



Prêmio  
Tecnologia &  
Desenvolvimento  
Metroferroviários

**ANP**  
**TRILHOS**

**TIC TRENS**

**CPTM**

**31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

### **CATEGORIA 3**

## **MODERNIZAÇÃO NO SISTEMA DE CONTROLE E ARRECADAÇÃO DE PASSAGEIROS NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DA CPTM<sup>1</sup>**

### **SOBRE O AUTOR**

**Tiago da Silva de Souza** - Engenheiro elétrico formado pela Universidade de Mogi das Cruzes, especializado em Automação e Controle. Atualmente, desempenha a função de técnico de manutenção na CPTM, atua como instrutor no SENAI-SP e proprietário da Creative Soluções Elétricas, uma empresa especializada no setor de energia renovável. Com mais de 17 anos de experiência e com sólida atuação na área técnica da eletricidade, apaixonado por automação e sistemas embarcados, sua trajetória profissional inclui experiências em diversos setores, tais como o médico-hospitalar, automação industrial e transporte público. Ao longo da carreira, sempre se dedicou a atividades intrínsecas ao ramo da engenharia elétrica, incluindo o desenvolvimento de projetos, manutenções corretivas, preventivas e preditivas e execução de sistemas eletroeletrônicos. Essa experiência diversificada lhe proporcionou uma visão abrangente e habilidades técnicas refinadas, permitindo-o abordar em desafios com eficiência e inovação.

---

<sup>1</sup> Artigo vencedor na Categoria 3 do 12º Prêmio Tecnologia & Desenvolvimento Metroferroviários



**31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

### **CATEGORIA 3**

**MODERNIZAÇÃO NO SISTEMA DE CONTROLE E ARRECADAÇÃO DE**  
**PASSEGEIROS NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DA CPTM**



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

## **RESUMO**

O presente artigo visa detalhar de forma concisa a concepção de uma proposta de modernização do sistema de controle e arrecadação de passageiros nas estações ferroviárias da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) do estado de São Paulo. Este estudo identifica os principais obstáculos em manter este sistema operacional, bem como os desafios enfrentados pelas equipes de operação, manutenção, suprimentos e laboratório acerca do sistema atual. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, será apresentado um Produto Mínimo Viável (MVP), composto por duas partes essenciais: hardware e software, detalhando-se as ferramentas e componentes empregados para alcançar o resultado final do projeto. O artigo explorará conceitos de automação industrial, com ênfase na placa de desenvolvimento Arduino, amplamente utilizada no ramo da eletrônica de prototipagem que vem ganhando cada vez mais espaço na indústria. Será aprofundada a análise de como esta placa pode interagir com um sistema supervisório, o qual também será objeto de desenvolvimento neste empolgante artigo.

**Palavras-chave:** Automação, Arduino, sistemas ferroviários, supervisório e controle de acesso.



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

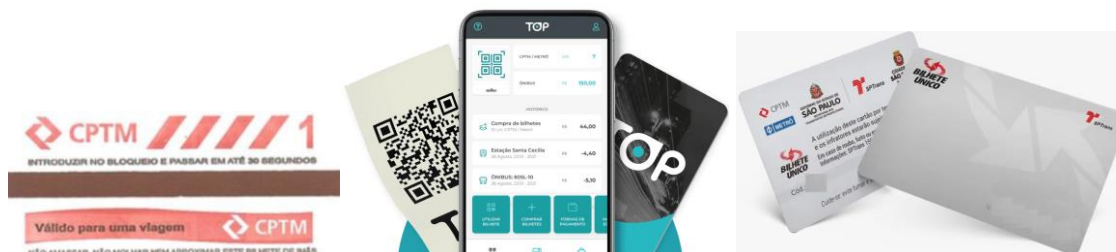
### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), constituída como empresa de economia mista em maio de 1992, administra uma extensa malha ferroviária que compreende cerca de 196 quilômetros. Atualmente, a CPTM opera 5 linhas e conta com um total de 57 estações, as quais servem 18 municípios da Região Metropolitana de São Paulo. Diariamente, o sistema transporta aproximadamente 1,9 milhão de passageiros por dia, evidenciando seu papel estratégico como elo vital na rede de mobilidade urbana da região.

A CPTM tem empreendido significativos esforços para a modernização de suas instalações e frota. Podem ser citados estudos para melhoria na manutenção de ativos, associados a melhor gerenciamento das obras. Adicionalmente, as estações mais antigas estão sendo requalificadas para se adequarem às normas de acessibilidade, com o propósito de melhorar a experiência e a acessibilidade para todos os usuários.

Dentre os sistemas que compõe a estrutura operacional da CPTM, este trabalho se propõe a analisar o Sistema de Controle e Arrecadação de Passageiros (SCAP). Esse sistema tem como função primordial a gestão do fluxo de entrada e saída de usuários entre as áreas de acesso restrito (área paga) e livre (área não paga) nas estações ferroviárias. Este sistema processa diferentes tipos de bilhetes e cartões, dos quais destacam os formatos *Edmonson*, *QR codes* e os *smartcards* conforme indicado na figura 1 abaixo.



**Figura 1** - Bilhetes e cartões disponíveis. **Fontes:** Acervo próprio, Autopass e Diário do Transporte.

O bilhete do tipo Edmonson foi o marco na cobrança tarifária para passageiros, introduzido ainda em 1974 pelo Metrô de São Paulo, anterior à criação da CPTM. Trata-se de um bilhete de papel com uma tarja magnética central, que indica a quantidade de viagens disponíveis para utilização. Contudo, esse modelo de bilhete encontra-se progressivamente em desuso, principalmente devido ao seu custo de produção elevado e à complexidade logística associada à sua distribuição e recolhimento. Em contrapartida, os bilhetes do tipo *QR code* emergem como uma alternativa mais econômica e eficiente, podendo ser impressos em papel simples ou gerados por meio de aplicativos para dispositivos móveis, facilitando a leitura diretamente na tela dos *smartphones*. Por fim, destacam-se os smart cards, uma forma de cartão magnético que realiza comunicação com a leitora por meio de rádio frequência. Esses cartões são classificados em diferentes categorias: o Bilhete Único, utilizado em âmbito municipal; o TOP, destinado a viagens intermunicipais; e, ainda em fase de implantação, a possibilidade de cobrança por meio de cartões bancários convencionais, que operam através das tecnologias de débito e crédito compatíveis com as bandeiras Elo, Mastercard e Visa. Essa última inovação visa simplificar o processo de pagamento para

## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

os usuários, integrando o sistema de transporte público às facilidades oferecidas pelos métodos de pagamento eletrônico já amplamente utilizados na sociedade.

