



**Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e  
Automação de Processos de Mineração (PROFICAM)  
Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Associação Instituto Tecnológico Vale (ITV)**

**Dissertação**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA  
*BLOCKCHAIN* PARA MONITORAMENTO DE PLCS**

**Karine Nogueira Oliveira**

**Ouro Preto  
Minas Gerais, Brasil  
2022**

**Karine Nogueira Oliveira**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA  
*BLOCKCHAIN* PARA MONITORAMENTO DE PLCS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração da Universidade Federal de Ouro Preto e do Instituto Tecnológico da Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo de Oliveira

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48e Oliveira, Karine Nogueira.  
Estudo da viabilidade da utilização da tecnologia Blockchain para monitoramento de PLCs [manuscrito]: monitoramento de PLC utilizando a tecnologia Blockchain. / Karine Nogueira Oliveira. - 2023.  
49 f.: il.: color.. (Série: NA)

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Mestrado Profissional em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração. Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração.

Área de Concentração: Engenharia de Controle e Automação de Processos Mineraiis.

ISBN: NA.

ISSN: NA.

1. Programmable Logic Controller (PLC). 2. Blockchains (Base de dados). 3. Segurança da informação. 4. Proteção de dados. 5. Aquisição de dados - Confiabilidade. I. Oliveira, Ricardo Augusto Rabelo de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título. CDU 681.5:622.2

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
PROGR. POS GRAD. PROF. INST. CONT. E AUT.  
PROCESSOS DE MIN.



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Karine Oliveira Nogueira**

**Estudo da viabilidade da utilização da tecnologia blockchain para monitoramento de PLC's**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração (PROFICAM), Convênio Universidade Federal de Ouro Preto/Associação Instituto Tecnológico Vale - UFOP/ITV, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Controle e Automação na área de concentração em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração

Aprovada em 17 de janeiro de 2023

**Membros da banca**

Doutor - Ricardo Augusto Rabelo - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

Doutor - Saul Emanuel Delabrida Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Doutor - Fernando Augusto Correia - Universidade Federal de São João del-Rei

Ricardo Augusto Rabelo Oliveira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 02/02/2023



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nazário Coelho, COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INST. CONTROLE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DE MINERAÇÃO**, em 07/02/2023, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0470403** e o código CRC **B0E4E6A0**.

*A minha vó Evergista um exemplo  
para mim.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, que nos dá a dávida da vida e ne permitiu estar aqui para concluir este trabalho, ele é o responsável por nos dar exatamente o que precisamos. Agradeço ao meu esposo, Amiraldo Soares, que esteve ao meu lado, me incentivou e me apoiou, acreditou em mim e em meu objetivo. Agradeço aos meus pais e irmão por se fazerem presentes mesmo que à distância, por apoiarem meus sonhos e acreditarem sempre em minha capacidade. Agradeço ao meu orientador Ricardo Rabelo e ao Charles Garrocho, pelo conhecimento transmitido, auxílio, orientação e pela paciência e dedicação. Agradeço aos meus colegas de trabalho que compartilharam discussões e conhecimento, me incentivaram durante esta caminhada. Meu muito obrigada à Universidade, que me deu o conhecimento necessário para concluir meu projeto e a todos que fizeram parte direta ou indiretamente deste trabalho. Agradeço à Vale que me deu a oportunidade de adquirir mais conhecimento através do presente mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); e da Vale SA.

*“Feliz aquele que transfere o que  
sabe e aprende o que ensina”  
(Cora Coralina)*

## Resumo

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

### ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* PARA MONITORAMENTO DE PLCS

Karine Nogueira Oliveira

Janeiro, 2023

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo Oliveira

A necessidade de garantir dados e informações rastreáveis, imutáveis e auditáveis em um sistema de pesagem dinâmica, desenvolvido em um controlador lógico programável (PLC), aumenta a confiança das informações e a segurança dos dados em um sistema de controle industrial. A utilização da tecnologia *Blockchain* por ser disruptiva e descentralizada atrai a atenção no contexto industrial. Sua integração, através de um contrato inteligente, para monitorar controladores lógicos programáveis, possibilita rastrear e auditar dados de um PLC através de uma rede descentralizada, além de permitir a coordenação autônoma dos dispositivos. Este trabalho apresenta e discute o contexto da utilização da tecnologia *Blockchain* nos sistemas de controle industrial, propõe através do contexto e requisitos industriais um modelo de plataforma e algoritmo de consenso a ser utilizado voltado à Indústria 4.0. Essa emergente tecnologia tem um grande potencial nas mais diversas áreas tecnológicas.

**Palavras-Chave:** Controlador lógico programável (PLC), *Blockchain*, integração, Segurança da informação, Rastreabilidade e auditabilidade.

**Macrotema:** Usina; **Linhas de Pesquisa:** Tecnologias da Informação, Comunicação e Automação Industrial; **Tema:** Inspeção Automática de Ativos; **Área relacionada da Vale:** Carajás.



## **Abstract**

Abstract of Dissertation presented to the Graduate Program on Instrumentation, Control and Automation of Mining Process as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

### FEASIBILITY STUDY OF USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR PLCS MONITORING

Karine Nogueira Oliveira

January, 2023

Advisors: Ricardo Augusto Rabelo Oliveira, PhD

The need to ensure traceable, immutable, and auditable data and information in a dynamic weighing system, developed on a programmable logic controller (PLC), increases information reliability and data security in an industrial control system. The use of *Blockchain* technology for being disruptive and decentralized attracts attention in the industrial context. Its integration, through a smart contract, to monitor programmable logic controllers, makes it possible to track and audit data from a PLC through a decentralized network, in addition to allowing autonomous coordination of devices. This work presents and discusses the context of the use of *Blockchain* technology in industrial control systems aimed at Industry 4.0. This emerging technology has great potential in the most diverse technological areas.

**Keywords:** Programmable logic controller (PLC), *Blockchain*, Integration, Information security, Traceability and auditability.

**Macrotheme:** Plant; **Research Line:** Information Technologies, Communication and Industrial Automation; **Theme:** Automatic Asset Inspection; **Releted Area of Vale:** Carajás.

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Pirâmide Sistema de Controle Industrial (IPAS) .....          | 16 |
| Figura 2 – Componentes Básicos de um PLC .....                           | 18 |
| Figura 3 – Rede Descentralizada (todos nós comunicam entre si).....      | 22 |
| Figura 4 – Elementos Básicos de um Sistema <i>Blockchain</i> .....       | 23 |
| Figura 5 – Arquitetura de uma Rede <i>Blockchain</i> .....               | 26 |
| Figura 6 – Arquitetura Proposta Integração <i>Blockchain</i> e PLC ..... | 30 |
| Figura 7 – Trilho Instrumentado.....                                     | 33 |
| Figura 8 – Painel PLC Balança Ferroviária.....                           | 33 |
| Figura 9 – Bancada Desenvolvimento Projeto .....                         | 35 |
| Figura 10 – Instalação Pylogix .....                                     | 36 |

## **Lista de Siglas e Abreviaturas**

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>BFT:</b>     | <i>Tolerância a Falhas Bizantinas</i>                           |
| <b>CFT:</b>     | <i>Crash Fault Tolerance</i>                                    |
| <b>CPS:</b>     | <i>Cyber-Physical Systems</i>                                   |
| <b>CPU:</b>     | <i>Central Processing Unit</i>                                  |
| <b>DApps:</b>   | <i>Decentralized Application</i>                                |
| <b>DCS</b>      | <i>Distributed Control System</i>                               |
| <b>DEC:</b>     | <i>Digital Equipment Corporation</i>                            |
| <b>ERP:</b>     | <i>Enterprise Resource Planning</i>                             |
| <b>ICS:</b>     | <i>Industrial Control System</i>                                |
| <b>IHM</b>      | <i>Interface Homem Máquina</i>                                  |
| <b>IHM's</b>    | <i>Interfaces Homem Máquina</i>                                 |
| <b>IPAS:</b>    | <i>Intelligent Process Automation</i>                           |
| <b>IoT:</b>     | <i>Internet of Things</i>                                       |
| <b>INMETRO:</b> | <i>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia</i> |
| <b>LAN:</b>     | <i>Local Area Networks</i>                                      |
| <b>M2M</b>      | <i>Machine to Machine</i>                                       |
| <b>MES:</b>     | <i>Manufacturing Execution System</i>                           |
| <b>MTBF:</b>    | <i>Mean Time Between Failures</i>                               |
| <b>MTTR:</b>    | <i>Mean Time to Repair</i>                                      |
| <b>P2P</b>      | <i>Peer to Peer</i>   |
| <b>PLC:</b>     | <i>Programmable Logic Controller</i>                            |
| <b>POA:</b>     | <i>Proof of Authority</i>                                       |
| <b>PoW:</b>     | <i>Proof of Work</i>  |
| <b>PoS:</b>     | <i>Proof of Stake</i>   |
| <b>IP:</b>      | <i>Ingress Protection</i>                                       |
| <b>SCADA:</b>   | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>                 |

## Sumário

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1      | Problemática .....   | 11        |
| 1.2      | Hipótese .....   | 11        |
| 1.3      | Objetivos.....   | 12        |
| 1.3.1    | Objetivos específicos.....   | 12        |
| 1.4      | Justificativa .....  | 12        |
| 1.5      | Metodologia.....   | 13        |
| 1.6      | Estrutura do Trabalho .....  | 14        |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1      | Sistemas de Controle Industrial .....  | 15        |
| 2.1.1    | PLC.....   | 17        |
| 2.1.2    | IHM.....   | 19        |
| 2.1.3    | Redes Industriais .....  | 19        |
| 2.2      | <i>Blockchain</i> .....  | 21        |
| 2.2.1    | Topologias de rede <i>Blockchain</i> .....   | 23        |
| 2.2.2    | Algoritmo de Consenso.....   | 24        |
| 2.2.3    | <i>Blockchain</i> e Contratos Inteligentes.....  | 25        |
| <b>3</b> | <b>INTEGRAÇÃO DA REDE <i>BLOCKCHAIN</i> PARA MONITORAMENTO DE<br/>CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS NA INDUTRIA 4.0 .....</b> | <b>27</b> |
| 3.1      | Abordagem Proposta de Monitoramento de PLC's com <i>Blockchain</i> .....   | 27        |
| 3.2      | Visão geral da Arquitetura .....   | 29        |
| 3.3      | Prova de Conceito .....  | 32        |
| 3.4      | Arquitetura Sistema Balança Ferroviária de Código.....   | 32        |
| 3.5      | Protótipo .....  | 34        |
| 3.5.1    | Teste Comunicação PLC e Raspberry Py .....   | 35        |
| 3.5.2    | Determinação da plataforma <i>Blockchain</i> a ser utilizada .....   | 37        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>42</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>43</b> |

## 1 Introdução

O processo de escoamento de minério de ferro entre a Usina de Carajás-PA localizado no sudeste do Estado do Pará, até o porto de São Luís – MA é altamente dependente de balanças ferroviárias dinâmicas, associadas ao processo de medição dos vagões carregados. As medições são utilizadas para fornecimento de dados e realimentação dos sistemas de controle (pós-silos), controle de estoque e emissão de notas fiscais.

A pesagem dos vagões é realizada com estes em movimento, com os ativos se locomovendo em uma velocidade limite de até 10 km/h para a Classe 0,5 v, conforme mencionado no relatório de operação (MA-1060-SR A 05002) do sistema de pesagem da empresa MASSA de 2019. Portanto, estas balanças precisam apresentar um alto nível de precisão de medição, além de agilidade no processamento de dados, já que esta pesagem é feita de forma praticamente ininterrupta com os vagões carregados. No entanto, possuem baixo tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean time between failures*) e alto tempo médio para reparo (MTTR – *Mean time to repair*), impactando diretamente no processo produtivo e causando prejuízo da ordem de milhares de dólares por dia, por isso, estes apresentam baixa confiabilidade e disponibilidade.

