do controle de Rastreabilidade no Processo de Produção.



Fonte: Dados Documentais Empresa Delta (2024).

O processo se inicia com a criação das ordens de produção solicitadas pelo cliente, onde cada pedido é meticulosamente registrado. Essa etapa é crucial para iniciar o rastreamento de cada produto desde sua origem. A vinculação precisa entre o pedido do cliente e a ordem específica é essencial para garantir que todas as etapas subsequentes possam ser rastreadas de volta ao pedido original, assegurando precisão e transparência.

Um aspecto fundamental é a geração de números seriais únicos para cada produto por meio da ordem de produção. Esse processo é facilitado pela integração dos sistemas MES (Manufacturing Execution System) e Protheus, garantindo que cada item seja identificado individualmente ao longo de seu ciclo de vida. Essa abordagem não apenas fortalece a rastreabilidade, mas também suporta a gestão eficiente de inventário e controle de qualidade, conforme discutido por autores que enfatizam a importância da gestão eficiente de cadeias de

suprimentos para garantir competitividade no mercado globalizado (Brown, 2020; Jackson, 2018).

A produção diária é meticulosamente planejada e registrada, especificando detalhes como a linha de produção utilizada e os produtos específicos a serem fabricados. Durante a alimentação da linha de produção com componentes, a rastreabilidade assegura que os componentes corretos sejam utilizados em cada fase do processo, minimizando erros, e garantindo consistência na qualidade final do produto.

A coleta contínua de dados de produção pelo sistema AOI (Automatic Optical Inspection) é essencial para monitorar e verificar se os produtos estão sendo fabricados de acordo com os padrões estabelecidos. Esta prática não apenas suporta a conformidade regulatória, mas também permite ajustes em tempo real para maximizar a eficiência operacional e a satisfação do cliente.

Durante o controle de qualidade, as placas são monitoradas hora a hora, com inspeções manuais realizadas para identificar quaisquer defeitos ou problemas de qualidade. Esse rigoroso processo de inspeção é essencial para garantir que apenas produtos de alta qualidade avancem para as etapas seguintes da produção.

A rastreabilidade é mantida em cada estação de produção, onde se verifica se os produtos passaram nos testes específicos antes de prosseguirem para a próxima etapa. Esse controle assegura que apenas produtos que atendem aos critérios estabelecidos sejam liberados para a próxima fase, evitando retrabalhos e garantindo eficiência operacional.

Após a produção, os produtos acabados são embalados e as informações detalhadas sobre a produção são enviadas para a base de dados do cliente. Essas informações permitem que o cliente acompanhe o status de seus pedidos e verifique todas as etapas pelas quais o produto passou até a entrega final.

No setor de expedição, os produtos são recebidos e associados a uma nota fiscal que detalha o conteúdo da remessa. Isso facilita a rastreabilidade fiscal e logística, conforme exigido por regulamentações e práticas recomendadas por especialistas em gestão de cadeias de suprimentos (Black, 2020; Green, 2017). A nota fiscal é registrada e um romaneio de carga é gerado, especificando os detalhes do transporte, incluindo transportadora, veículo e motorista responsável.

Logo após, o produto é entregue ao cliente, afirmando o ciclo de rastreabilidade. O cliente pode verificar todas as etapas pelas quais o produto passou, desde a produção até a entrega. E, caso ocorram defeitos ou não tenham suas especificações conforme o solicitado, a

empresa possui integrado o processo de RMA, (Return Merchandise Authorization) sendo essencial para gerenciar desses de produtos. Nela, o RMA é implementado para garantir que todos os produtos retornados sejam devidamente autorizados e que o motivo da devolução seja registrado. Isso não apenas permite o retorno eficiente dos produtos para reparo ou substituição, mas também fornece dados valiosos para melhorar os processos de produção e evitar problemas recorrentes, conforme preconizado por especialistas em gestão de qualidade (Hall, 2020; Robinson, 2018).

Em seguida, será apresentada uma imagem capturada do Sistema SFC (Shop Floor Control) utilizado pela empresa Delta. Este sistema é essencial para monitorar e gerenciar as operações no chão de fábrica, permitindo um controle preciso e eficiente de todos os processos produtivos. A figura 2 ilustra como o SFC é empregado para garantir a integração e o rastreamento contínuo da produção – informação documental de tela –, evidenciando seu papel fundamental na otimização da gestão operacional e na melhoria da qualidade dos produtos.