O componente central do sistema em questão é o bloqueio eletrônico. Este dispositivo é constituído por duas partes, mecânica e eletrônica que trabalham em conjunto. Os bloqueios eletrônicos são montados em grupos, associados um ao lado do outro formando a linha de bloqueios que delimitam as áreas pagas e não pagas, conforme ilustrado na figura2.



**Figura 2** - Linha de bloqueios na estação da CPTM **Fonte:** Acervo próprio

A seção mecânica é essencialmente composta por uma estrutura robusta com revestimento em aço inoxidável, que é firmemente fixada ao pavimento da estação, com a finalidade de suportar o intenso fluxo diário de passageiros. Internamente, aloja-se o





## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

mecanismo responsável pelo movimento rotativo das hastes do tripé, configurado como um eixo dotado de três braços articulados, capaz de efetuar rotações tanto no sentido horário quanto no anti-horário, em consonância com o estado operacional do equipamento.

Por sua vez, a seção eletrônica é integrada por um conjunto de placas de controle, responsáveis pela gestão do processamento de bilhetes e cartões, além de incorporar contadores eletromecânicos, solenoides destinados ao travamento do mecanismo do tripé, sensores para detecção de passagem dos usuários e todos os componentes necessários para a administração eficiente do fluxo de entrada e saída dos passageiros nas estações ferroviárias.

Estes dispositivos se destacam pela sua robustez, característica imprescindível considerando o volume médio diário, os bloqueios operam numa média de 3 a 4 giros por min podendo chegar até 15 giros em horários de pico em um total de 20 horas diárias de operação. Segundo a especificação técnica do equipamento, a quantidade máxima de giros suportada é de 20 giros por minutos, tal informação evidencia a importância da alta disponibilidade destes equipamentos para a operacionalidade eficaz da empresa.

A configuração da linha de bloqueios muda ao longo do dia para atender a diferentes volumes de tráfego de passageiros. Por exemplo, na estação Brás (Linhas 11/12 da CPTM), durante o período da manhã, há mais bloqueios operando para saída, pois a quantidade de passageiros que saem da estação é superior a quantidade comparada de



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

passageiros para o sentido de entrada. Já no período da tarde, a situação inverte e o número de bloqueios operando para entrada é maior do que estão operando em modo de saída. Vale ressaltar que essas alterações são realizadas manualmente por um colaborador do time operacional e tal evento é feito individualmente em cada equipamento.

#### **1.1. EXPOSIÇÃO DOS PROBLEMAS**

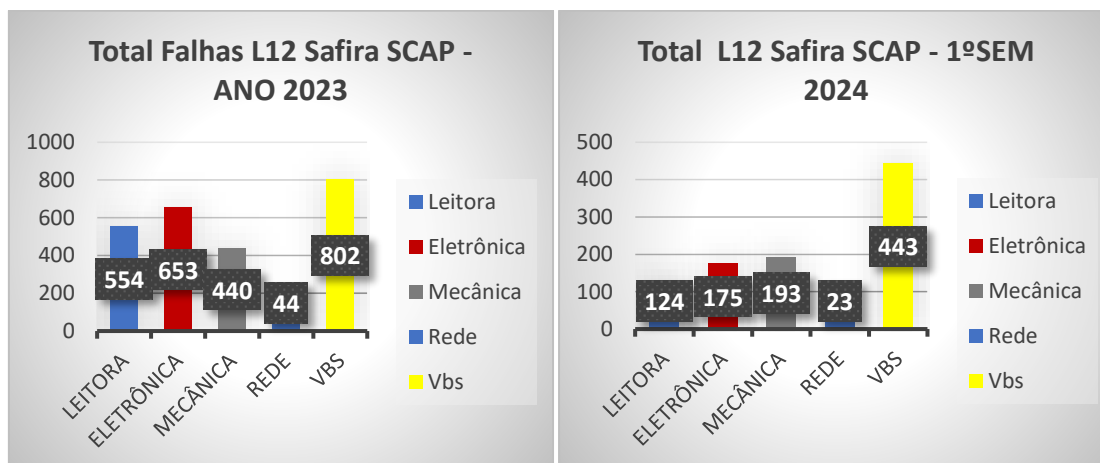
Para garantir que cada bloqueio, principal elemento do sistema SCAP esteja sempre em funcionamento, o time operacional da CPTM não dispõe de nenhuma supervisão remota exigindo assim a constante supervisão humana e sendo passível das falhas inerentes desta operação manual. A já descrita troca de configuração também exige intervenção manual, o que gera atividades repetitivas e requer o uso de mão obra maior.

A equipe de manutenção responsável pelo conserto dos equipamentos que apresentam falhas, precisa lidar com diferentes modelos de fabricantes e circuitos eletrônicos antigos. A dificuldade para obtenção de peças de reposição leva a adaptações de difícil rastreamento. Os dados obtidos a partir de apontamentos e análises manuais das falhas em uma das linhas da CPTM são apresentados na figura 3, referentes ao ano de 2023, e na figura 4 em relação ao 1º semestre de 2024.





## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 3 e 4** - Falhas Linha 12, ano de 2023 e 1º Sem. 2024 respectivamente. **Fonte:** Elaborado pelo Autor.

### 1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta para modernização e padronização da infraestrutura eletrônica do sistema de controle e acesso nas estações ferroviárias da região metropolitana de São Paulo, possibilitando por meio de um software supervisor, a gestão e o monitoramento efetivo dos ativos e equipamentos, com vistas a mitigar os desafios enfrentados pelas equipes responsáveis pela operacionalidade do sistema na CPTM.

### 1.3. RELEVÂNCIA

Este trabalho se reveste de significativa relevância, configurando-se como um marco inicial dentro da companhia, uma vez que fomentará a inovação em processos operacionais ágeis. Tal inovação abrange não apenas o controle dos equipamentos, mas também a captação de dados em tempo real, o que possibilita, por exemplo, a mensuração do fluxo de passageiros que acessam ou deixam uma determinada estação,



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

bem como a antecipação de cenários atípicos decorrentes de picos de demanda identificados pelo sistema supervisorio.

Com a implementação da solução proposta ou equivalente em toda a malha ferroviária, seria viável desenvolver um algoritmo para estimar o destino do fluxo de passageiros com base nos dados de entrada das linhas de bloqueios, conforme descrito por Nagasaki et al (2006) e Suzuki e Goto (2004). Adicionalmente, será viabilizada a implementação de estratégias de manutenção preditiva e ou preventiva, fundamentadas no histórico de utilização dos equipamentos ou no número de operações executadas, entre outras métricas passíveis de monitoramento através dos recursos disponibilizados pelo sistema supervisorio.