Atualmente, o sistema de pesagem dinâmico existente na mina de Carajás possui diversas concepções, fornecedores e tecnologias, dentre eles, as empresas Toledo, Massa e Schenck. Todas as balanças fornecidas por estas empresas apresentam um sistema fechado, ou seja, permitem uma atuação limitada para a equipe de manutenção. Haja vista que os *softwares* proprietários das empresas, assim como seus equipamentos possuem alto custo e complexidade para a equipe de manutenção.

Além disto, o tempo para calibração deste sistema é demasiadamente alto, conforme as ordens de serviço inseridas no sistema SAP, são estimadas 5 horas para execução desta atividade.

Em razão disto, existe um projeto em curso para o desenvolvimento de uma balança ferroviária, baseado em computadores industriais mais especificamente desenvolvido em controladores lógicos programáveis, Programmable Logic Controller (PLC). Este projeto visa desenvolver um sistema de pesagem dinâmico, ou seja, uma balança dinâmica, baseado em PLC's industriais.

A implantação deste projeto trará melhorias em processos de pesagem e medição dos vagões, aumentando a confiabilidade, reduzindo de tempo e custos de manutenção, além de aumentar a precisão em diagnósticos e falhas. O *software* desenvolvido em um PLC será de propriedade da empresa Vale, portanto há possibilidade de alterações de lógicas de controle.

Apesar de ser um projeto disruptivo para a indústria, alterar lógicas de controle é um ponto de atenção. Manipular um *software* em um sistema de controle industrial, pode colocar à prova a integridade e coerência dos dados. Garantir dados rastreáveis, auditáveis e imutáveis é primordial para viabilizar a certificação destas balanças dinâmicas junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Neste contexto, o intuito é utilizar a tecnologia com a implantação de “dispositivos inteligentes”, que podem se comunicar de forma autônoma ao longo da cadeia de valor, ou outra tecnologia com escopo de monitorar os dados do processo afim de garantir esta certificação. Estas implementações, assim como, tecnologias como *Cyber-physical systems* (CPS), *Internet of things* (IoT), *Cloud Computing* (MULLET; SONDI; RAMAT, 2016) e *Blockchain* estão sendo discutidas em todo mundo sendo chamada de Indústria 4.0.

Atualmente, a maioria dos sistemas de controle industrial utilizam o modelo de comunicação centralizado, no qual requerem um intermediário para realizar transações, armazenar e historiar informações entre dispositivos. A indústria 4.0 surge com tecnologias que quebram estes paradigmas, levam a descentralização do controle de processos, oferece soluções de armazenagem, além de possibilitar a troca e gestão da informação permitindo que processos de produção e negócios sejam combinados criando valor para as organizações.

Assim, o presente trabalho propõe justamente a utilização da tecnologia *Blockchain* no sistema de pesagem dinâmica. A sugestão é estabelecer uma comunicação descentralizada para-a-par (*peer to peer*), sem intermediários, e com menor risco de perda de comunicação em caso de falhas de comunicação com o servidor ou em casos de tentativa de fraude. A proposta é utilizar a tecnologia *Blockchain* através de um contrato inteligente para este ambiente industrial.

O uso desta tecnologia irá beneficiar a indústria, com maior segurança, rastreabilidade, auditabilidade e garantia da integridade dos dados e independência de processos de comunicação, além de integração das diversas partes da cadeia de valor na arquitetura na pirâmide de automação industrial.

O presente trabalho apresenta o referencial teórico e a descrição do funcionamento atual dos sistemas de controle industrial existentes, assim como, da tecnologia proposta para realizar o monitoramento dos controladores através de uma rede *Blockchain*. Será abordado durante este trabalho de pesquisa os critérios utilizados para escolha da plataforma *Blockchain* e do algoritmo de consenso, conforme requisitos de segurança da informação industrial.

Esta pesquisa foi realizada baseada em diversos estudos e fundamentos teóricos acerca desta disruptiva tecnologia, bem como, na realização de testes e experimentos em uma plataforma de teste. Os resultados da pesquisa bibliográfica e experimental aplicados à utilização da tecnologia *Blockchain* para monitorar PLC's, serão expostos como contribuição científica, ressaltando, além dos casos de teste de sucesso, os pontos de atenção, sugestão e próximos passos para implantação desta tecnologia com intuito de obter o estado da arte.

## **1.1 Problemática**

O desenvolvimento de uma balança ferroviária implantada em um PLC, facilita a manutenção, flexibiliza as integrações e atualizações futuras. Em contrapartida, apresenta fragilidade na segurança dos seus dados, possibilitando a realização de modificações e alterações na sua lógica de controle. Esta manipulação do *Software* é um ponto de atenção no que tange a integridade dos dados medidos pela balança, haja vista que o resultado obtido com a medição pode não se tornar confiável devido às alterações realizadas. O valor referente ao peso de cada composição, pode se tornar incoerente caso algum usuário sem permissão realize modificações na lógica de controle ou em parâmetros de calibração.

Esta “falha” e falta de rastreabilidade das informações medidas pela balança, bem como o processo de verificação e validação dos dados pode impedir o processo de certificação junto ao INMETRO e inviabilizar a implantação do projeto.

## **1.2 Hipótese**

Seguindo o raciocínio de garantir a integridade dos dados de pesagem e sua rastreabilidade para garantir o processo de certificação da balança em desenvolvimento com o possível *rollout* da solução para toda a VALE, este projeto se propõe:

- Utilizar a tecnologia *Blockchain* que permite rastrear e armazenar transações imutáveis, para publicar, registrar quaisquer alterações nos coeficientes de calibração realizados pela balança.

### **1.3 Objetivos**

Este projeto possui o principal objetivo responder à hipótese definida na subseção 1.2. Através de estudos, testes experimentais em plataforma, foi analisado a viabilidade da implantação da tecnologia *Blockchain*, em comunicação com um controlador lógico programável, para implementar um certificado digital. Esta implantação tem como escopo, garantir que os dados e informações dos coeficientes de calibração ou cálculos utilizados no *software* da balança, implantados no PLC sejam publicáveis, rastreáveis, imutáveis e passíveis de auditoria.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste projeto são:

- a) Avaliar a viabilidade da integração da tecnologia *Blockchain* para monitorar controladores lógicos programáveis (PLC's).
- b) Construir um protótipo desta integração;
- c) Realizar testes de viabilidade do protótipo da implantação da tecnologia *Blockchain*, utilizando dispositivos de borda para comunicação com um PLC;
- d) Analisar e discutir os resultados obtidos;
- e) Sugerir melhorias e direcionar os próximos passos para monitorar um PLC através de uma rede *Blockchain*.

### **1.4 Justificativa**

Esta pesquisa foi motivada pela necessidade de a empresa Vale SA. garantir que a integridade dos dados de pesagem e sua rastreabilidade ocorram, isso poderá garantir o processo de certificação da balança. Alterar lógicas de controle e manipular um *software* em um sistema de controle industrial, pode colocar à prova a integridade e coerência dos dados. Garantir dados rastreáveis, auditáveis e imutáveis é um importante passo para viabilizar a certificação junto ao INMETRO. Uma vez esta tese comprovada e certificada, será passível um *rollout* para uso geral da empresa.

Aliado a isso, o desenvolvimento de uma solução robusta e prática poderá ser adotada pelo órgão certificador (INMETRO) no processo de revisão e elaboração da nova portaria para calibração de balanças ferroviárias dinâmicas.



A abordagem da integração dos sistemas de controle industrial com a rede *Blockchain* é uma proposta disruptiva e inovadora, com potencial para ser utilizado na indústria e em toda a cadeia de valor. Este cenário trará ganhos como mais segurança e privacidade. A garantia de integridade dos dados (certeza de que os dados não serão alterados), melhoria da disponibilidade (através de um sistema descentralizado) e confidencialidade (dados são obtidos por pessoas autorizadas) são benefícios da tecnologia *Blockchain* (CHICARINO *et al.*, 2017) e será deste projeto de pesquisa.

A utilização da tecnologia *Blockchain* por ser uma rede descentralizada, auditável, confiável, sem pontos de falha, cujas transações não podem ser excluídas ou alteradas, é a solução proposta para integração no sistema de controle com intuito de monitorar PLC's. Ao utilizar esta tecnologia, as informações provenientes do sistema de controle podem ser coletadas automaticamente e enviadas para diferentes níveis do sistema hierárquico.

## **1.5 Metodologia**

Utilizando a citação de Appolinário (2011), o qual ressalta que “pesquisas aplicadas têm o objetivo de resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas”, esta pesquisa pode ser classificada como de natureza aplicada, uma vez que tem como objetivo realizar um estudo e analisar a viabilidade em utilizar o *Blockchain* como mecanismo para monitorar PLC.

Com intuito de alcançar as metas propostas na subseção 1.3, foi necessário a realização de uma pesquisa exploratória, segundo a abordagem de Wazlawick (2014). Por meio desta pesquisa com a tecnologia *Blockchain* foi realizado um levantamento de trabalhos e implementações no estado da arte, da tecnologia *Blockchain* em si, e relacionando a utilização dela a sistemas similares aos PLC's, sistemas inteligentes e computação de borda. Este levantamento permitiu um maior conhecimento, entendimento e análise da execução do projeto.

É importante ressaltar que neste trabalho foi realizado uma abordagem híbrida com relação à pesquisa, ou seja, ela foi qualitativa e quantitativa, considerando os conceitos apresentados em Creswell e Creswell (2017). A pesquisa foi aplicada com interesse movido pela necessidade de contribuir para fins práticos e experimentais, caracterizada por testes executados em plataforma para manipulação de dados do objeto do estudo.

O propósito foi: analisar a viabilidade de implantação da tecnologia *Blockchain* para monitorar PLC's; as premissas necessárias para aplicação industrial; validar e rastrear os parâmetros e a integridade dos dados de medição; avaliar os conceitos e requisitos desta

integração para os times de manutenção. Esta análise da viabilidade de desenvolvimento de um sistema foi o estudo de caso deste projeto. Foi utilizado como prova de conceito para validação da aplicabilidade da tecnologia *Blockchain* a PLC's. e foram apresentados dados estatísticos quantitativos e qualitativos relacionados a esta implementação.

## **1.6 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho é organizado conforme a seguir: a seção 2 apresenta os fundamentos teóricos dos sistemas de controle industriais, ou *Industrial Control System* (ICS), fundamentos para a compreensão da tecnologia *Blockchain* e trabalhos relacionados. A seção 3 descreve a abordagem proposta do trabalho e ressalta a metodologia e métodos de testes realizados. Por fim, a seção 4 apresenta finaliza com a conclusão e orientações para melhorias e passos futuros.

## 2 Referencial Teórico

Atualmente, com o surgimento da quarta revolução Industrial, a chamada Indústria 4.0, o papel das redes industriais se torna mais crucial, é necessário reunir o máximo de dados e informações nas diversas partes da cadeia de valor (BARDZIEJ, 2017). Há uma busca por processos industriais automatizados, e a remoção de processos repetitivos (ZUNINO; SAUTER, 2019). A coleta de dados deve ser realizada de forma rápida, eficiente, confiável e segura, há uma busca pela integração das camadas do sistema de automação, porém isso demanda novos paradigmas e estudos.

A abordagem da integração dos sistemas de controle industrial com a rede *Blockchain* é uma proposta disruptiva e inovadora, com potencial para ser utilizada na indústria. Este cenário trará ganhos, como mais segurança e privacidade. A garantia de integridade dos dados (certeza de que os dados não serão alterados), melhoria da disponibilidade (através de um sistema descentralizado) e confidencialidade (dados somente são obtidos por pessoas autorizadas) são benefícios da tecnologia *Blockchain* (CHICARINO *et al.*, 2017) e será desta integração.

Nesta seção será apresentado o embasamento teórico que norteia os principais domínios de conhecimentos envolvidos neste projeto, assim como a descrição dos sistemas de controle industrial, sua arquitetura, e principais características. Outra abordagem teórica será da tecnologia *Blockchain*, onde abordar-se-á a definição da tecnologia, os contratos inteligentes, suas características, os algoritmos de consenso, sua arquitetura, os tipos de *Blockchain* de acordo com o modelo, a permissão de acesso e os desafios para sua implementação.