Figura 2 - Captura do sistema SFC (Shop Floor Control)

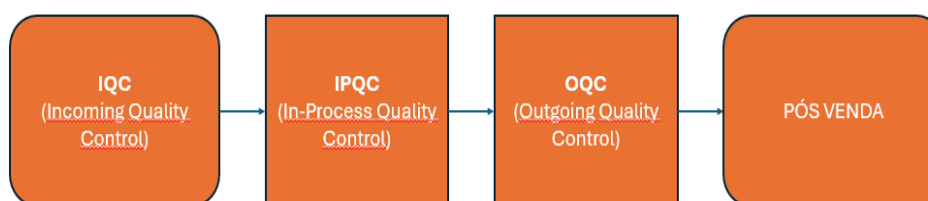
Ordem	Estação	Data e Hora	Serial Lido	Estação	Status	Descrição	Linha	Endereço IP	Tipo de Estação
1	2572	23/04/2024 - 01:47:08	T0123456789	TR7500_SMD	Passado	PASS	SMD - LINHA 16	10.0.0.1	Posto Máquina SMD
1	2575	03/05/2024 - 10:03:23	T0123456789	L17_MIP_ETIQUETA-INDIVIDUAL_02	Passado	PASS	IM - LINHA 17	10.0.0.1	Posto Genérico
2	2573	03/05/2024 - 10:05:19	T0123456789	L17_CR_RFTTEST	Passado	PASS	IM - LINHA 17	10.10.0.2	Posto de Teste
3	2575	03/05/2024 - 10:07:20	T0123456789	L17_CR_VOICETEST_01	Passado	PASS	IM - LINHA 17	10.10.0.3	Posto de Teste
5	2575	03/05/2024 - 10:10:58	T0123456789	L17_CR_FUNCTEST_1	Passado	PASS	IM - LINHA 17	10.10.0.4	Posto de Teste
6	2573	03/05/2024 - 10:12:13	T0123456789	L17_EMB	Passado	PASS	IM - LINHA 17	10.10.0.5	Posto de Embalagem

Fonte: Dados Documentais da Empresa Delta (2024).

Essas práticas também ocorrem com o apoio do Setor de Controle de que desempenha um papel crucial ao verificar rigorosamente os materiais e componentes recebidos dos fornecedores. Esta etapa não apenas garante que apenas materiais de alta qualidade sejam utilizados na produção, mas também evita problemas posteriores ao detectar falhas desde o início do processo produtivo. Autores como Jackson (2018) destacam a importância do IQC para manter a consistência e a eficiência na gestão da cadeia de suprimentos, aspecto fundamental para sustentar a competitividade no mercado global.

Para ilustrar o processo de controle de qualidade adotado pela empresa Delta, apresenta-se a seguir um fluxograma detalhado (Figura 3). Este fluxograma permitirá uma visão clara e compreensiva de cada etapa envolvida, desde a inspeção inicial dos materiais recebidos até a verificação final dos produtos acabados. Será discutida cada fase do processo, destacando as práticas e metodologias implementadas pela empresa para assegurar a excelência e a conformidade dos produtos com os padrões estabelecidos.

Figura 3 - Fluxograma do processo de Controle de Qualidade



Fonte: Dados documentais da Empresa Delta (2024).

A análise do controle de qualidade da empresa Delta inicia-se com o IQC que trata o Controle de Qualidade de Entrada. Esta etapa fundamental que envolve a inspeção e a verificação dos materiais recebidos dos fornecedores antes de serem utilizados na produção. O objetivo do IQC é identificar e eliminar possíveis defeitos ou não conformidades nos materiais, logo no início do processo, garantindo que apenas componentes de alta qualidade sejam utilizados na fabricação dos produtos. Este controle rigoroso é essencial para manter a integridade e a qualidade ao longo de toda a cadeia produtiva.

Durante o processo de fabricação, o Controle de Qualidade em Processo (IPQC) é implementado para monitorar continuamente cada etapa da produção. Inspeções detalhadas são realizadas para garantir que os produtos estejam sendo fabricados de acordo com as especificações estabelecidas e que os padrões de qualidade sejam mantidos. Essa abordagem não só minimiza desperdícios e retrabalhos, mas também permite ajustes em tempo real para maximizar a eficiência operacional, conforme discutido por Lee (2020) ao enfatizar a importância do IPQC na detecção precoce de problemas.