## **2. REFERENCIAL TEORICO**

Nesta seção serão apresentadas a revisão bibliográfica e os conceitos fundamentais usados para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, na seção 2.1, são apresentados detalhes do bloqueio eletrônico, na seção 2.2 as redes industriais e os protocolos comumente usados na comunicação entre dispositivos. Para realizar alcançar o objetivo propostos serão utilizados sistemas embarcados, descritos na seção 2.3 e por fim, sistemas supervisorios, apresentados na seção 2.4.



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### 2.1. BLOQUEIO ELETRÔNICO

As principais partes de um bloqueio eletrônico, apresentado na figura 5, são:

- a) **Leitor de bilhetes e cartões:** Equipamento que realizar a leitura, processamento e validação dos cartões, bilhetes e *QR codes* conforme listado na tabela 1;
- b) **Mecanismo do tripé:** Conjunto eletromecânico constituído por braços articulados ou portas deslizantes que controlam o acesso, permitindo ou travando a passagem após a validação do bilhete;
- c) **Painel eletrônico:** Componente central que processa as informações lidas e controla o mecanismo de travamento;
- d) **Interface de usuário:** Displays ou luzes indicadoras para fornecer indicação visual ao usuário sobre o status do bloqueio e a validação do bilhete;
- e) **Fonte de Alimentação:** Fornece energia em corrente contínua ao bloqueio, com sistemas de backup para garantir funcionamento em casos de falha de energia. A fonte em C.C está localizada internamente no bloqueio;
- f) **Dispositivos de Segurança:** Incluem sensores para detecção de passagens irregulares, solenoide para travamento e sistema de alarme para garantir a segurança operacional

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 5** - Bloqueio Eletrônico. **Fonte:** acervo próprio.

Os bloqueios podem operar de forma autônoma, com os comandos de alteração de estado operacional sendo efetuado diretamente no bloqueio, através do painel eletrônico de controle. Existem cinco estados de operação que estão descritos a seguir:

- Entrada:** Permite a passagem da área livre para a paga após o processamento de um bilhete válido, impedindo a passagem no sentido oposto, ou seja, da área paga para a área livre;
- Saída:** Permite a livre passagem da área paga para a área livre sem qualquer processamento de bilhete, impedindo a passagem no sentido oposto, ou seja, da área livre para a paga;
- Bidirecional:** O bloqueio funciona em qualquer sentido tanto para entrada e saída;



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- d) **Livre:** Neste estado o tripé permanece livre, permitindo a passagem em ambos os sentidos sem a necessidade de pagar pelo serviço. Normalmente este estado é utilizado em estações onde a transferência entre as áreas CPTM e Metrô é gratuita;
- e) **Manutenção:** Estado em que o bloqueio aceita somente bilhetes de testes e permite a execução de rotinas de diagnóstico de manutenção.

### 2.2. REDES INDUSTRIAIS

As necessidades de conexão de dispositivos em ambiente industrial, podem ser solucionadas por estruturas de redes industriais. Essas são estruturas de comunicação automatizada que gerenciam processos industriais, envolvendo atuadores, computadores, máquinas, sensores, interfaces, rádios de comunicações, fibra óptica, redes wireless industriais e robôs. Elas transmitem e compartilham dados entre si, garantindo um funcionamento eficiente dos processos produtivos.

Cada empresa e fábrica possui sua configuração de rede industrial de acordo com suas necessidades específicas. São utilizadas tecnologias diversas, segundo (CRAVO,2021) os principais tipos de rede são: *Modbus, ASI Interface, PROFIBUS, SensorBus, DeviceBus, FieldBus, Profinet, DeviceNet, ControlNet, EtherCAT, CANopen*, entre outras. Essas redes são implementadas em diferentes topologias (barramento, anel, estrela, árvore ou mista) e trocam dados entre dispositivos por meio de protocolos de comunicação. Esses protocolos são conjuntos de regras que regem a comunicação e estão interligados



### **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

através de um meio físico, que pode ser fibra óptica, cabo par trançado com blindagem STP (shielded twisted pair) ou sem blindagem UTP (unshielded twisted pair), ou até mesmo redes sem fio (wireless).

A aplicação das redes industriais tornou-se necessária devido ao crescimento acelerado das indústrias, que tem tornado os processos cada vez mais variáveis e complexos. Sem uma comunicação eficiente, os equipamentos podem não funcionar como esperado, comprometendo a operação como um todo.

### **2.3. SISTEMAS EMBARCADOS PARA PROTOTIPAGEM**

A leitura dos bilhetes, controle do movimento do mecanismo do tripé e demais funções dos bloqueios requerem um conjunto de componentes eletrônicos denominado sistema embarcado. O desenvolvimento de um sistema embarcado específico está além do escopo deste trabalho, porém com o surgimento e popularização de plataformas como Arduino (KUSHNER, 2011) é possível construir, de maneira rápida e barata, protótipos que possibilitem a validação da solução proposta.

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, caracterizada por um hardware e software de fácil utilização, destinada à criação de projetos eletrônicos interativos. Com esta plataforma, é possível projetar e desenvolver dispositivos capazes de interagir com objetos do ambiente real. As placas Arduino funcionam como uma ferramenta de controle eletrônico, capazes de ler entradas digitais ou analógicas através





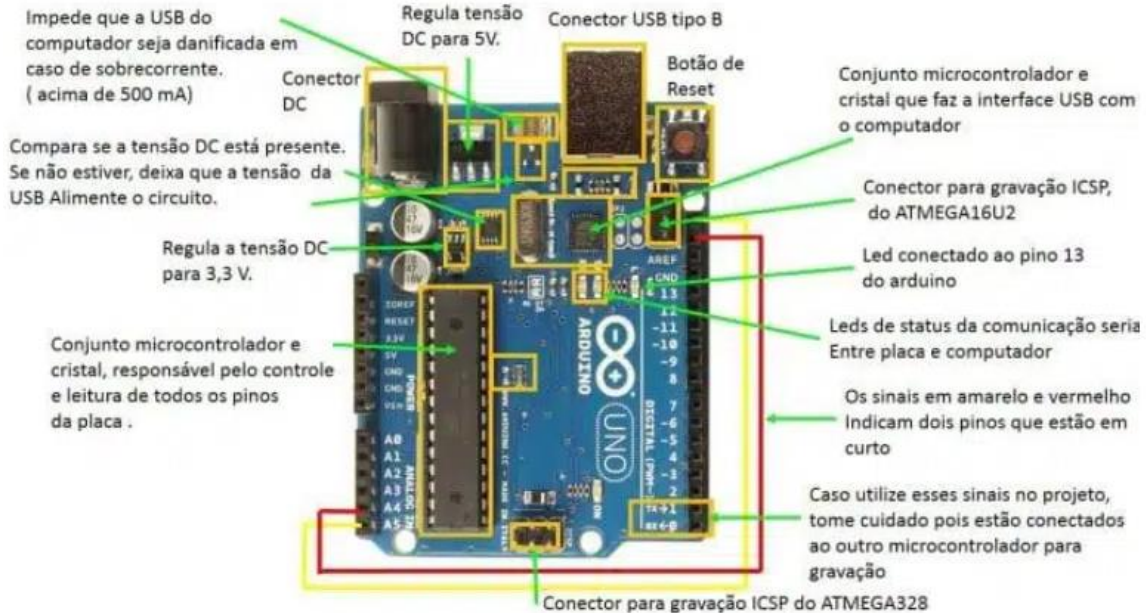
### **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

de um microcontrolador integrado com um botão por exemplo ou um sensor de proximidade onde esses podem ser usados para acionar uma saída e ligar um motor, uma lâmpada e até mesmo acionar um alarme (BANZI; SHILOH,2022).