### 2.1 Sistemas de Controle Industrial

Sistemas de controle industriais (ICS) é um termo geral que engloba várias categorias de sistemas de controle. Dentre estas categorias estão inclusos os sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), sistemas de controle distribuído (DCS), e os controladores lógicos programáveis (PLC) (STOUFFER *et al.*, 2014).

Um sistema de controle industrial consiste na combinação de componentes de controle e instrumentação, tais como: sensores, atuadores, sistemas elétricos, mecânicos, hidráulicos, pneumáticos, que atuam juntos para atingirem um objetivo industrial no controle do processo. Os sistemas de controle podem ser totalmente automatizados, ou seja, não é necessário a

intervenção do homem, ou podem incluir intervenções humanas no processo. Os sistemas podem operar em malhas abertas, malha fechada ou até mesmo em modo manual (STOUFFER *et al.*, 2014).

Os sensores e atuadores que são os dispositivos de campo e se encontram no primeiro nível da pirâmide dos *Intelligent Process Automation* (IPAS), esta pirâmide possui 5 níveis, conforme apresentado na figura 1. No segundo nível, ou processo de controle, estão os PLC ou os DCS. No nível três, está o sistema de supervisão, onde os processos são monitorados por um supervisor de controle e aquisição de dados. Os dois últimos níveis são os de gerenciamento da planta através do sistema de execução da fabricação (MES) e sistema de gerenciamento corporativo, através do planejamento de recursos empresariais (ERP).

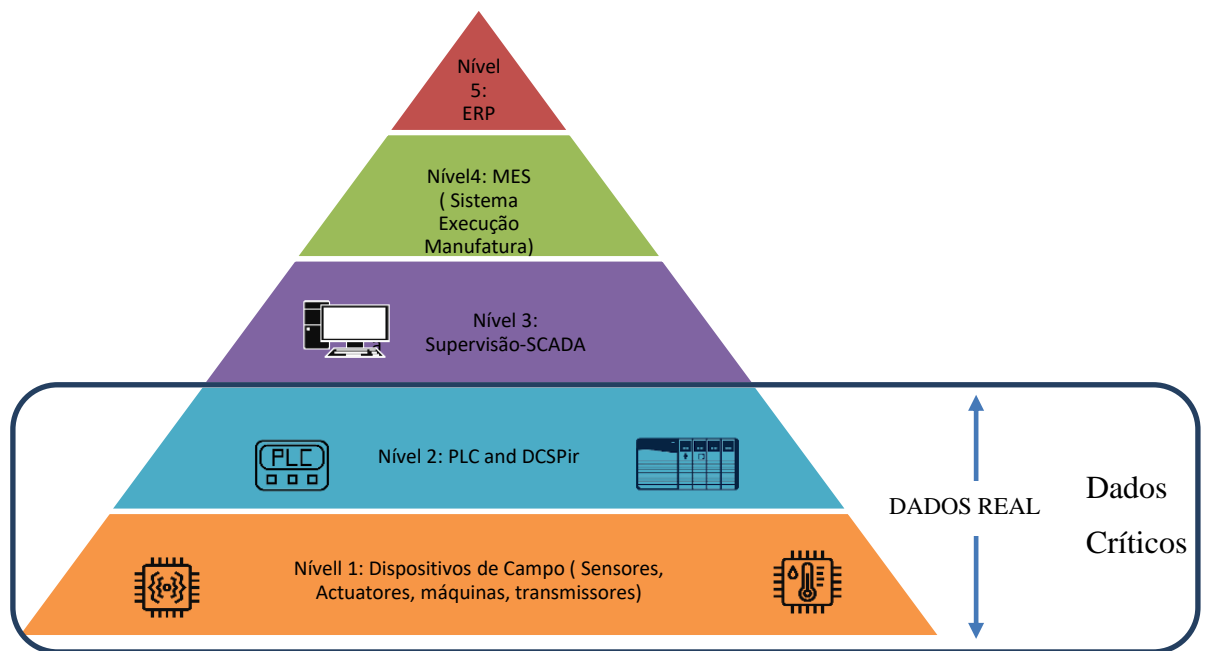


Figura 1 – Pirâmide Sistema de Controle Industrial (IPAS)

Fonte: Adaptado de GARROCHO *et al.*, 2020.

Na base da pirâmide os processos são principalmente síncronos e críticos em tempo real, enquanto no topo da pirâmide os sistemas são assíncronos. Os processos do primeiro nível da camada não possuem comunicação síncrona, ou seja, direta com o nível quatro e cinco da pirâmide. Os sistemas quase não se comunicam entre si, isto significa que, um sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) não possui comunicação direta com um controlador lógico programável.

Um breve *overview* dos componentes pertencentes à arquitetura atual do projeto de Balança Ferroviária programado via PLC, serão apresentados. Eles foram utilizados em plataforma para realizar os testes a fim de validar a implementação da rede *Blockchain* e garantir a rastreabilidade dos dados de medição.

### 2.1.1 PLC

O controlador lógico programável surgiu no início dos anos 70, na indústria automobilística, em substituição aos painéis a relé, devido à necessidade de se alterar processos de forma rápida e com um menor custo. Sua grande vantagem é a possibilidade de transferir as modificações de *hardwares* em modificações de *software*, através de um terminal de programação (ROGGIA; FUENTES, 2016).

Em razão disto, substituíram os painéis controlados por relés eletromagnéticos utilizados para controlar as operações sequenciadas e repetitivas em uma linha de montagem. Os mesmos surgiram da necessidade de um controle robusto em ambientes críticos, para unir várias funcionalidades em um único equipamento. O primeiro PLC foi um computador industrial responsável por desempenhar funções de controle e monitoramento de máquinas e equipamentos no processo industrial (SILVEIRA; LIMA, 2003).

As principais vantagens na utilização do PLC são: o baixo consumo de energia, justamente por não se necessitar da utilização de diversos relés, como os antigos painéis de acionamento; maior flexibilidade devido a facilidade de modificação das suas lógicas de controle; maior celeridade no diagnóstico de falhas; confiabilidade e facilidade na elaboração de projetos. Os PLC's são robustos a ambientes sujeitos à vibrações mecânicas, com variação de temperatura e umidade, possui alta capacidade de realização de diversas tarefas e programação de diversos e distintos equipamentos em um mesmo controlador. Estes controladores possuem grande capacidade de comunicação com computadores, IHM's e até mesmo outros PLC's, equipamentos digitais como inversores de frequência, sensores (MEHTA; REDDY, 2014).

O PLC é constituído por um hardware e por um *software* com intuito de realizar as funções de controle do processo (SILVEIRA; LIMA, 2003). A figura 2 apresenta uma estrutura básica dele:

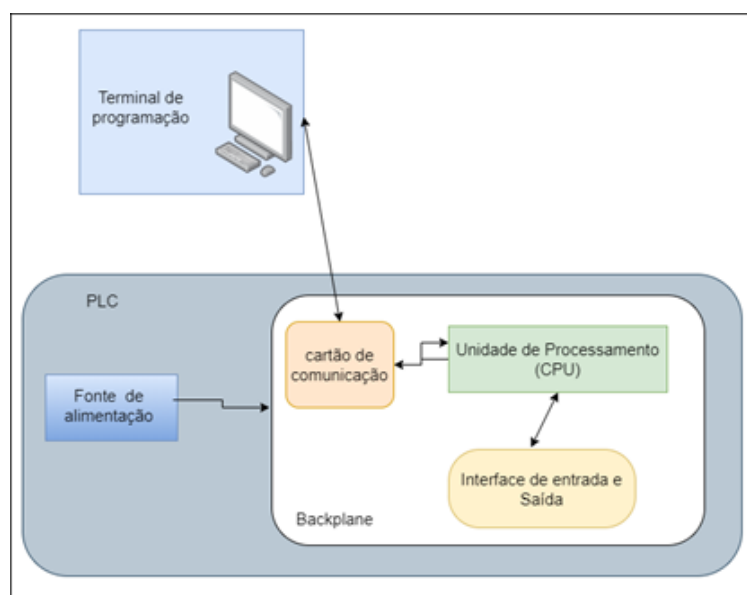


Figura 2 – Componentes Básicos de um PLC

Fonte: Autoria própria, 2022.

O principal componente do hardware de um PLC é a unidade controladora, ou seja, uma CPU. A *Central Processing Unit* (CPU), é responsável pelo processamento do programa, no entanto ela processa toda a lógica desenvolvida. Esta lógica é desenvolvida e modificada através de um terminal de programação. O terminal de programação, pode ser uma ou mais *workstation* existente na rede, no qual um usuário (com permissão), pode realizar alterações e modificações, como melhorias nas lógicas de controle. Esta *workstation* contém o *software* de programação instalado, e ele é de propriedade do fabricante do PLC.

Este *software* é fundamental para realizar quaisquer alterações, visualizações em um controlador (AGOSTINI, 2014). Ele contém todo o mapeamento e espelhamento da arquitetura do hardware e de rede, é o responsável por toda a lógica de controle dos dados adquiridos e atuação dos dados de saída. O *software* pode ser desenvolvido em diversas linguagens de programação, tais como linguagem *Ladder*, texto estruturado, diagrama de blocos funcionais em que deve ser desenvolvido na plataforma específica de cada fabricante.

Além da unidade processadora, o PLC é constituído por outros *hardwares*, sendo eles: o *backplane*, chamado também de *rack* ou chassi, é o local físico onde se condiciona a CPU. Ele também acondiciona as interfaces de entrada, saída e os cartões de comunicação do sistema. As interfaces de entrada, mais conhecida como cartões de entrada, são responsáveis por coletar os dados de sensores, chaves e instrumentos de campo. As interfaces de saída, são as responsáveis por enviarem ao campo, após o processamento da lógica, os sinais para os

atuadores (AGOSTINI, 2014). Todo *backplane* é alimentado por uma fonte de tensão estabilizada.

Os dados e diagnósticos programados e executados no PLC, podem ser visualizados no sistema supervisório. Estes dados também podem ser visualizados em interface homem máquina (IHM). As IHMs podem ser utilizadas para monitoramento e diagnóstico local ou remoto do processo, elas podem enviar o comando para acionamento de equipamentos do processo (MAW; ADEPU; MATHUR, 2019). No sistema da balança elas realizam as configurações de parâmetros de manutenção.

### **2.1.2 IHM**

A IHM ou interface homem máquina é composta por um visor, geralmente sensível ao toque, e um hardware industrial. As IHM's podem se comunicar através de diferentes protocolos de comunicação com o controlador lógico programável (INOUE, 2018).

Assim como em um sistema supervisório, através IHM pode-se controlar todo o processo, enviar comandos e monitorar o status e diagnóstico de uma planta pela navegação de suas telas. É possível, por meio das telas desenvolvidas, visualizar os defeitos e alarmes de equipamentos instantaneamente, verificar o histórico de dados, realizar alterações de parâmetros do processo, tais como valores de set-point, tempos de alarmes, níveis de alarmes. (GRUHN, 2011).

Hollifield (2012) afirmou que o estudo e desenvolvimento de sistemas utilizando interface IHM proporcionam uma melhoria no controle, facilitando a execução de testes e comandos, resultando em uma redução significativa de custos. Geralmente as IHM's são instaladas em áreas próximas aos equipamentos, no chão de fábrica nos arredores da operação de campo.

### **2.1.3 Redes Industriais**

A partir da revolução industrial surgiu a necessidade de se ter um controle centralizado, flexível, barato e automático, surgiram então os controladores lógicos programáveis e as redes de chão de fábrica (LUGLI; SANTOS, 2019). As redes de chão de fábrica, ou seja, redes industriais são um elo entre as camadas da pirâmide dos sistemas de controle industrial.

Estas redes são baseadas principalmente em sistemas de barramento (*fieldbus*) cabeados e em tecnologias industriais Ethernet (AIJAZ; SOORIYABANDARA, 2018). Nas redes

industriais diversos protocolos podem ser utilizados, cada qual com suas particularidades e suas características específicas para o controle das informações industriais.