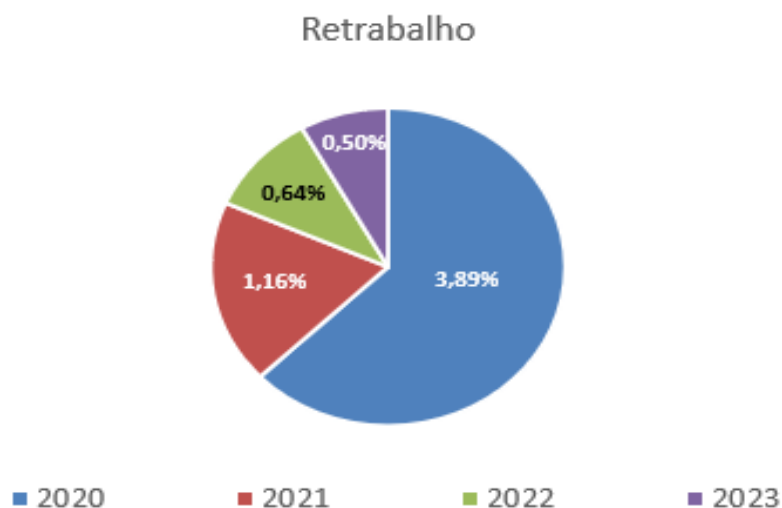
Ao final do processo produtivo, o Controle de Qualidade Out-going (OQC) verifica os produtos acabados antes da sua expedição aos clientes. Essa etapa final de inspeção assegura que os produtos estejam livres de defeitos, atendam às expectativas dos clientes e estejam em conformidade com as normas de qualidade estabelecidas. Autores como Green (2017) sublinham que o OQC não só valida a qualidade dos produtos finais, mas também fortalece a confiança do cliente na marca, contribuindo para a reputação da empresa no mercado.

Além dessas etapas principais, o processo de controle de qualidade continua no pós-venda, onde a empresa monitora a satisfação do cliente, coleta *feedback* e realiza análises de desempenho dos produtos. Essa prática não apenas permite melhorias contínuas, mas também apoia uma cultura de qualidade e excelência operacional.

Reforçam o compromisso da empresa em utilizar tecnologias avançadas, como Blockchain associados pelos sistemas de rastreabilidade, para fortalecer a segurança, integridade e eficiência em sua operação. A interconexão desses processos de controle de qualidade não só garante a conformidade com padrões rigorosos, mas também promove uma gestão robusta da qualidade ao longo de toda a cadeia produtiva, alinhando-se com as melhores práticas defendidas por especialistas em gestão da qualidade e operações industriais. Além de proporcionar vantagens competitivas significativas, essas iniciativas posicionam a empresa como líder na implementação de práticas inovadoras dentro do setor industrial em Manaus.

Ressalta-se que, o retrabalho é um processo crítico em qualquer empresa, referindo-se à necessidade de corrigir ou refazer produtos que não atenderam aos padrões de qualidade na primeira tentativa (Gráfico 1). Este processo não só implica em custos adicionais, mas também pode impactar a eficiência operacional e a satisfação do cliente. Neste contexto, Apresenta-se um gráfico que ilustra a porcentagem de retrabalho na Empresa Delta ao longo dos anos.

Gráfico 1 - Porcentagem de retrabalho ao longo dos anos 2020-2023



Fonte: Dados documentais da Empresa Delta (2024).

Em 2020, o percentual de retrabalho foi de 3,89%, indicando que uma parcela considerável da produção necessitava de correções. Com a adoção de sistemas de rastreabilidade e Blockchain, houve uma melhora significativa, reduzindo o percentual para

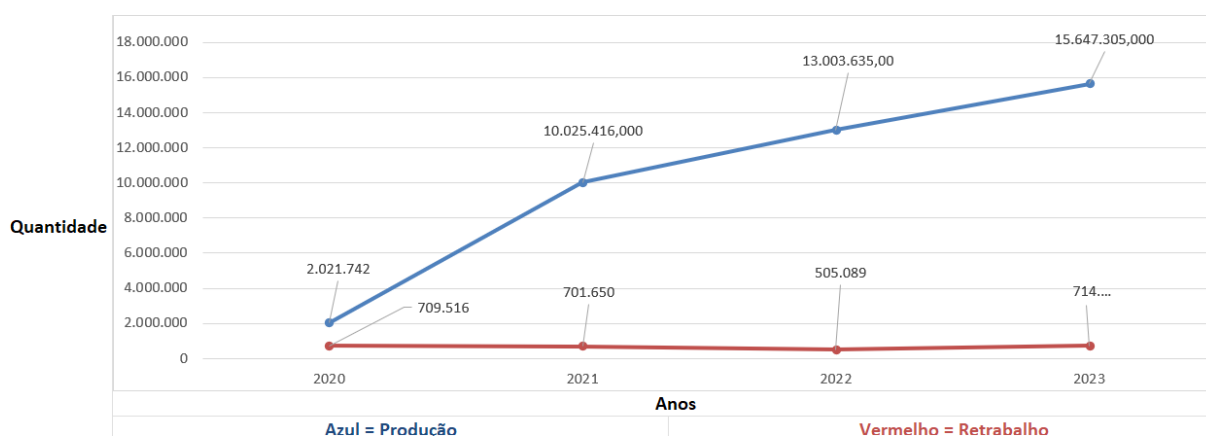
1,16% em 2021. Essa tendência continuou nos anos seguintes, chegando a apenas 0,50% em 2023.