Dentre as diferentes placas disponíveis na família Arduino, este trabalho destaca o Arduino Uno, placa precursora deste mundo da prototipagem, que inclusive é o foco deste trabalho e utiliza o microcontrolador ATmega328P. Podemos citar outras placas como o Arduino Mega, equipado com o microcontrolador ATmega2560, e o Arduino Nano, que utiliza o mesmo ATmega328, mas em um formato mais compacto. Além dessas citadas, existem outras placas de desenvolvimento amplamente utilizadas atualmente, como a ESP32 e o STM32, que podem ser programadas no mesmo ambiente do Arduino IDE.

A figura 6 mostra a placa de desenvolvimento utilizada, Arduino Uno versão R3, onde (Souza, 2013) evidencia seus principais recursos como: conector ICSP para gravação de firmware através de um programador ATMEL em casos de futuras atualizações, conector USB para comunicação entre placa de desenvolvimento e microcomputador, conector de alimentação externa (9Vcc recomendado), um ressonador cerâmico de 16 MHz, botão de reset e 14 GPIOs, sendo que seis destes podem ser usados como saídas PWM3 e outros seis como entradas analógicas. Apesar da disponibilidade de conexão para gravador (ICSP), as placas possuem um *bootloader* que permite a programação através da porta USB sem necessidade de *hardware* adicional de programação de microcontroladores.

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 6** - Placa de desenvolvimento Arduino Uno e seus recursos.

**Fonte:** <https://embarcados.com.br/arduino-uno/> (SOUZA, 2013)

O Arduino IDE, como o próprio nome diz, é um ambiente de desenvolvimento integrado, onde é possível criar o código desejado, compilá-lo e transferi-lo para o microcontrolador. Nesta ferramenta é possível instalar diversas bibliotecas, que contêm um conjunto de instruções predefinidas e servem para facilitar e simplificar a realização de algumas tarefas, principalmente o controle de dispositivos externos ao Arduino. A linguagem de programação utilizada é muito semelhante a linguagem C/C++. Uma grande quantidade de recursos, tutoriais e exemplos é disponibilizada na internet pela comunidade de usuários e desenvolvedores.

Mesmo que o desenvolvedor não tenha facilidade na linguagem de programação C/C++, existem outros softwares de código aberto que possibilitam a programação em outras linguagens de programação, como é o caso do OPEN PLC. Este software permite



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

programação nas 4 linguagens definidas na norma IEC 61131-3, que padroniza as linguagens de programação para Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). As linguagens suportadas são: LD (*Ladder Diagram*), FBD (*Function Block Diagram*), ST (*Structured Text*) e SFC (*Sequential Function Chart*). O *OpenPLC* também possui um ambiente de desenvolvimento de programas compatível com qualquer sistema de supervisão utilizando o protocolo Modbus RTU ou TCP-IP. Este software foi escolhido neste trabalho devido a essas facilidades e, também, pela experiência prévia do autor com outros fabricantes de CLP.

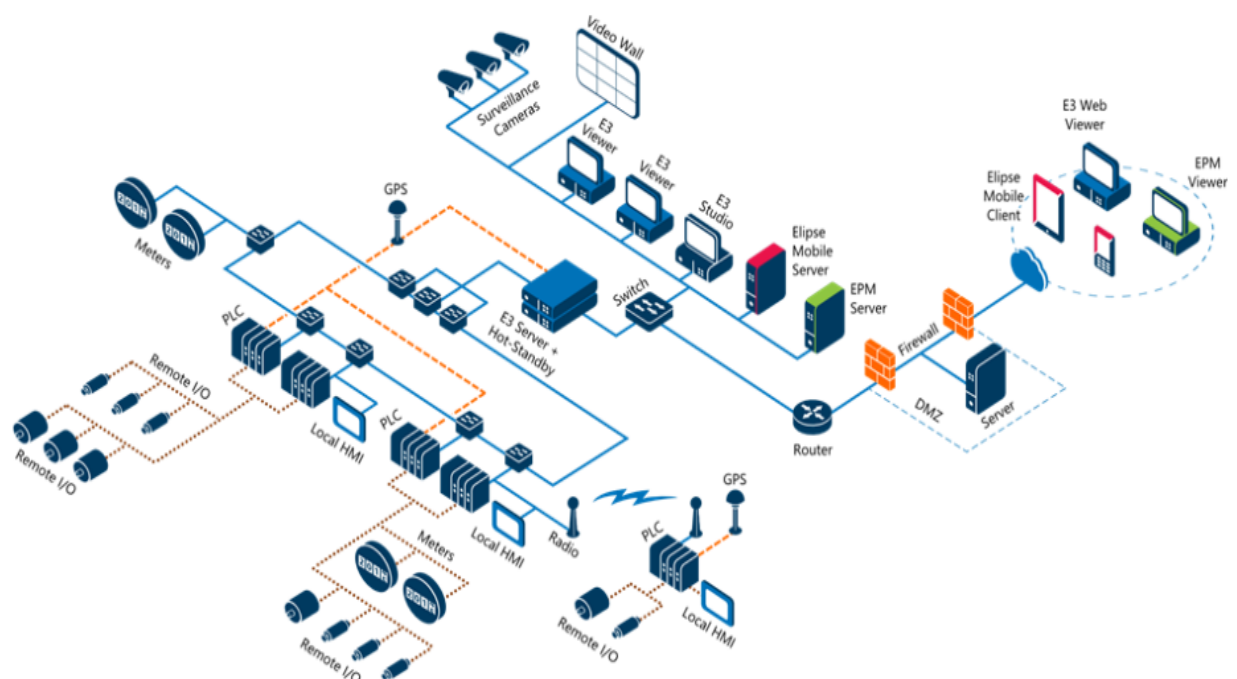
## **2.4. SISTEMA SUPERVISÓRIO**

Para monitorar, ajustar e/ou armazenar informações de processos industriais em sistemas computacionais são comumente utilizados sistemas de supervisão (BRANQUINHO, 2014). Eles implementam drivers de comunicação para as principais tecnologias de comunicação industriais e possuem um ambiente que facilita a implementação de telas gráficas de monitoramento, armazenamento em banco de dados e controle de acesso entre outras funcionalidades. Neste projeto foi utilizado o sistema de supervisão Elixir E3, plataforma HMI/SCADA para aplicações avançadas e distribuídas, ideal para sistemas de missão crítica e centros de controle.