Atualmente, existem diferentes padrões de redes industriais, tais como: AS-I; DeviceNet; PROFIBUS; FieldBus Foundation; Modbus; Profinet; Comunicação OPC; Ethernet. Neste trabalho de pesquisa será utilizada a rede Ethernet.

A rede Ethernet é uma *Local Area Networks* (LAN), desenvolvida pela Xerox na década de 70, em cooperação com a *Digital Equipment Corporation* (DEC) e a Intel. Foi aceita em 1985 como padrão 802.3 do IEEE (MONTEZ). Ela é baseada no envio de pacotes de dados, na detecção de colisão (CSMA/CD). Ethernet/IP é um protocolo da camada de aplicação e considera todos os dispositivos na rede como uma série de “objetos”, é construído sobre o padrão TCP/IP, e utiliza as 7 camadas do modelo OSI.

A confiabilidade é a métrica de desempenho mais importante da rede, além dela temos o determinismo e os requisitos em tempo real. Além disso, pode-se citar conforme Dietrich (2016), o tempo de entrega dos pacotes, precisão de sincronização, quantitativo de nós pertencentes a rede, taxa de transferência de dados em tempo real, largura da banda, topologia básica da rede.

Os sistemas de automação industrial, hoje possuem características centralizadas, ou seja, que dependem de uma entidade central para seu funcionamento. A arquitetura cliente-servidor, por exemplo, é totalmente centralizada, pois depende do funcionamento do servidor como entidade central, para que suas tarefas sejam executadas e seus serviços sejam oferecidos aos clientes.

Em redes centralizadas é um requisito mínimo da tecnologia operacional, como medida de segurança, projetar um sistema redundante. Se faz necessário a implantação de no mínimo 2 servidores em locais fisicamente distintos. Esta necessidade é proveniente de, em caso algum tipo de sinistro, tais como incêndios, desastres naturais, queima ou defeito do servidor principal, garantir-se-á o backup a recuperação dos dados e a continuidade operacional. Em contrapartida, uma das desvantagens da implantação desta redundância é o alto custo de implantação, além da necessidade de camadas de *firewall* para garantir a segurança dos dados.

Atualmente nos sistemas de controle industriais não há sincronismo dos dados entre o nível um e dois, com o nível quatro e cinco da pirâmide de automação. A proposta da integração da tecnologia *Blockchain* em controladores lógicos programáveis permitirá uma comunicação tanto vertical, quanto horizontal na pirâmide dos sistemas de controle industrial. Além deste



benefício ter uma arquitetura descentralizada será uma vantagem para o processo produtivo com intuito de redução de custos e falhas.

## 2.2 *Blockchain*

*Blockchain* é uma tecnologia disruptiva e promissora, criada por Satoshi Nakamoto, que teve sua origem na ‘bitcoin’. De acordo com Ulrich (2014) e Lucena e Henriques (2016). Nakamoto (2008) o idealizou como uma forma de resolver o problema do gasto duplo, pois nas transações online sempre era necessário um terceiro envolvido para concluir a transação, como os bancos, para intermediar as transações. Com o surgimento do bitcon, este gasto já não se fazia necessário sendo resolvido este problema.

Nakamoto (2008) introduziu o *Blockchain* conceituando-o como: “mecanismo para garantir irretratabilidade, auditabilidade, e imutabilidade de modo a prover segurança às transações eletrônicas, servindo como um grande livro razão distribuído.

A palavra *Blockchain* significa “cadeia de blocos”, e é uma estrutura de dados que armazena as transações ordenadamente em blocos. Seu banco de dados é distribuído, ou seja, qualquer membro da rede, tem acesso e participam do processo de validação destes blocos.

O processamento desta base de dados, é feito em blocos, o primeiro bloco é denominado Gênesis e ele é conhecido por todos os outros blocos existentes na cadeia, cada bloco faz um link com o bloco anterior chamado “*hash*”. A cada transação validada e realizada um novo bloco de dados é integrado sequencialmente à rede *Blockchain*, o bloco subsequente sempre possui informações de referência ao bloco anterior.

A tecnologia *Blockchain* (também é conhecida como o “protocolo de confiança”), visa a descentralização como uma medida de segurança. É uma rede par a par, do inglês *peer to peer* (P2P), onde todos “os nós” comunicam-se entre si e não existe um nó centralizador. Possui um banco de dados distribuído que registra todas as transações que ocorrem nesta rede (ALHARBY; VAN MOORSEL, 2017).

No *Blockchain*, os dados são replicados, distribuídos e compartilhados entre todos os participantes da rede, com total transparência e descentralização.

A figura 3 ilustra uma arquitetura de rede descentralizada onde todos os usuários da rede trocam informações entre si, como em uma rede P2P. Não existe um nó centralizador, todos os nós se interconectam para manter a rede funcionando.

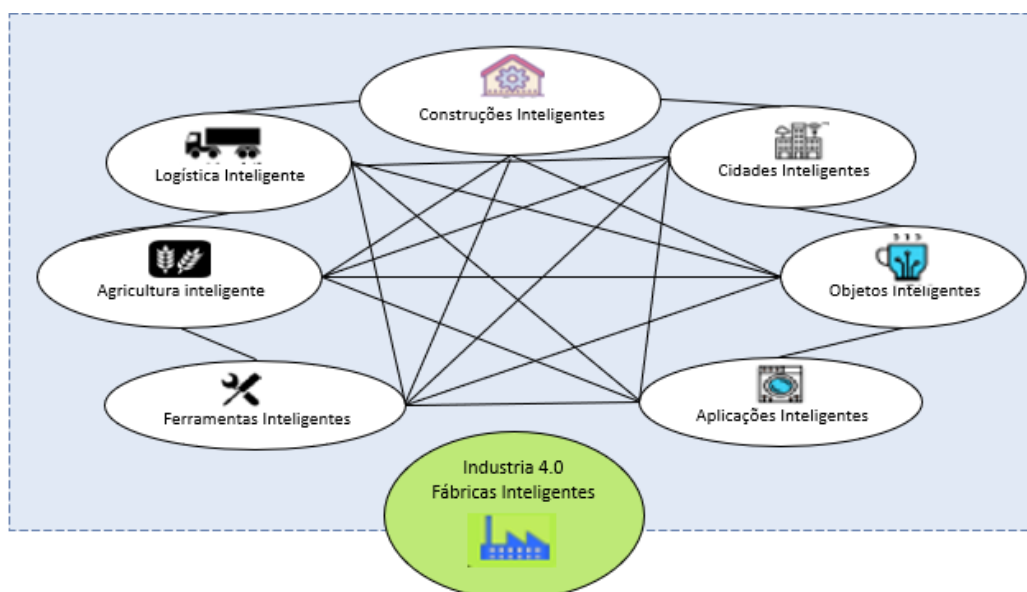


Figura 3 – Rede Descentralizada (todos nós comunicam entre si)

Fonte: Adaptado de CARAMES; LAMAS, 2019.

A arquitetura de rede *Blockchain* permite a criação de *Decentralized Applications* (DApps), sem pontos de falha, com capacidade de realizar transações e rastreamento por muitos usuários e dispositivos (CARAMES; LAMAS, 2019). As transações executadas nesta rede são criptografadas, ou seja, utilizam-se de técnicas que promovem o embaralhamento, codificam as palavras para que elas não permitam sua leitura caso sejam interceptadas. As transações não podem ser excluídas ou alteradas, o que as tornam seguras e auditáveis (BANERJEE, 2018). Por conta disto, a rede *Blockchain* pode ser utilizada para autenticar, autorizar e auditar dados gerados por dispositivos, sendo praticamente invulnerável a falhas e adulterações.

Dentre as vantagens da tecnologia *Blockchain*, podemos citar:

- a) Total transparência: uma vez que todos os participantes possuem acesso aos dados e participam da validação das transações;
- b) Integridade: a informação somente poderá ser alterada por quem tem o direito de realizar tais transações. A integridade dos dados garante que os dados não foram manipulados e que estão corretos;
- c) Disponibilidade: garantia de utilização ou consulta sempre que for necessário. Ela alcança este objetivo ao permitir que os nós se comuniquem entre si;
- d) Confidencialidade: garante que apenas pessoas autorizadas tenham acesso às informações;

e) Autenticação, autorização e auditabilidade: é possível identificar quem realizou determinada transação, pois cada participante possui uma chave e para realizar transações é a rede *Blockchain* avalia se o usuário possui permissão para realizar tal transação.

Os registros são armazenados e mantidos de forma descentralizada e por diversos usuários e participantes da rede. Uma única cadeia idêntica de blocos é armazenada em muitos computadores pertencentes a rede. Sempre que novas modificações ou transações forem necessárias, novos registros de informações serão realizados, então um novo bloco precisa ser criado, preenchido, validado e posicionado no final do livro-razão.

A tecnologia *Blockchain* pode ser categorizada com base no seu acesso dos dados, e na participação do mecanismo de consenso. Os elementos que determinam o funcionamento de uma rede *Blockchain* podem ser identificados na figura 4.

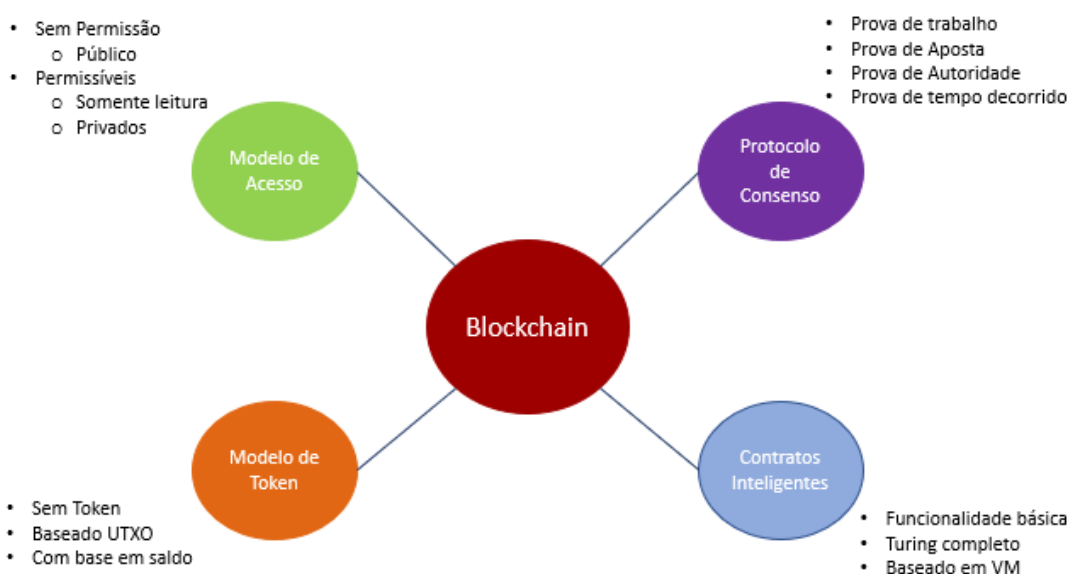


Figura 4 – Elementos Básicos de um Sistema *Blockchain*

Fonte: Adaptado de VOULGARIS *et al.*, 2019.

A seguir serão abordados apenas a topologia de rede *Blockchain*, o protocolo de consenso e os contratos inteligentes.

### 2.2.1 Topologias de rede *Blockchain*

As redes *Blockchain* podem ser classificadas conforme seu modelo de acesso. Existem três categorias utilizadas, sendo elas: as redes privadas (permissíveis ou permissionadas); as redes públicas (sem permissão) e híbridas ou consortium *Blockchain*.

Nas *Blockchain* privadas a participação é regulada por um determinado usuário proprietário. Ele decide o modelo de acesso a esta rede, quais ‘nós’ podem acessar a rede ou quais os ‘nós’ podem ser validadores. Este tipo de topologia geralmente é utilizado em ambientes corporativos, no qual tem-se dados privados e somente alguns participantes podem ter acesso, ou realizar modificações e transações. Nestas redes permissivas as transações são validadas por um grupo de nós aprovados pelo proprietário do *Blockchain*.