Essa redução no percentual de retrabalho pode ser atribuída a vários fatores:

1. **Rastreabilidade e Blockchain:** A implementação dessas tecnologias garantiu a transparência e segurança em todas as etapas do processo produtivo. A rastreabilidade precisa permitiu a identificação rápida de defeitos e a realização de ajustes em tempo real, conforme destacado por autores como Jackson (2018) e Brown (2020).
2. **Sistemas de Inspeção Avançados:** A utilização de sistemas de inspeção automática, como o AOI (Automatic Optical Inspection), ajudou na detecção precoce de defeitos e na manutenção dos padrões de qualidade, conforme discutido por Lee (2020).
3. **Feedback Pós-venda e Processos de RMA:** A empresa coletou feedback dos clientes e integrou o processo de RMA (Return Merchandise Authorization), permitindo uma análise detalhada dos motivos das devoluções e implementando melhorias contínuas nos processos de produção (Hall, 2020; Robinson, 2018).

No gráfico 2, pode-se visualizar a comparação da produção versus o retrabalho ao longo dos anos 2020-2023:

Gráfico 2 - Comparação da Produção x Retrabalho ao longo dos anos 2020-2023



Fonte: Dados documentais da Empresa Delta (2024).

Em 2020, a produção foi de 2.021.742 peças, com 709.516 peças retrabalhadas. Em 2023, a produção aumentou para 15.647.305 peças, mas o número de peças retrabalhadas foi apenas 714.929. Isso demonstra que, apesar do aumento na produção, o número de retrabalhos não cresceu na mesma proporção, refletindo melhorias na qualidade e eficiência do processo produtivo.

Fatores que contribuíram para essa melhora incluem:

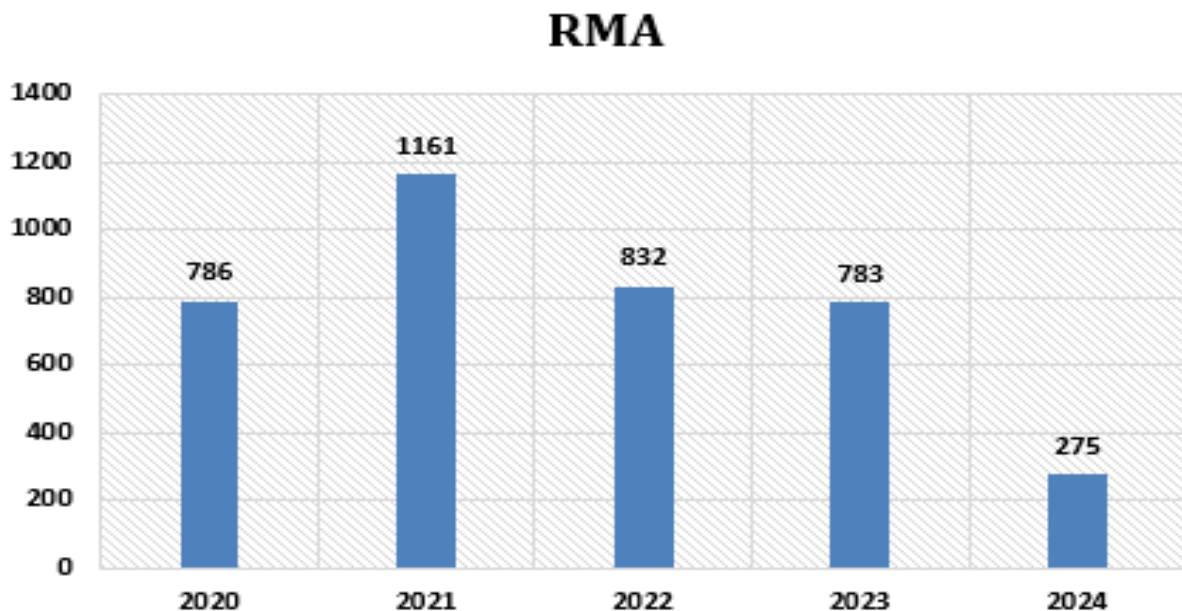
1. **Integração de Sistemas MES e Protheus:** A geração de números seriais únicos para cada produto facilitou a rastreabilidade e o controle de qualidade. A integração desses sistemas permitiu a gestão eficiente de inventário e controle de produção (Jackson, 2018; Brown, 2020).