É uma ferramenta SCADA para monitoramento e controle de processos, oferecendo escalabilidade e constante evolução para diversos tipos de aplicações, desde simples interfaces HMI até complexos centros de operação em tempo real. Na figura 7 é possível

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

observar os recursos disponibilizados por esta ferramenta, arquitetura onde a mesma pode ser inserida e seus principais módulos: E3 Studio, ambiente de configuração e desenvolvimento do supervisor; E3 Server, servidor da aplicação onde são gerenciados os principais processos do sistema e por fim o E3 Viewer que é a interface gráfica de operação com o usuário.



**Figura 7** – Arquitetura de rede industrial e ambiente onde o ELIPSE E3 é inserido.

**Fonte:** <https://embarcados.com.br/arduino-uno/ElipseE3>.

### 3. METODOLOGIA E SOLUÇÃO DO PROBLEMA

A solução proposta ilustrada na figura 8, envolve a instalação de um sistema embarcado em cada um dos bloqueios para realizar o controle e monitoramento de seus componentes. Esses sistemas serão interligados em rede utilizando uma topologia tipo barramento com meio físico RS-485 através do padrão UART e conversores apropriados.



## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

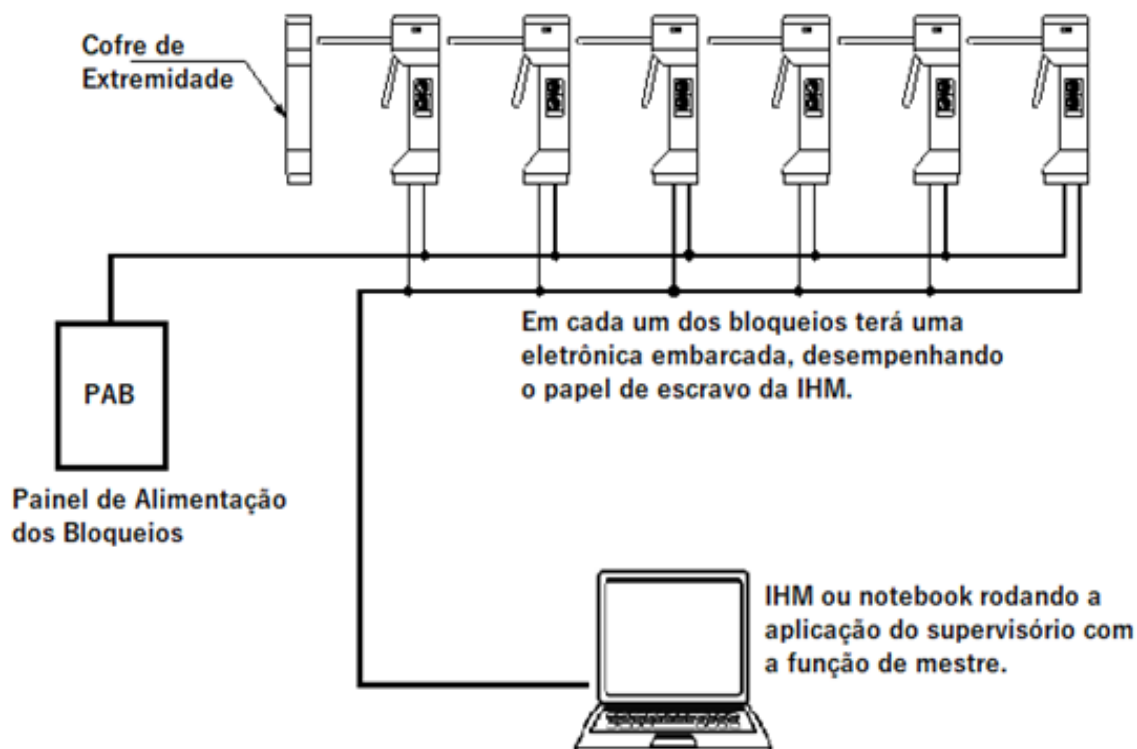
O monitoramento será realizado por um sistema de supervisão instalado em um computador localizado na sala de serviço operacional (SSO), um local estratégico nas estações da malha ferroviária, pois permite uma visão direta da linha de bloqueios, facilitando a operação do sistema de supervisão. Também será possível o centro de controle operacional gerenciar e ou controlar o sistema conforme as necessidades operacionais.

Outra arquitetura possível, seria com um único Controlador Lógico Programável (CLP) por linha de bloqueio, centralizando o controle total dos equipamentos de acesso à estação. Este CLP permitiria a conexão em rede com outras estações, possibilitando que um sistema SCADA gerenciase a rede como um todo, e o centro de controle operacional da CPTM poderia monitorar não apenas uma estação, mas todas as estações da malha ferroviária. Esta solução está além do escopo deste trabalho devido aos custos envolvidos.

Para este projeto, optou-se pelo padrão de comunicação RS-485 devido ao seu baixo custo de implementação e à facilidade de trabalho com o meio físico. Vale ressaltar que nas estações da CPTM, especificamente nas linhas 11, 12 e 13, não existem linhas de bloqueios com mais de 32 equipamentos, o que é o limite máximo de dispositivos suportados por este tipo de rede industrial.

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 8** – Arquitetura proposta para solução do problema. **Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