Já nas *Blockchain* sem permissão, as transações são validadas por nós públicos. Os participantes não precisam de permissão para serem membros da rede. Em *Blockchain* públicas, qualquer um pode acessar os dados, não necessitando de aprovação de uma entidade para se juntarem à rede. Neste tipo de rede *Blockchain* qualquer um pode consultar, enviar ou validar as transações. Como exemplo desta rede pode-se citar a ‘bitcoin’. Neste caso, pode se ter vários nós pertencentes a rede, tendo como desafios os esforços computacionais para o mecanismo de consenso.

### **2.2.2 Algoritmo de Consenso**

No centro da tecnologia *Blockchain*, existe o algoritmo de consenso. O algoritmo de consenso, é o cálculo matemático, que garante que todas as tabelas que estão distribuídas dentro da rede ponto a ponto são iguais. Eles são os protocolos responsáveis por realizar um acordo entre os “nós”. O consenso determina a validação dos blocos que devem ser adicionados ao *Blockchain*. Para que um novo bloco seja inserido, é necessário atingir um consenso entre os nós da rede. A sincronização entre esses blocos é obtida utilizando um protocolo de consenso. O Algoritmo de consenso é a forma que se atinge o consenso em uma rede descentralizada.

Os nós de rede *Blockchain* executam algoritmos de consenso, como *Crash Fault Tolerance* (CFT) ou tolerância a falhas bizantinas (BFT), para ter confiabilidade de comunicação. Existem vários protocolos, ou algoritmos de consenso, sendo eles: Prova de Trabalho (*Proof of Work* - PoW), Prova de Participação (*Proof of Stake* - PoS), prova de Autorização (*Proof of Authority* - POA).

Quadro 1 – Principais diferenças e características dos algoritmos de consenso relacionados

| Algoritmo de Consenso  | Característica Principal                                   | Consumo de Energia | Escalabilidade |
|--|--|--------------------|----------------|
| PoW (Proof – of – Work) Prova de trabalho  | Poder Computacional  | Alto               | Alto           |
| PoS (Proof- of – Stake) Prova de Participação                                      | Participação (Quantidade de moedas)                        | Baixo              | Alto           |
| PoET (Proof – of- Elapsed Time) Prova de tempo decorrido                           | Eleição por sorteio  | Alto               | -              |
| BFT (Byzantine Fault Tolerance) Tolerancia a falhas Bizantinas                     | Alcança o consenso mesmo que algum nó não tenha respondido | Baixo              | Baixo          |
| DBFT (Delegated Byzantine Fault Tolerance) Tolerancia a falhas Bizantinas Delagada | Alcança o consenso com participantes não confiáveis        | Médio              | Baixo          |

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Existem também os contratos inteligentes, similares a um contrato legal, onde um programa executa os acordos estabelecidos entre as partes. Há condições previamente programadas e elas agem como se fossem cláusulas para realizarem as validações, quando as condições forem satisfeitas. Para o presente estudo, o algoritmo de consenso escolhido para utilização foi o BFT, Tolerância a Falhas Bizantinas devido sua característica principal de alcançar o consenso mesmo que algum nó da rede não tenha respondido ou não esteja online.

### 2.2.3 *Blockchain* e Contratos Inteligentes

A rede *Blockchain* é uma rede P2P descentralizada, sem pontos de falha, cujas transações não podem ser excluídas ou alteradas. A rede *Blockchain* é altamente escalonável e todas as transações são criptografadas, tornando-as seguras e auditáveis (BANERJEE, 2018).

Os contratos inteligentes são *scripts* armazenados na *Blockchain*. De acordo com Raskin (2017), ele é um acordo entre as partes cuja execução é automática. Essa automação é realizada por um código de computador destinado a facilitar, reforçar, verificar ou impor digitalmente a negociação ou execução de um contrato, proporcionando confiabilidade em transações. Os contratos inteligentes permitem que as partes interessadas se comprometam previamente com os termos a serem executados sem, no entanto, determinar uma autoridade central (um sistema judicial) para fazer valer sua execução (GULKER, 2017).

Um contrato inteligente ou *smart contract*, é um protocolo computacional destinado para facilitar, reforçar, verificar ou impor digitalmente a negociação ou execução de um contrato, proporcionando confiabilidade em transações.

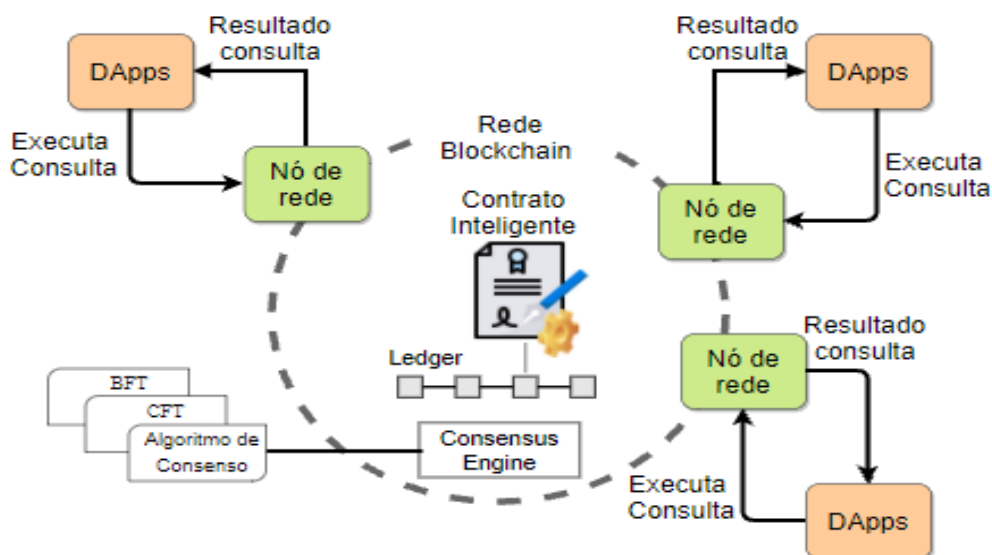


Figura 5 – Arquitetura de uma Rede *Blockchain*

Fonte: Autoria própria, 2022.

A figura 5 ilustra um exemplo de uma rede *Blockchain* que utiliza de contratos inteligentes para acessar o livro razão. Os DApps realizam uma solicitação, e através de *Rest API* submete a transação para o validador, ele não oferece autorização. O validador avalia se é uma transação ou uma consulta, e através de um contrato inteligente acessa o *ledger*, ou livro razão para obter as informações ou realizar as transações após o contrato inteligente checar se o endereço é autorizado para executar tal ação.

Como exemplo de plataformas de contratos inteligentes cita -se: Ethereum (permite que as aplicações sejam geridas por um único protocolo), Hyperledger (Fabric, Sawtooth), Corda. Estas plataformas descentralizadas permitem a programação dos aplicativos descentralizados (DApps) (VOULGARIS *et al.*, 2019).

Para realizar a escolha da melhor plataforma a ser utilizada, é necessário realizar as avaliações técnicas e do ambiente a ser utilizado. Nesta pesquisa, por se tratar de um ambiente industrial é necessário avaliar a melhor plataforma a ser utilizada, para isto, é importante verificar os requisitos técnicos de segurança. O modelo escolhido para esta pesquisa é a plataforma Hyperledge Sawtooth, sua escolha foi baseada nos requisitos do modelo de acesso.

### **3 Integração da rede *Blockchain* para monitoramento de controladores lógicos programáveis na indústria 4.0**

#### **3.1 Abordagem Proposta de Monitoramento de PLC's com *Blockchain***

Atualmente, com o surgimento da quarta revolução industrial, as redes industriais vêm se tornando cada vez mais cruciais e essenciais, espera-se que novos e mais exigentes requisitos no contexto operacional sejam encontrados (ZUNINO; SAUTER, 2019).

As redes de comunicação industriais são utilizadas para monitorar as condições, processos de fabricação, manutenção preventiva e tomada de decisões. Elas são projetadas para atender aos vários requisitos e campos de aplicação, além dos cenários gerados por IoT.

As redes de comunicação industriais, protocolos de comunicação *machine to machine* (M2M) e *Intelligent Process Automation* (IPAS) são projetados para ambientes específicos. Uma solução inovadora é proposta, integrar a rede *Blockchain* com um sistema de controle industrial, mais especificamente no sistema da balança ferroviária.

As balanças ferroviárias dinâmicas, como parte de um sistema do processo industrial, utilizam-se de *software* de propriedade de um fornecedor. O desenvolvimento de uma balança em um controlador lógico programável traz flexibilidade, melhoria em diagnósticos, redução de custo e possibilidade de *rollout* nos diversos sites existentes da Vale.

Em contrapartida, esta flexibilidade provoca uma insegurança nos dados de medição e nos parâmetros, pois as lógicas de controle podem ser alteradas, o que pode inviabilizar a certificação pelo órgão fiscalizador. Nos sistemas de controle industriais atuais, existem ferramentas centralizadas que monitoram as lógicas de controle, protegem o acesso destes sistemas, controlam as versões de *software* e *backups*. Apesar da existência destas ferramentas, algumas informações podem não ser obtidas quando o servidor de acesso apresentar falha.

Em um sistema centralizado, se ocorrer um ataque na rede ou no servidor, todos os dados podem ser comprometidos, a rastreabilidade das informações pode ser inviabilizada, tornando-se oneroso e difícil ou até mesmo impossível se obter os dados antigos. Qualquer ataque a um banco de dados do servidor centralizado, dificultará o rastreamento de informações e prejudicará a auditabilidade dos dados, inviabilizando a implantação deste projeto.

A utilização da tecnologia *Blockchain* por ser uma rede descentralizada, auditável, confiável, sem pontos de falha, cujas transações não podem ser excluídas ou alteradas, é a

solução proposta para integração no sistema de controle com intuito de monitorar PLC 's. Ao se utilizar esta tecnologia, as informações provenientes do sistema de controle podem ser coletadas automaticamente e enviadas para diferentes níveis do sistema hierárquico, pode haver troca de informações entre os níveis da pirâmide do sistema industrial, conforme níveis e permissões de acesso. Esta tecnologia trará redução de custos, flexibilidade e maior integridade das informações.

A presente pesquisa identificou estudos relacionados à utilização do *Blockchain* em sistemas industriais. Há abordagens relacionadas à metodologia para definir uma rede *Blockchain* na indústria 4.0 (GARROCHO *et al*, 2021). Um estudo de um historiador de dados descentralizado, ICS-Block OpS, realizado por Aung, Sridhar e Aditya (2019) no qual observou a fragilidade para detecção da integridade dos dados.

A criação de um sistema cyber-físico descentralizado para monitoração e controle de indústria e casas, foi abordado por Gallo *et al*. (2018), o sistema denominado DeCymo, propõe garantir melhor controle de acesso, armazenamento ou histórico de dados distribuído e escalabilidade. Para a utilização da rede *Blockchain* na balança ferroviária, além do histórico de dados, o sistema também prevê a verificação do acesso de dados, armazenamento descentralizado, possibilidade e aprovação de transações para alterações de *tags* nos PLC's.

O estudo da utilização desta tecnologia aliada diretamente a um PLC, utilizando um *smart contract* para rastrear as alterações realizadas, não foi encontrado. Há poucas referências teóricas e trabalhos doutrinários relacionados à integração de um sistema de controle industrial à rede *Blockchain*.

Os artigos e pesquisas citadas alhures foram base para a proposta da utilização do *Blockchain* em controladores lógicos programáveis. Garantir dados íntegros, rastreáveis, auditáveis, imutáveis em PLC através de uma rede descentralizada trará mais confiabilidade e segurança para a indústria.