2. **Planejamento e Registro Meticuloso da Produção:** A produção diária foi planejada e registrada em detalhes, assegurando o uso correto de componentes e minimizando erros durante o processo produtivo.
3. **Controle de Qualidade em Processo (IPQC) e Out-going (OQC):** Inspeções contínuas durante a produção e verificações finais garantiram que os produtos estivessem conforme as especificações, reduzindo o retrabalho e aumentando a satisfação do cliente (Lee, 2020; Green, 2017).

O processo de Return Material Authorization (RMA) é um procedimento essencial para o gerenciamento de devoluções e trocas de produtos defeituosos ou insatisfatórios dentro de uma empresa. Ele envolve a autorização formal para o cliente devolver um item, permitindo que a empresa controle e monitore eficientemente o fluxo de materiais retornados.

Neste contexto, apresenta-se o gráfico 3, detalhando dados de RMA da empresa Delta ao longo dos anos.

Gráfico 3 - Quantitativo de RMA ao longo dos anos 2020-2024



Fonte: Dados documentais da Empresa Delta (2024).

Em 2020, a empresa registrou 786 RMAs, um número que aumentou para 1161 em 2021. Essa elevação pode ser atribuída a um crescimento significativo na produção, que foi de 2.021.742 peças em 2020 para 10.025.416 em 2021. Apesar do aumento inicial nos RMAs, a implementação de melhorias nos processos de qualidade e rastreabilidade contribuiu para a subsequente diminuição dos RMAs nos anos seguintes.

1. Crescimento Inicial e Aumento de RMA em 2021:

- **Expansão Rápida da Produção:** Em 2021, a produção aumentou dramaticamente, o que pode ter inicialmente sobrecarregado os processos de controle de qualidade, resultando em um aumento no número de RMAs.
- **Implementação de Novas Tecnologias:** Durante este período, a empresa implementou sistemas de rastreabilidade e Blockchain, que, embora eficazes, podem ter necessitado de ajustes iniciais para otimização completa (Jackson, 2018; Brown, 2020).

2. Redução Gradual dos RMAs:

- **Otimização de Processos:** A redução dos RMAs para 832 em 2022 e 783 em 2023 indica que as melhorias implementadas começaram a mostrar resultados tangíveis. A integração eficiente de sistemas MES e Protheus, bem como a adoção de práticas rigorosas de controle de qualidade, foram fatores críticos para essa melhoria (Lee, 2020).
- **Feedback e RMA Integrado:** O uso do feedback pós-venda e a integração do processo de RMA permitiram uma análise detalhada dos problemas e a implementação de correções eficientes, conforme discutido por Robinson (2018) e Hall (2020).

3. Redução Significativa em 2024:

- **Consolidação das Melhores Práticas:** Em 2024, o número de RMAs caiu drasticamente para 275, evidenciando a consolidação das melhores práticas de qualidade e rastreabilidade. Essa diminuição reflete uma maturidade nos processos de produção e controle de qualidade, resultando em produtos de alta confiabilidade.

A implementação de uma rastreabilidade precisa, com a vinculação exata entre os pedidos dos clientes e as ordens de produção, facilitada pela geração de números seriais únicos, permitiu um acompanhamento detalhado de cada produto desde a produção até a entrega, assegurando que quaisquer defeitos fossem rapidamente identificados e corrigidos. A utilização de sistemas de inspeção contínua, como o AOI (Automatic Optical Inspection), ajudou na detecção precoce de defeitos durante a produção, minimizando a necessidade de retrabalhos e reduzindo o número de produtos defeituosos que chegavam aos clientes (Lee, 2020).

Além disso, a implementação de controle de qualidade em várias etapas, incluindo o Controle de Qualidade em Processo (IPQC) e o Controle de Qualidade Out-going (OQC), garantiu inspeções rigorosas em todas as fases, desde a entrada de materiais até a expedição dos produtos acabados, reduzindo o retrabalho e assegurando que os produtos entregues estivessem em conformidade com os mais altos padrões de qualidade (Green, 2017).

Para proporcionar uma visão detalhada dos modelos mais frequentemente afetados pelo retrabalho na empresa Delta, Apresenta-se a seguir a tabela 1 que lista os principais modelos envolvidos ao longo de um período específico. Essa tabela será essencial para identificar padrões e tendências específicas relacionadas aos modelos de produtos que necessitam de maior atenção em termos de qualidade e processos. Discutiremos cada modelo listado, analisando os motivos subjacentes ao retrabalho observado e explorando as estratégias implementadas pela empresa para mitigar esses problemas e melhorar a eficiência operacional.