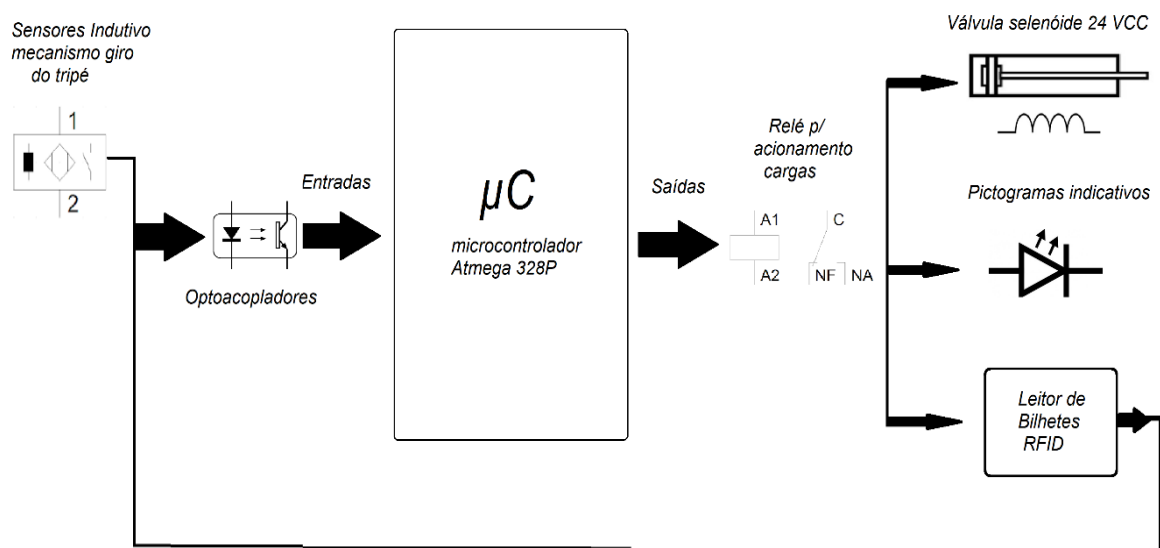
### 3.1. DIAGRAMA DE BLOCOS DA ELETRÔNICA EMBARCADA

O microcontrolador Atmega 328P da placa de desenvolvimento Arduino Uno foi escolhido para este projeto devido à disponibilidade de todos os recursos necessários para a execução do mesmo e também ao seu baixo custo de aquisição. Devido ao caráter de prova de conceito deste trabalho apenas uma unidade foi implementada e apresentada aos gestores da CPTM. É importante destacar que existem diversos CLP's no mercado que poderiam aumentar significativamente a robustez do projeto, mas que exigiriam um investimento maior.

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A figura 9, resume de forma simplificada os componentes utilizados no projeto. O uso de opto-acopladores foi necessário porque os sinais dos sensores e do leitor de cartões operam com tensão de 24 VCC, enquanto o Arduino funciona com 5 VCC nos pinos de entrada e saída. Para o acionamento de cargas como por exemplo, a solenoide, o pictograma e o sinal de decremento de crédito do leitor, foram utilizados relés, já que eles suportam uma tensão de 24 VCC e uma corrente significativa da fonte de alimentação, o que não seria possível diretamente pelas saídas do microcontrolador.



**Figura 9** – Diagrama em blocos da eletrônica embarcada. **Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

### 3.2. PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA EMBARCADO

Conforme mencionado em ferramentas de programação, o software utilizado para a programação do Arduino Uno foi o OpenPLC e a linguagem de programação escolhida foi a *Ladder*, uma linguagem gráfica comumente utilizada em sistemas industriais que





### **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

permite a utilização desde funções binárias básicas até funções matemáticas mais complexas. Foi uma das primeiras linguagens a surgir para a programação de CLPs, é a mais comum e difundida no meio industrial. Diante dessas afirmações e até mesmo pensando em uma futura atualização do software por outros colaboradores da CPTM é que esta linguagem de programação foi a ideal para o projeto. A programação desenvolvida é apresentada no APÊNDICE A.

#### **3.2.1. ENDEREÇOS FÍSICOS**

OpenPLC é um controlador lógico programável de código aberto baseado em um software fácil de usar. É o primeiro PLC de código aberto padronizado totalmente funcional, tanto em software quanto em hardware. O projeto foi criado de acordo com a norma IEC 61131-3, que define a arquitetura básica de software e linguagens de programação para CLPs. Possui compatibilidade com diversas plataformas de *hardware* distintos, com diferentes configurações de módulos de entrada e saída que vem sendo usado principalmente em automação industrial e residencial, internet das coisas e pesquisa SCADA. O APÊNDICE B contém a descrição das variáveis, tipo e localização no Arduino Uno para este projeto.

#### **3.3. PROTÓTIPO DA PLACA DE CONTROLE**

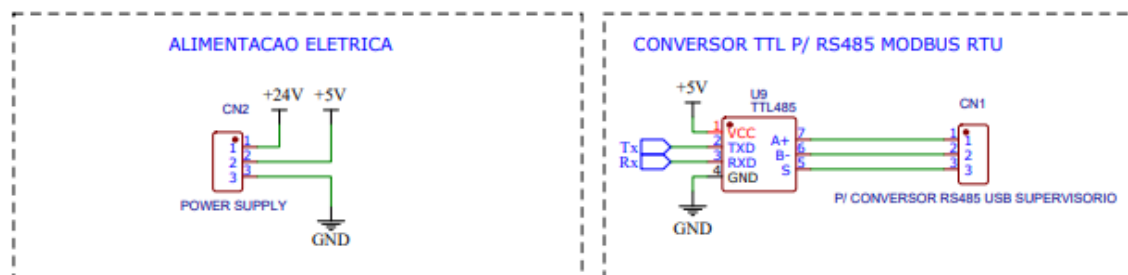
O esquema elétrico é apresentado conforme as figuras 10, 11 e 12, sendo dividido em cinco partes distintas que compõem a placa protótipo da eletrônica embarcada, a saber:



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

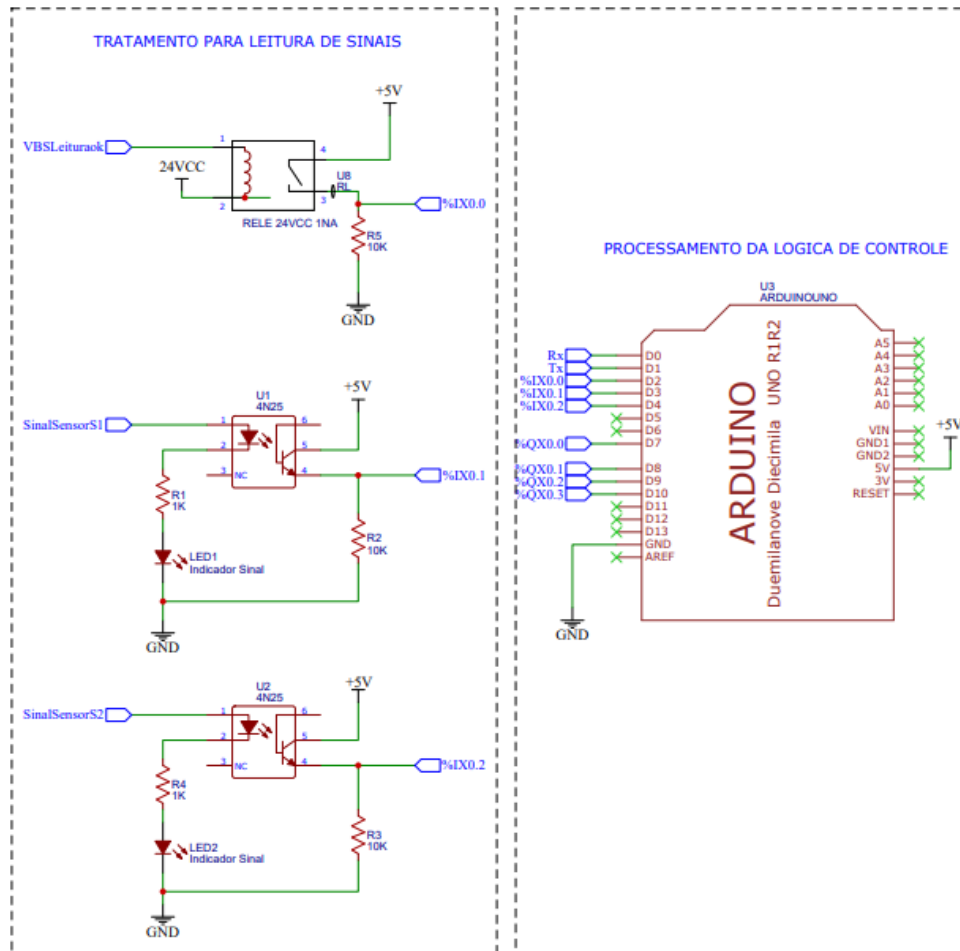
alimentação elétrica, conversor TTL para RS485, tratamento de sinais, processamento da lógica de controle e acionamento das saídas.