Neste diapasão, a proposta do trabalho é apresentar um estudo da utilização da tecnologia *Blockchain* para monitorar PLC's em um ambiente industrial. Neste estudo será abordado uma visão geral da arquitetura proposta, os principais requisitos utilizados para escolha da plataforma de rede *Blockchain*, os testes e avaliação dos testes executados, e a proposta de melhoria a ser realizada para integrar e desenvolver uma rede *Blockchain* para monitorar controladores industriais.



O presente estudo propõe a utilização de um dispositivo IoT mais especificamente uma *raspberry pi* próximo ao controlador para eliminar o armazenamento de dados em nuvem, tornando-o mais próximo ao controlador. A seguir será apresentada a arquitetura proposta para integração da tecnologia *Blockchain* e os sistemas de controles industriais.

### **3.2 Visão geral da Arquitetura**

A arquitetura proposta na presente pesquisa é constituída por computadores de borda, dispositivo IoT, com comunicação baseada em protocolos *Ethernet IP* por meio de cabos de rede com os controladores lógicos programáveis. Cada computador de borda, será um “nó” da rede e se comunicará com outros computadores de borda, neste caso por placas de Raspberry Pi 4, por uma rede *Wi-Fi*.

Os controladores lógicos programáveis, através da parametrização de sua arquitetura de rede e com interfaces de comunicação de entrada e saída, realizam a leitura dos sensores dos trilhos instrumentados. Este controlador da balança ferroviária, podem ou não se comunicar e trocar informações com outros controladores através da configuração de *messages*, os *messages* são a forma da forma de comunicação, troca de informações e dados entre controladores através da leitura e escrita em variáveis. Devido esta possibilidade de comunicação entre controladores, eles devem possuir endereço fixo, no qual é apontado o endereço de leitura ou escrita entre controladores. Um *overview* da arquitetura do sistema proposta é representado conforme a figura 6.

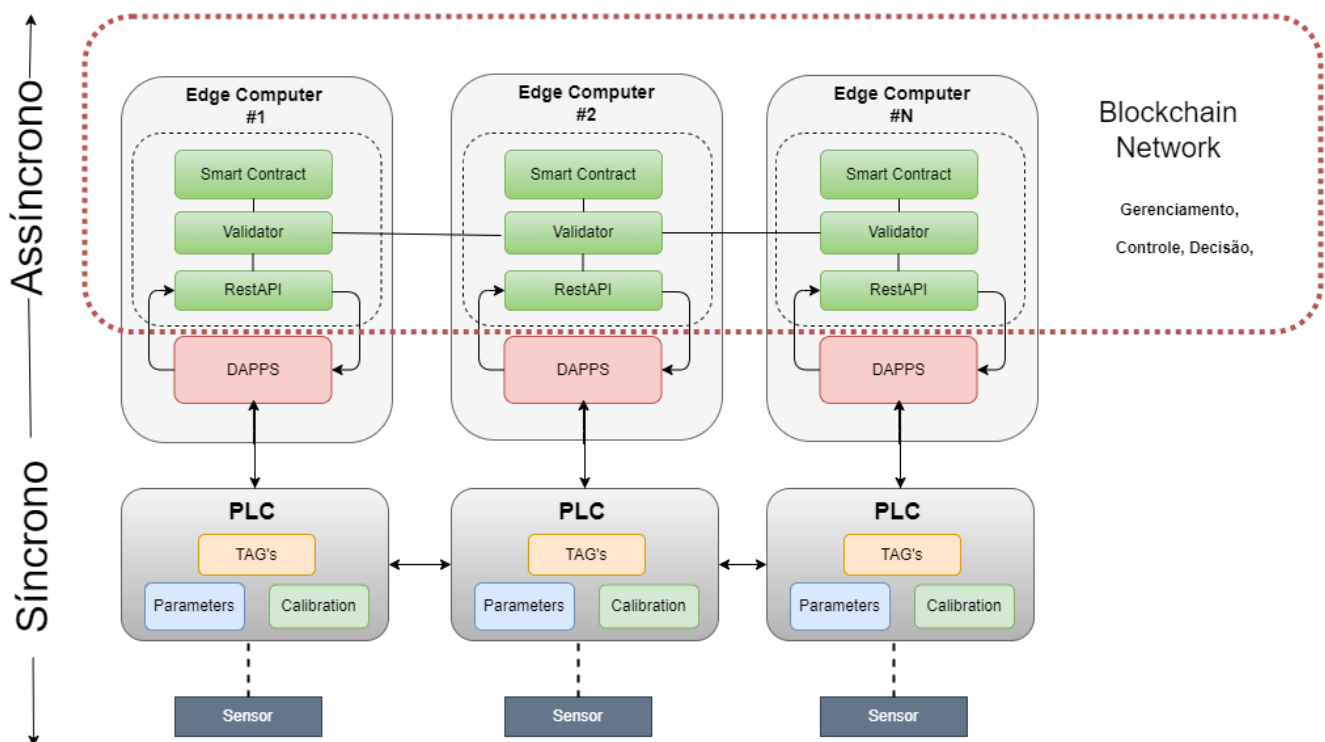


Figura 6 – Arquitetura Proposta Integração *Blockchain* e PLC

Fonte: Autoria própria, 2022.

Nesta arquitetura, através de um contrato inteligente, a rede *Blockchain* irá atuar como intermediária dos sistemas síncronos (PLC's e sensores), com os sistemas assíncronos (sistemas de gerenciamento, sistemas de monitoramento e gestão). Os componentes pertencentes a esta arquitetura e rede *Blockchain* podem ser definidos conforme a seguir:

Os controladores lógicos programáveis ou PLC, armazenam e executam toda a lógica de controle dos processos industriais. A alteração ou modificação das lógicas só podem ser realizadas por um usuário que possui acesso a este sistema.

Os DApps são aplicativos ou aplicações externas descentralizadas que são executados em uma rede *Blockchain*, estes não dependem de um único computador ou autorizador, cada dispositivo ou nó da rede irá executar este aplicativo. Como analogia podemos citar que atualmente nos sistemas de controle as aplicações estão salvas e rodam em um único servidor ao passo que, com a rede *Blockchain*, cada nó da rede irá executar esta aplicação.

De forma geral os DApps são utilizados para controle e monitoramento, sua função é submeter uma consulta ou uma transação para a rede *Blockchain*. Será através dos aplicativos descentralizados, após a validação da transação pela rede *Blockchain*, que as lógicas de controle serão modificadas.

A rede *Blockchain* é o conjunto de nós que executam o contrato inteligente através de um algoritmo de consenso. Cada nó valida as transações e mantém um consenso sobre a rede, realizando a autorização, avaliação para validação e execução ou consulta de uma transação. Cada nó da rede *Blockchain* possui os seguintes componentes descritos abaixo:

- a) RestAPI: Permite que os DApps interajam com os validadores, utilizam protocolos de transferência hipertexto comum HTTP/JSON. São responsáveis por submeterem todas as solicitações ao validador para serem autorizadas através de uma assinatura ou uma estratégia definida por um processador de transações. Seu processo é executado separadamente e não como parte do processo do validador. Sua função é simplesmente enviar transações e buscar resultados;
- b) Smart Contract: protocolo computacional, destinado a executar digitalmente negociações ou transações de forma automática e confiável. Transformam as regras do negócio em regras no próprio computador;
- c) Validadores – são responsáveis pela comunicação baseada no protocolo de consenso, validam as transações com os outros nós da rede. Coordenam a comunicação entre nós e garantem que a tabela ou base de dados de todos os nós são os mesmos;
- d) Ledger: ou livro razão, é um banco de armazenamento de dados referente às transações executadas.

No contexto da integração dos controladores do PLC com a rede *Blockchain*, através de um aplicativo descentralizado ou uma DApp, será possível a um usuário da rede, realizar uma consulta ou uma transação (modificação na lógica) em um PLC. Ao realizar uma consulta ou uma transação, há uma interação através de uma RestAPI, no qual a submete para o validador. O validador por sua vez, avalia se é uma transação, em caso negativo, é realizado tão somente uma consulta ao livro razão com os dados necessários, a partir daí o validador através da interface *Rest API* envia a informação para o DAPP que irá gerar a resposta. No entanto, caso o validador verifique que é de fato uma transação, ele submete para o contrato inteligente que irá checar o endereço e as autorizações e realiza ou não está transação. Por fim, um mecanismo de consenso é acionado para verificar se todos os ‘nós’ da rede estão de acordo com a transação, após a validação de todos os usuários é criado um bloco e atualizado o livro razão.

Ao realizar a consulta de um determinado dado, ou seja, de uma TAG no PLC, será possível avaliar se em algum momento a mesma foi modificada, qual usuário realizou a transação garantirá a segurança dos dados e das informações. As modificações de lógicas ou de parâmetros realizados por um usuário, só serão realizadas por um membro autorizado. Quaisquer alterações permitidas que forem realizadas serão armazenadas no livro razão

A tecnologia *Blockchain*, com a arquitetura de comunicação indicada,garantirá maior segurança, confiabilidade e rastreabilidade dos dados. Além de qualquer usuário no sistema IPAS poder realizar consultas de transações e dados em tempo real. Não é necessário aguardar longos períodos para obter informações do chão de fábrica, todas as informações estarão disponíveis por tempo integral.

### **3.3 Prova de Conceito**

A etapa da prova de conceito foi fundamental para definir a viabilidade da utilização desta rede em um ambiente industrial. Foram definidos os materiais a serem utilizados, instalado uma bancada de testes, definido um roteiro de testes, realizados testes de comunicação, analisados e discutidos os resultados referentes ao projeto.

A arquitetura utilizada e proposta será apresentar, serão descritos os *hardwares* e *softwares* utilizados, e os testes executados. Em seguida, serão feitas considerações no âmbito do ambiente industrial com o intuito de propor melhorias e tornar viável a utilização e integração destas grandes tecnologias oriundas da terceira e quarta revolução industrial.

### **3.4 Arquitetura Sistema Balança Ferroviária de Código**

O projeto de balança ferroviária de código aberto, está na fase de implantação em Carajás. Devido aos padrões existentes nas Usinas e Silos de carregamento de Carajás, foi utilizado o PLC do fabricante Rockwell Automation, todo o teste proposto e executado foi realizado com este fabricante.

O hardware do sistema do PLC é composto por uma fonte 1756- PA 75, um rack ou backplane 1756-A7, ou seja, de sete slots – cada slot é um espaço para inserir um cartão do PLC – um cartão de comunicação Ethernet 1756-EN2TR, para comunicação com a rede TA (com duas portas de comunicação), uma CPU 1756-L83 (responsável pelo processamento dos dados e da lógica de controle), e um cartão MVI56E.

O cartão MVI56 é o responsável pela comunicação ModBus com o painel de aquisição de sinais dos Strain Gauge (instrumentos ou células que medem a deformação do trilho e enviam um sinal para o PLC). A figura 7 ilustra um trilho instrumentado e a célula de carga para aquisição dos sinais.



Figura 7 – Trilho Instrumentado

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com intuito de verificar a viabilidade e certificar que a arquitetura proposta no item 3.1.2 está coerente, foi utilizado o *software* com as lógicas de controle desenvolvidas na plataforma de propriedade do fabricante Rockwell o *Studio 5000 Designer*. A figura 8 ilustra o *rack* do PLC instalado nos Silos de carregamento em Carajás, no qual possui a lógica de controle proposta para ser auditada pela rede *Blockchain*.



Figura 8 – Painel PLC Balança Ferroviária

Fonte: Autoria própria, 2022.

### 3.5 Protótipo

O primeiro passo para a realização dos testes referentes a esta pesquisa, foi estabelecer os ativos, *hardwares* e *softwares* a serem utilizados. Embasado no ambiente industrial de Carajás, o PLC do fabricante da Rockwell foi mantido, porém houve algumas modificações no modelo da CPU e *backplane*.

Para esta prova de conceito, foi criado um protótipo para replicação em bancada do hardware contendo uma fonte 1756- PA 75, um *backplane* 1756-A4, uma CPU 1756-L72 e um cartão de comunicação 1756-EN2TR. O hardware utilizado para representar cada computador de borda, ou “nó” da rede são as placas de Raspberry Pi 4 (Quad placas centrais Cortex-A72 1,5 GHz, 4 GB de RAM) (figura 9). Este dispositivo IoT será a interface de comunicação e o host representante de um nó da rede *Blockchain*, será um dos elementos validados desta rede a ser utilizada.