Tabela 1 - Modelos mais recorrentes no Retrabalho ao longo dos anos 2020-2024

Ano	Classificação	Modelo	Familia	Quantidade
2020	1	9429/3B1-010479	CONTROLE REMOTO	151732
2020	2	2000070060004	CONVERSORES	120865
2020	3	11A0ICB0.M28C150PRS	CONVERSORES	75373
2021	1	050901100J3	CONTROLE REMOTO	169484
2021	2	914017222	CONVERSORES	125172
2021	3	42076000000001	CONVERSORES	77850
2022	1	<i>F1560101040</i>	CONTROLE REMOTO	111133
2022	2	5-9B1R959041205-	CONTROLE REMOTO	84703
2022	3	100301030N03002	CONVERSORES	52683
2023	1	000N00113010020	CONVERSORES	81355
2023	2	<i>F1560101040</i>	CONTROLE REMOTO	72868
2023	3	611197189	CONVERSORES	66241
2024	1	91-33B4R997920-0	CONTROLE REMOTO	155924
2024	2	4GANPV-COX5X-2C2-4GT12-7	ROTEADOR	20749
2024	3	AHDH-N1-9KC6XZ	ROTEADOR	17237

Fonte: Dados documental da Empresa Delta (2024).

A análise dos dados de RMA por modelos ao longo dos anos 2020 a 2024 revela padrões distintos em termos de problemas enfrentados por diferentes famílias de produtos, como controles remotos, conversores e roteadores. A rastreabilidade e a tecnologia Blockchain desempenham um papel crucial na identificação e resolução dessas questões, assegurando a integridade e a eficiência do processo produtivo.

A rastreabilidade precisa permitiu identificar rapidamente esses problemas, facilitando correções e prevenindo reincidências, conforme discutido por Robinson (2018) e Jackson (2018).

Os roteadores começaram a aparecer nos dados de RMA em 2024. O modelo 4GANPV-COX5X-2C2-4GT12-7 registrou 20.749 unidades com 7 casos de "Revisão de Etiqueta", e o modelo AHDH-N1-9KC6XZ teve 17.237 unidades com 7 casos de "Troca de Manual". A

implementação de Blockchain garantiu a integridade dos dados de produção e facilitou a rápida identificação e correção dos problemas, como destacado por Hall (2020) e Brown (2020).

Para entender melhor os fatores que contribuem para o retrabalho na empresa Delta, apresentaremos a seguir uma tabela que detalha os principais motivos identificados ao longo dos anos. Esta tabela fornecerá uma visão abrangente das causas mais frequentes de retrabalho, permitindo uma análise mais profunda e direcionada das áreas que necessitam de melhorias. Discutiremos os dados apresentados, explorando as razões por trás desses problemas e as ações corretivas adotadas pela empresa para reduzir o retrabalho e aumentar a eficiência dos processos produtivos.

Tabela 2 - Motivos mais recorrentes no Retrabalho ao longo dos anos 2020-2024

Ano	Classificação	Motivo	Quantidade
2020	1	Corpo Estranho	13
2020	2	Fonte aberta	6
2020	3	Remessa para conserto. NF:000.000.123	5
2021	1	Fonte aberta	16
2021	2	Corpo Estranho	13
2021	3	ETIQUETA DUPLICADA	11
2022	1	Fonte aberta	29
2022	2	Corpo Estranho	19
2022	3	QUEBRA DE CAIXA	12
2023	1	Fonte aberta	41
2023	2	Corpo Estranho	24
2023	3	TROCA DA ETIQUETA COLETIVA	10
2024	1	RETRABALHO	7
2024	2	REVISÃO DE ETIQUETA	7
2024	3	TROCA DE MANUAL	7

Fonte: Dados documental da Empresa Delta (2024).

Os controles remotos apresentaram diversos problemas ao longo dos anos. Em 2020, o modelo em primer registrou 151.732 unidades com 13 casos de "Corpo Estranho". Em 2021, o modelo 050901100J3 teve 169.484 unidades com 16 casos de "Fonte aberta". Em 2022, o modelo F1560101040 registrou 111.133 unidades com 29 casos de "Fonte aberta". Em 2023, o modelo F1560101040 novamente enfrentou 24 casos de "Corpo Estranho" em 72.868 unidades. Em 2024, o modelo 91-33B4R997920-0 teve 155.924 unidades com 7 casos de "Retrabalho".

Os conversores também apresentaram problemas recorrentes. Em 2020, o modelo 2000070060004 registrou 120.865 unidades com 6 casos de "Fonte aberta". Em 2021, o modelo

914017222 teve 125.172 unidades com 13 casos de "Corpo Estranho". Em 2022, o modelo 100301030N03002 registrou 52.683 unidades com 12 casos de "Quebra de Caixa". Em 2023, o modelo 000N00113010020 teve 81.355 unidades com 41 casos de "Fonte aberta".