A seção de alimentação elétrica conta com dois níveis de tensão: 24 volts e 5 volts. O nível de 24 VCC destina-se à alimentação dos sensores do mecanismo do tripé, do leitor de cartões e dos pictogramas, enquanto os 5 VCC é exclusivo para o Arduino Uno.



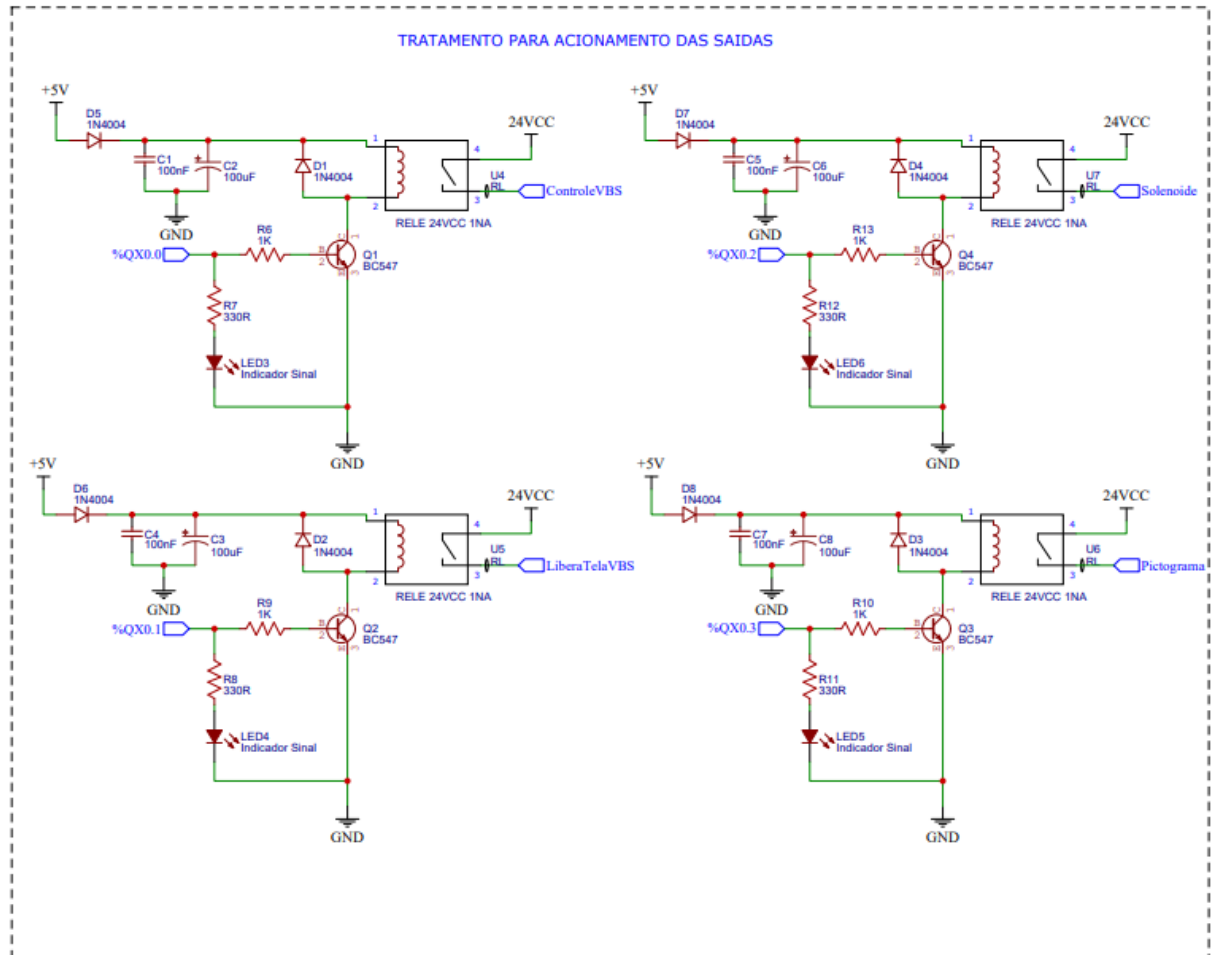
**Figura 10** – Alimentação elétrica e conversor TTL p/ RS485. **Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



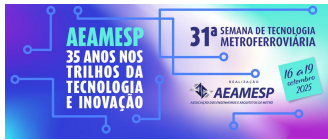
**Figura 11** – Tratamento de sinais e processamento da lógica de controle. **Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 12** – Tratamento para acionamento das saídas. **Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

Quanto ao tratamento dos sinais de entrada, este é essencial, uma vez que dispositivos como sensores e leitor de cartões operam em 24VCC, enquanto o limite máximo de tensão para os pinos de entrada do Arduino Uno é de 5VCC. Para compatibilizar esses níveis de tensão, foi utilizado um relé que, ao ser acionado, envia um sinal de nível lógico zero (GND) ao Arduino, indicando que o leitor de cartões autorizou a passagem de um usuário para entrada da estação. Adicionalmente, empregaram-se dois circuitos com