A figura 9, supra exibida, ilustra a bancada utilizada inicialmente para realizar os testes e desenvolvimento do projeto proposto. O protótipo escolhido, apesar de utilizar *hardwares* similares e não o rack do PLC da balança, não apresenta perda de performance ou de requisitos técnicos para implantação, uma vez que consegue simular com fidelidade os casos de uso para o ambiente industrial.



Figura 9 – Bancada Desenvolvimento Projeto

Fonte: Autoria própria, 2022.

O *software* de propriedade do fabricante Rockwell Automation para realizar a programação das lógicas de controle utilizadas para os testes, não foi o ‘Studio 5000’ mas sim o ‘RSlogix 5000’. Esta mudança de versão do *software* do fabricante não impacta em nosso projeto de pesquisa, visto que o *software* ‘Rslogix 5000’ contém as ferramentas necessárias para execução dos testes, além da compatibilidade com a CPU escolhida no protótipo.

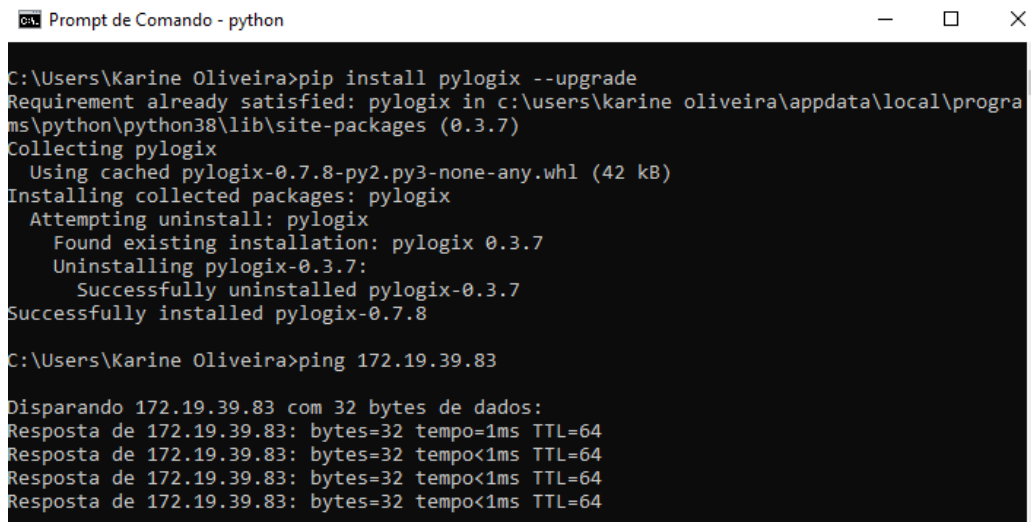
Após a definição do hardware a ser utilizado, foi necessário realizar o estudo da melhor forma de realizar a comunicação para leitura de parâmetros do controlador. A comunicação entre o PLC e a raspberry foi um dos grandes desafios a serem solucionados para iniciar os testes e desenvolvimento do projeto de pesquisa.

### 3.5.1 Teste Comunicação PLC e Raspberry Py

Estabelecer a comunicação entre os dispositivos, é uma etapa crucial para validar a solução proposta. A leitura de parâmetros e de TAGs do PLC através de uma raspberry pi pode viabilizar o projeto de pesquisa. Esta comunicação foi um dos grandes desafios deste projeto.

Durante a etapa de pesquisa do protocolo de comunicação foi considerado a utilização da comunicação MODBUS e da OPC/UA, foi realizado alguns testes com ambos os protocolos, porém o resultado esperado não foi atingido. Houve dificuldades em realizar a leitura de TAG's do controlador pelo dispositivo de borda, isto inviabilizou naquele momento utilizar estes protocolos de comunicação nos próximos passos do projeto.

Após a realização de pesquisas de uma outra solução para comunicação entre estes dispositivos, foi verificado que o *pycharm* possui uma biblioteca de fácil instalação e utilização. Esta biblioteca permite fácil comunicação entre o PLC e o *software* a ser utilizado para desenvolvimento, a figura 10 ilustra a instalação da biblioteca *pylogix* (PYPI, 2022). O *pylogix* é um driver de comunicação que permite ler ou escrever dados no PLC da Rockwell Automation.



```

C:\Users\Karine Oliveira>pip install pylogix --upgrade
Requirement already satisfied: pylogix in c:\users\karine oliveira\appdata\local\programms\python\python38\lib\site-packages (0.3.7)
Collecting pylogix
  Using cached pylogix-0.7.8-py2.py3-none-any.whl (42 kB)
Installing collected packages: pylogix
  Attempting uninstall: pylogix
    Found existing installation: pylogix 0.3.7
    Uninstalling pylogix-0.3.7:
      Successfully uninstalled pylogix-0.3.7
Successfully installed pylogix-0.7.8

C:\Users\Karine Oliveira>ping 172.19.39.83

Disparando 172.19.39.83 com 32 bytes de dados:
Resposta de 172.19.39.83: bytes=32 tempo=1ms TTL=64
Resposta de 172.19.39.83: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 172.19.39.83: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 172.19.39.83: bytes=32 tempo<1ms TTL=64

```

Figura 10 – Instalação Pylogix

Fonte: Autoria própria, 2022.

Na primeira etapa, só foi possível estabelecer a comunicação entre um computador utilizando o *pycharm* e o PLC. Em uma segunda etapa, após diversos e incansáveis testes foi possível obter a comunicação entre o PLC e a raspberry.

Através desta biblioteca *pylogix* junto à configuração adequada do IP do cartão de comunicação do PLC e algumas linhas de comandos, conforme ilustrado na última figura, foi possível realizar as coletas de dados dos TAG's do PLC. Esta configuração e leitura de dados foi um importante passo para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

Para cada tipo de solicitação é necessário um comando específico, foi realizado diversos testes, tais como leitura de apenas uma *tag*, leitura de todas as *tags* do programa, leitura de



todos as *tags* do controlador. A atividade de leitura e coleta dos dados é o *input* a ser utilizado pelo contrato inteligente para publicar e registrar quaisquer alterações nos coeficientes de calibração ou cálculos realizados pela balança na medição dos pesos dos vagões. Além da leitura dos Tags do PLC através da raspberry, foi possível também realizar escritas nos Tags do controlador.

Um importante teste executado foi a tentativa de realizar alterações na arquitetura de um PLC, tentou se modificar a disposição dos cartões de entrada e saída, e a disposição. Estas modificações em sistemas de controle são muito realizadas, em caso de falha de algum componente de instrumentação. O time de manutenção realiza estas modificações na lógica para estabelecer o funcionamento do sistema em caso de queima de um ponto do cartão de entrada ou cartão de saída. Usualmente esta alteração da relação de entrada e saída é utilizada para adicionar mais pontos de monitoramento no controlador. Ao realizar o teste de alteração da arquitetura, alteração e modificação da relação de entrada e saída o teste não obteve resultado satisfatório.

Apesar do resultado acima não ser satisfatório, com os demais resultados obtidos pode se constatar que é possível realizar o monitoramento de controladores lógicos através de uma rede *Blockchain*. Foi possível inserir na mesma rede o controlador lógico programável, a raspberry e ainda estabelecer a comunicação da raspberry com acesso à Internet. Estabelecer esta comunicação entre PLC e raspberry e entre a raspberry e a Internet, pode garantir a comunicação entre os diversos níveis da pirâmide IPAS.

Uma importante abordagem é a determinação do tipo de *Blockchain* a ser utilizado, o que influenciará diretamente na definição da plataforma *Blockchain*. A abordagem abaixo irá tratar dos métodos e os requisitos técnicos necessários que influenciaram na escolha da plataforma a ser utilizada.

### **3.5.2 Determinação da plataforma *Blockchain* a ser utilizada**

Os dados provenientes de um sistema industrial, podem ser dados sensíveis, sendo classificados como dados restritos, dados internos ou dados públicos. As lógicas de controle, as alterações e modificações das lógicas de controle em um ambiente industrial são realizadas por usuários que possuem acesso e permissão específicos.

Apenas um grupo restrito de usuários conseguem realizar operações de equipamentos e visualizar em um sistema supervisor, sendo estes usuários chamados de operadores da sala de

controle. Há além dos operadores outro perfil de acesso, o perfil de acesso do time de manutenção, estes além da visualização das operações, conseguem também realizar alterações nas atuais lógicas de controle. Como pode ser visto, sempre há uma restrição dependendo do grupo de acesso do usuário.

Embasado nestas restrições de perfil de acesso existentes hoje nas plantas industriais, por questões de segurança, confidencialidade dos dados a escolha do melhor tipo de rede *Blockchain* é a rede privada. Nesta rede um usuário proprietário concederá o acesso e a participação na rede *Blockchain* apenas a usuários eletivos.

Esta escolha do tipo de rede *Blockchain* influencia diretamente na definição do algoritmo de consenso a ser utilizado. Nos tipos de *Blockchain* com restrição, ou permissionadas, os nós possuem confiança mútua e podem checar o acordo por meio de um processo de votação.

A plataforma escolhida para esta aplicação foi embasada nos requisitos acima, diante da necessidade de utilizar uma rede com restrição de acesso. A plataforma escolhida, foi a ‘Hyperledger Sawtooth’ que é uma plataforma para desenvolvimento de aplicativos e redes distribuídas. Sua filosofia é manter os livros razão distribuídos e tornar os contratos inteligentes seguros, principalmente para utilização em ambientes corporativos, conforme nossa necessidade.

O procedimento de instalação da plataforma escolhida, apresentou erro na configuração. Porém este item não é impeditivo para a aplicabilidade da rede *Blockchain* em um sistema de controle industrial, há estudos nos quais este passo foi executado com sucesso. Visto que a interface e comunicação escolhida apresentou resultados satisfatórios.

## 4 Resultados e Discussão

Ao final dos estudos realizados, entendimento das tecnologias adotadas, configurações dos *softwares* e *hardwares* e testes realizados em bancada podemos avaliar qualitativamente os resultados obtidos desta presente pesquisa. A utilização da tecnologia *Blockchain* para monitorar PLC e integrar as camadas da pirâmide dos sistemas de controle, trata-se de uma evolução interessante para a ciência.

Após os testes realizados obtivemos os resultados conforme descritos:

- ❖ Sucesso em testes de comunicação entre dispositivos;
- ❖ Sucesso em testes de leituras e escritas em Tag's do PLC;
- ❖ Impossibilidade de criar Tag's;
- ❖ Impossibilidade de modificar arquitetura de rede de um PLC;
- ❖ Procedimento de instalação plataforma escolhida na raspberry apresentou erro na configuração:
  - O erro apresentado não inviabiliza a utilização do sistema, haja vista que há pesquisas que indicam esta utilização e implementação de uma rede *Blockchain* em raspberry.

O teste de comunicação entre dispositivos é um dos principais testes realizado e em caso deste ser negativo, neste momento tornaria inviável utilizar a tecnologia *Blockchain* integrada ao PLC. Consequentemente inviabilizaria a utilização desta tecnologia aliada ao projeto da Balança Ferroviária. Como este passo primordial foi executado com sucesso, os demais testes devem ser avaliados para se chegar em uma conclusão definitiva desta utilização.

O passo de conseguir ler e escrever os dados através da raspberry é um importante avanço, porém alguns passos ainda precisam ser executados para se garantir a continuidade da utilização desta tecnologia. Este teste é mais um fator positivo que ressalta a viabilidade e possibilidade desta integração.