Os motivos para os RMA variaram ao longo dos anos, destacando a importância da rastreabilidade e das inspeções contínuas para a manutenção da qualidade. A detecção precoce de defeitos e a aplicação de correções específicas são facilitadas pela rastreabilidade precisa e pelo uso de tecnologias avançadas.

O problema de "Fonte aberta" foi um dos mais recorrentes. Em 2020, afetou 6 unidades de conversores. Em 2021, 16 unidades de controles remotos foram afetadas. Em 2022, houve um aumento significativo, com 29 unidades de controles remotos registrando o problema. Em 2023, 41 unidades de conversores foram afetadas. A aplicação de sistemas de inspeção contínua, como o AOI, ajudou na detecção precoce e na redução desses problemas, conforme destacado por Lee (2020).

O motivo "Corpo Estranho" apareceu consistentemente ao longo dos anos. Em 2020, 13 unidades de controles remotos foram afetadas. Em 2021, 13 unidades de conversores registraram o problema. Em 2022, 19 unidades de controles remotos foram afetadas. Em 2023, 24 unidades de controles remotos apresentaram o mesmo problema. A rastreabilidade exata permitiu a identificação rápida e a correção eficiente desses defeitos, conforme discutido por Robinson (2018) e Jackson (2018).

Problemas relacionados a etiquetas também foram registrados. Em 2021, 11 unidades de conversores tiveram "Etiqueta Duplicada". Em 2023, 10 unidades de conversores registraram "Troca da Etiqueta Coletiva". Em 2024, 7 unidades de roteadores tiveram "Revisão de Etiqueta". A aplicação de Blockchain garantiu a integridade e a autenticidade dos registros, facilitando a rápida correção desses problemas, conforme enfatizado por Hall (2020) e Brown (2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como principal objetivo investigar e descrever a implementação de tecnologias de Blockchain e rastreabilidade em uma empresa do Distrito Industrial de Manaus, focando em processos de produção e controle de qualidade. A proposta foi analisar como essas tecnologias podem otimizar a gestão operacional, aumentar a segurança, e garantir a integridade e a transparência em todas as etapas da cadeia produtiva. Além disso, buscou-se compreender

o impacto dessas implementações na redução de retrabalhos e na melhoria da eficiência produtiva.

Os resultados obtidos demonstram que a integração de Blockchain e sistemas avançados de rastreabilidade trouxe melhorias significativas para a gestão de produção da empresa Delta. A implementação dessas tecnologias permitiu a geração de números seriais únicos para cada produto, facilitando o rastreamento preciso desde a criação das ordens de produção até a entrega final ao cliente. Esse nível de detalhamento e precisão contribuiu para a identificação rápida de defeitos, possibilitando ajustes em tempo real e minimizando erros ao longo do processo produtivo.

A análise dos dados revelou uma redução notável no percentual de retrabalho ao longo dos anos. Em 2020, a empresa registrou um percentual de retrabalho de 3,89%, que diminuiu para 1,16% em 2021 e para 0,50% em 2023. Essa diminuição pode ser atribuída à adoção de sistemas de inspeção automática, como o AOI (Automatic Optical Inspection), e ao controle rigoroso de qualidade em todas as etapas da produção. A implementação de sistemas de rastreabilidade e Blockchain também desempenhou um papel crucial na redução dos retrabalhos, conforme evidenciado pela análise comparativa da produção versus retrabalho ao longo dos anos.

O estudo também identificou os principais motivos de retrabalho e RMA, como problemas com "Fonte aberta" e "Corpo Estranho". A rastreabilidade permitiu a detecção precoce desses problemas e a aplicação de correções específicas. Além disso, a análise detalhada dos modelos mais afetados pelo retrabalho forneceu insights valiosos para a melhoria contínua dos processos produtivos. A empresa conseguiu, através da rastreabilidade e do feedback pós-venda, implementar ações corretivas eficientes, resultando em uma significativa redução no número de RMAs nos últimos anos.

Uma das principais dificuldades encontradas no decorrer da implementação foi a adaptação inicial dos sistemas de Blockchain e rastreabilidade, que demandou tempo e ajustes para otimização completa. No entanto, a persistência e a contínua melhoria dos processos mostraram-se fundamentais para o sucesso da implementação. A integração de sistemas como MES (Manufacturing Execution System) e Protheus foi essencial para garantir a rastreabilidade precisa e o controle eficiente de qualidade e inventário.