Apesar do sucesso nesta comunicação, dos testes de leitura e escrita no PLC, não foi possível realizar todas as modificações necessárias em um controlador. Um ambiente industrial apresenta constantes mudanças e essas mudanças podem requerer alterações no quantitativo de cartões e/ou *slots*, bem como nas especificações dos cartões pertencentes a uma determinada arquitetura de rede do PLC. A alteração na configuração da arquitetura de rede de um controlador, que é executado no *software* proprietário do fornecedor, não foi possível ser

realizada pelo pycharm. Assim como, não foi possível realizar a alteração da relação do endereçamento de entrada e saída do cartão.

Estas modificações em um ambiente industrial apresentam significativa importância para o processo produtivo e para o time de manutenção, tanto para área de instrumentação e elétrica, quanto para área de automação. Outra importante ressalva para o time de automação é a forma de exibição das lógicas de controle, que pode vir a dificultar sua interpretação, o que impacta diretamente na análise, diagnóstico e no tempo de resposta em caso de alguma falha.

É necessário garantir que todas as alterações em um PLC serão monitoradas, principalmente as modificações da relação de entrada e saída. É necessário obter sucesso na modificação da arquitetura de rede de um controlador através de um aplicativo descentralizado. Atualmente estas modificações só são realizadas através do *software* proprietário do fornecedor.

Utilizar esta tecnologia em um futuro bem próximo será possível, no entanto, há algumas considerações que devem ser avaliadas através de estudos mais aprofundados e dedicados. Caso o fornecedor abra o seu sistema proprietário, facilitando a utilização da aplicação na rede *Blockchain* ou mesmo através de estudos de outras formas de comunicação, para que isto se torne exequível, podemos dizer que será um grande avanço tecnológico.

Esta solução inovadora pode evoluir e se tornar um produto de mercado. Possui potencial para ser inserida no comércio como produto para comunicação rápida, fluida e segura entre as camadas dos sistemas de automação.

Uma importante ressalva é no grau de proteção que este dispositivo de borda precisaria ter. A proteção deste dispositivo para ser adotado como um produto de mercado, deve ser no mínimo IP67, que significa *Ingress Protection* ou grau de proteção contra poeira e água (GONONI, 2019). Sugere-se encapsular o dispositivo de borda assim como são encapsulados os controladores e seus cartões.

As abordagens acima são propostas de melhorias, estudos e próximos passos para implantação desta importante tecnologia para monitorar os controladores lógico programáveis. Muitos benefícios podem ser obtidos desta integração e utilização desta tecnologia.

Edge computing é um modo de operação que utiliza o processamento das informações de forma distribuída (ASCENTY, c2023). A utilização de uma raspberry em comunicação com um PLC, é um exemplo deste modo de operação, no qual reduzirá o tráfego dos dados, uma vez

que estes serão tratados na borda. Isto pode reduzir custos com implantação, e manutenção dos servidores existentes dos atuais sistemas de controle. Atualmente os custos de instalação e manutenção dos sistemas de controle são muito altos, já que devem ser instalados em uma sala dedicada, com acesso restrito e em um ambiente climatizado, ou seja, necessitam de uma infraestrutura mínima padronizada e que possui alto custo.

Outro importante benefício desta utilização, é a segurança dos dados, uma vez que são armazenados em diferentes locais (em cada nó da rede). Caso algum sinistro ocorra, todos os demais nós possuem as mesmas informações o que torna mais fácil sua recuperação. A redução do uso da rede pelas empresas é outro aspecto importante, o que melhora a conectividade entre os sistemas e aplicações (CAO; LIU; SUN, 2020).

Esta solução pode ser uma solução para garantir a rastreabilidade dos dados, na Vale poderá ser utilizada para auditar os dados da Balança Ferroviária o que irá garantir a certificação junto ao INMETRO. Um importante benefício para este projeto, além dos benefícios já apresentados, será a redução dos custos e tempo manutenção, uma vez que com a implantação do projeto da balança o tempo de calibração do sistema será reduzido, tempos de correções e falhas serão mitigadas. Conseqüentemente com a redução dos tempos de manutenção, tem-se a redução de pessoas na área e aos riscos.

Para a ciência e para a indústria este projeto trará inúmeros benefícios, desde que as sugestões propostas sejam avaliadas, analisadas, estudadas e futuramente implantadas. Esta tecnologia pode vir para integrar a comunicação entre os sistemas de controle com segurança e confidencialidade.

## 5 CONCLUSÃO

A tecnologia *Blockchain*, apesar de nova, vem passando por vários processos de pesquisa e desenvolvimento. Desde o surgimento da tecnologia, diversos campos estão sendo atraídos por ela, principalmente onde há demanda pela confiabilidade dos dados, responsabilidade, confiança e segurança da informação.

No mundo integrado de hoje, com o surgimento de novas tecnologias e dos dispositivos IOT, e com o surgimento da Indústria 4.0, tem aumentado a demanda e necessidade de mecanismos de privacidade que são essenciais para a ampla compreensão e aceitação dos sistemas.

O paradigma da tecnologia *Blockchain* utilizada paralelamente a PLC's pode muito bem ser a solução que falta para garantir a rastreabilidade e armazenamentos dos dados que existem em um ambiente de produção, onde pode-se modificar dados durante uma manutenção preventiva ou corretiva. Através dela será possível realizar a autenticação dos parâmetros, garantindo assim, a segurança da informação. O projeto da Balança Ferroviária foi uma motivação e exemplo para a aplicabilidade desta integração, novas oportunidade também promissoras podem surgir para a utilização desta incorporação.

A utilização da tecnologia *Blockchain* para monitorar PLC e integrar as camadas da pirâmide dos sistemas de controle, trata-se de uma evolução interessante para a ciência. No entanto, faz-se necessário realizar mais estudos nessa área para melhorar a exibição e realizar modificações nos controladores sem dependência do *software* do proprietário, ou faz-se necessário o fabricante abrir a plataforma de desenvolvimento. Infelizmente, ainda há restrição de recursos para fins desta implantação, para que as modificações propostas sejam executadas.

Por se tratar de uma tecnologia nova, principalmente nos quesitos relacionados à integração com PLC's, diversos estudos serão necessários e desafios deverão ser superados para garantir a privacidade dos dados, modificação das lógicas de controle através da rede *Blockchain*. Muitos benefícios no que tange à segurança das informações, infraestrutura, interoperabilidade, padronização e em aspectos legais poderão ser alcançados após o sucesso destas medidas e implantação.

## Referências

- AGOSTINI, Nestor. Controladores Lógicos Programáveis. **Automação Industrial**, parte 6, p. 1-27, 2014.
- AIJAZ, Adnan; SOORIYABANDARA, Mahesh. The Tactile Internet for Industries: A Review. **IEEE**, v. 107, n. 2, p. 414-435, 2019.
- ALHARBY, Maher; van MOORSEL, Aad. Blockchain-based smart contracts: a systematic mapping study. *In*: NAGAMALAI, Dhinakaran *et al.* (ed.). **AIS, CSIT, IPPR, IPDCA**. [S.n.: s.l.], 2017. p. 125-140.
- APPOLINÁRIO, Fábio. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. [s.l.]: Atlas, 2011.
- ASCENTY. Os Benefícios da Edge Computing para o seu negócio. **Ascenty**, c2023. Disponível em: <https://ascenty.com/blog/artigos/beneficios-da-edge-computing-para-seu-negocio/#:~:text=A%20Edge%20Computing%20permite%20a%20coleta%2C%20armazenamento%20e,as%20despesas%20com%20internet%20das%20coisas%20%28IoT%29.%202>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- BANERJEE, Arnab. Chapter Three - Blockchain Technology: Supply Chain Insights from ERP. **Advances in Computers**, v. 111, p. 69-98, 2018.
- CARAMES, Tiago M. Fernandez; LAMAS, Ana Paula Fraga. **A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories**. **Ieee Access**, [s.l.], v. 7, p. 45201-45218, 2019.
- CAO, K. Y.; LIU, G. M.; SUN, Q. An Overview on Edge Computing Research. **IEEE Access**, v. 8, p. 85714-85728, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2991734.
- CHICARINO, Vanessa R. L. *et al.* Uso de Blockchain para Privacidade e Segurança em Internet das Coisas. *In*: SBCEDITORS (ed.). **Minicursos do XVII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais**. [S.l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321966650>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- CRESWELL, John W.; CRESWELL, David. **Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. [s.l.]: Sage publication, 2017.
- DIETRICH, Henning. **Ethereum: Blockchains, Digital Assets, Smart Contracts, Decentralized Autonomous Organizations**. [s.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. 360 p.
- GALLO, P. DeCyMo: Decentralized Cyber-physical System for Monitoring and Controlling Industries and Homes. **IEEE Explore**, [s.l.], p. 1-4, 2018.
- GARROCHO, C. *et al.* Towards a Methodological Approach for the Definition of a Blockchain Network for Industry 4.0. **The IEEE Computer Society**, [s.l.], 2020.
- GONONI, Ronaldo. IP67, IP68 e IPX7: entenda o que significam os graus de certificação IP. **Tecnoblog**, 2019. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/ip67-e-ip68-a-diferenca-entre-os-graus-de-certificacao->

ip/#:~:text=IP67%3A%20significa%20que%20o%20aparelho%20%20C3%A9%20protegido%20contra,cont%20%3ADnua%2C%20em%20geral%20at%20%3A9%203%20metros%20de%20profundidade%3B. Acesso em: 27 jan. 2023.

GULKER, M. Blockchain: Innovating Our Way to Economic Freedom?. **AIER**, 2017. Disponível em: <https://www.aier.org/research/blockchain-innovating-our-way-to-economic-freedom-2/>. Acesso em: 20 dez. 2022.

HOLLIFIELD, B. **A High Performance HMI ISA Water & Wastewater and Automatic Controls Symposium**. Orlando: [s.n.], 2012.

INOUE, Leonardo Yuji. **Interface IHM para controle e supervisão de entradas e saídas de um CLP via Profibusinoue**. 2018. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio/PR, 2018.

LUCENA, Antônio Unias de; HENRIQUES, Marco Aurélio Amaral. Estudo de arquiteturas dos blockchains de Bitcoin e Ethereum. *In*: IX Encontro de Alunos e Docentes do DCA/FEEC/UNICAMP, 9, Campinas/SP. **Anais [...]**. Campinas, p. [1-4], 2016.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. **Redes Industriais para automação industrial**. São Paulo: Saraiva, 2019.

MAW Aung; ADEPU, Sridhar; MATHUR, Aditya. ICS-BlockOpS: Blockchain for operational data security in industrial control system. **Pervasive and Mobile Computing**, [s.l.], v. 59, p. 1-13, 2019.

MULLET, Valentin; SONDI, Patrick; RAMAT, Eric. A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 4, p. 1-30, 2016. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.DOI.

NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **Bitcoin.org**, [2008]. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em 29 dez. 2022.

PYPI. pylogix 0.8.6. **Pypi**, 2022. Disponível em: <https://pypi.org/project/pylogix/>. Acesso em: 06 abr. 2021.

RASKIN, Max. The Law and Legality of Smart Contracts. **Georgetown Law Technology Review**, [s.l.], v. 304, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2959166>. Acesso em: 13 dez. 2022.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. Santa Maria/RS: Colégio Técnico Industrial UFSM, 2016. 102 p.

SILVEIRA, L.; LIMA, W. Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. **UFRN-PPgEE**, 2003. Disponível em: [https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1\\_13.pdf](https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf). Acesso em: 20 dez. 2022.

STOUFFER, Keith. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. **NIST Special Publication**, [s.l.], v. 800-82, revision 2, p. 1-67, 2014. Initial Public Draft.



ULRICH, Fernando. **Bitcoin: A Moeda Na Era Digital**. [s.l.]: LVM Editora, 2014. 123 p.

VOULGARIS, Spyros *et al.* Blockchain Technology for Intelligent Environments. **Future internet**, [s.l.], v. 11, n. 213, 2019.

WAZLAWICK, Raul. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. [s.l.]: Elsevier Brasil, 2014.

ZUNINO, S. V. C.; SAUTER, T. Industrial communication systems and their future challenges: Next-generation ethernet iiot and 5g. **Proceedings of the IEEE**, [s.l.], v. 107, n. 6 p. 944-961, 2019.