Os resultados deste estudo têm importantes implicações tanto para a academia quanto para a sociedade. Na academia, a pesquisa contribui para o corpo de conhecimento sobre a aplicação de tecnologias de Blockchain e rastreabilidade na gestão de produção e controle de

qualidade, oferecendo um estudo de caso detalhado que pode servir de referência para futuras pesquisas. Para a sociedade, a adoção dessas tecnologias por empresas industriais pode resultar em produtos de maior qualidade, maior transparência e confiabilidade nos processos produtivos, beneficiando consumidores e fortalecendo a competitividade das empresas no mercado global.

Sugestões para futuras pesquisas incluem a exploração de outras tecnologias emergentes que possam complementar o uso de Blockchain e rastreabilidade, como a inteligência artificial e a Internet das Coisas (IoT). Investigar a integração dessas tecnologias com os sistemas atuais poderia revelar novas oportunidades para otimização e inovação na gestão de produção e controle de qualidade. Além disso, estudos comparativos com outras empresas e setores poderiam fornecer uma visão mais ampla sobre a eficácia e os desafios dessas implementações.

Em suma, a implementação de Blockchain e sistemas avançados de rastreabilidade na empresa Delta demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a gestão de produção, reduzir retrabalhos e aumentar a eficiência operacional. As tecnologias adotadas permitiram um controle preciso e detalhado de cada etapa do processo produtivo, contribuindo para a entrega de produtos de alta qualidade e para a satisfação dos clientes. A pesquisa oferece insights valiosos para empresas e pesquisadores interessados em explorar e implementar essas tecnologias em diferentes contextos industriais.

6. REFERÊNCIAS

- BRADDICK, K.; BAILEY, A.; RAMSDEN, D. **Cryptoassets taskforce: final report**. 2018.
- BIROCHI, Renê. **Metodologia do Estudo e de Pesquisa em Administração**. CAPES: UAB, 2015.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- BUTERIN, Sergey A.; RIVERO, AE Choque. On inverse problem for a convolution integro-differential operator with Robin boundary conditions. **Applied Mathematics Letters**, v. 48, p. 150-155, 2015.
- CARVALHO, Leonardo Rodrigues. **Tecnologia Blockchain e as suas possíveis aplicações no processo de comunicação científica**. 2018. 95 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biblioteconomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CHAPMAN, James; WILKINS, Carolyn A. Crypto" money": perspective of a Couple of Canadian Central Bankers. **Bank of Canada Staff Discussion paper**, 2018;
- GLASER, Florian. **Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for Blockchain enabled system and use case analysis**. 2017.

- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GONÇALVES, L. R.; GASPAROTTO, A. M. S. UM ESTUDO SOBRE GESTÃO PELA QUALIDADE TOTAL NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 428–440, 2019. DOI: 10.31510/infa.v16i2.636. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/636>>. Acesso em: 12 out. 2023.
- GONÇALVES, D. T.; FERREIRA, D. Indicadores de performance: estudo de caso no controle de perdas de componentes em uma linha de produção. Refas - **Revista Fatec Zona Sul**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 23–40, 2017. Disponível em: <<https://www.revistarefas.com.br/RevFATECZS/article/view/83>>. Acesso em: 13 out. 2023.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **BITCOIN.ORG**, 2008. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2023.
- RIBEIRO, R. W.; DA SILVA JUNIOR, R. E.; JUNIOR, S. M.; GERIBELLO, R. S.; AMARANTE, M. DOS S. PAPEL DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 8, n. 1, p. 46-56, 22 abr. 2022.
- SANTOS, G. C. T. dos; GOMES, R. O.; ALBERTE, E. P. V.; CARNEIRO, A. P. . Blockchain para a gestão de suprimentos na construção: um panorama acerca da literatura. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, 3., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–13. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.590. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/590>>. Acesso em: 12 out. 2023.
- YIN, R. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 2. Ed. São Paulo: Artmed editora, 2015.
- YANO, Inácio Henrique *et al.* Modelo de rastreamento bovino via Smart Contracts com tecnologia Blockchain. **Embrapa Informática Agropecuária-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2018.
- TASCA, Paolo; TESSONE, Claudio J. A taxonomy of Blockchain technologies: principles of identification and classification. *Ledger 4* (2019). **arXiv preprint ArXiv:1708.04872**, 2019.
- ZHENG, Zibin *et al.* An overview of Blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In: **2017 IEEE international congress on big data (BigData congress)**. Ieee, 2017. p. 557-564.
- KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de Marketing**. Pearson. 2016
- HORNGREN, Charles T.; DATAR, Srikant M. ; RAJAN, Madhav V. **Contabilidade de Custos**. Pearson Brasil, 2018.