Prêmio  
Tecnologia &  
Desenvolvimento  
Metroferroviários

ANP  
TRILHOS

TIC TRENS

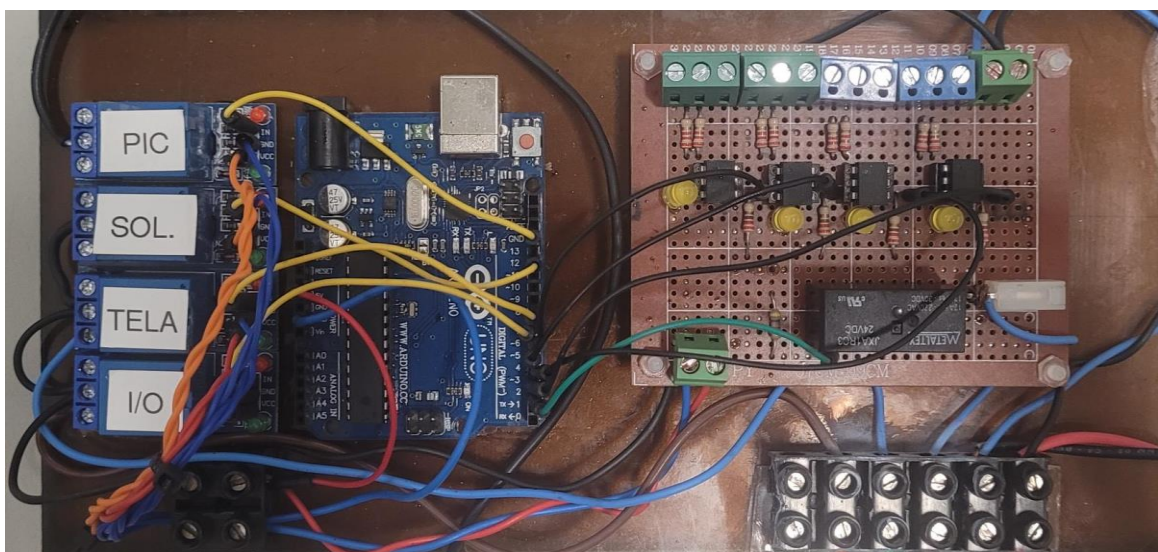
CPTM

### **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

opto-acopladores para converter os sinais dos sensores do mecanismo do tripé de 24 para 5 VCC.

Os acionamentos dos dispositivos de controle, como a solenoide, os indicadores visuais (pictogramas), o modo de operação do bloqueio eletrônico e o controle da tela do leitor de cartões, foram utilizados os shields de relé. Isso permite que as saídas do Arduino, que são de baixa potência, possam comandar dispositivos que requerem maior potência.

A figura 13 exibe o protótipo da eletrônica embarcada. Para a sua construção, utilizou-se a própria placa de desenvolvimento Arduino Uno, além de uma PCI (placa de circuito impresso) padrão perfurada, com dimensões de 10x20 cm. A intenção é que, após a aprovação do protótipo, seja desenvolvida uma PCB (placa de circuito impresso) profissional, visando à produção em larga escala, com o objetivo de reduzir ainda mais os custos do projeto.



**Figura 13** – Placa protótipo. **Fonte:** Acervo autor.

A figura 14 evidencia todas as partes do conjunto de controle removidas do bloqueio eletrônico a partir da modernização realizada ao longo deste trabalho, sendo elas: leitora de bilhetes tipo *Edmonson*, painel de controle e as placas eletrônica de interfaces do bloqueio.



**Figura 14-** Partes interna substituídas pela eletrônica embarcada desenvolvida. **Fonte:** Acervo autor

### 3.4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO

A figura 15 mostra o resultado do supervisor desenvolvido com auxílio do software Eclipse E3 bem como um mapa orientativo da navegação entre telas. A função de cada uma das telas é descrita a seguir:





## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

- 1ª) **Tela Login:** Permite que os usuários do sistema acesse o supervisório através de nome de usuário e senha previamente cadastrado pelo administrador;
- 2ª) **Tela inicial de navegação entre telas:** Tela inicial contendo um menu na lateral esquerda com botões de navegação para as telas de configuração, contagem de passageiros, previsão de receitas, indicadores de manutenção e histórico anual de passagens;
- 3ª) **Tela de configuração da Linha de bloqueios:** Auxilia o time operacional na configuração dos equipamentos na linha de bloqueios da estação, onde estão disponíveis cinco modos de operação do bloqueio (entrada, saída, livre, bidirecional ou manutenção). Ela, também, possibilita a obtenção da informação de quantidade de giros realizados para entrada ou para saída de cada equipamento no dia atual;
- 4ª) **Tela de contagem de passageiros:** Auxilia o time operacional com dados estatísticos da quantidade de passagens no dia, na semana, no mês corrente e no mês anterior para efeito de comparação;
- 5ª) **Tela de Receitas:** Tela voltada aos gestores em geral da companhia ou colaboradores do time financeiro, pois, esta tela auxilia na estimativa financeira arrecadada diariamente, semanalmente e mensalmente;
- 6ª) **Tela de indicadores de manutenção:** É uma interface dedicada a gestores de manutenção, engenheiros e técnicos, permitindo uma visão clara da saúde física e operacional dos equipamentos por meio dos seguintes indicadores:





## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. **MTBF** (*mean time between failures*): Tempo médio entre falhas, sendo este um dos indicadores mais importantes para o setor de manutenção, ele mede a confiabilidade de uma máquina ou equipamento;
2. **MTTR** (*mean time to repair*): Tempo médio para reparos, ele analisa o tempo que os colaboradores levaram para colocar a máquina funcionamento desde a sua parada medindo assim a habilidade da equipe em consertar falhas e;
3. **Disponibilidade**: Indicador que mostra o tempo que a máquina está acessível para operar, de acordo com o programado. Esse valor é o maior objetivo da gestão de manutenção. Quanto maior esse valor, melhor.

Essa tela traz inovação disruptiva dentro do time de manutenção da CPTM, uma vez que será possível ter dados e histórico de falhas de maneira mais precisa que o modo atual, permitindo assim uma manutenção preditiva efetiva e maior previsibilidade das falhas já conhecidas em função do desgaste dos equipamentos;

7ª) **Tela Histórico Anual de Passagens**: Tela para auxiliar o time operacional a entender os meses com maior fluxo e antecipar recursos de mão de obra operacional nos meses críticos e ou até mesmo para o time de manutenção em executar as preventivas nos meses de fluxo reduzido onde o impacto é menor com os passageiros.





## **31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

forma a permitir gerenciamento (navegação entre telas, visualizações de parâmetros e indicadores) e controle (intertravamento e escolha do modo de operação) em tempo real dos equipamentos.

As funcionalidades do supervisório são de suma importância para o time operacional, pois prometem gerar benefícios como a redução de mão de obra em tarefas rotineiras, tais como a configuração da linha de bloqueios e a contagem de passagens. Essas atividades, antes manuais e morosas, serão transformadas em processos automatizados e ágeis, executados remotamente via IHM ou por um computador numa sala operacional. Após a implementação do supervisório, os dados mensais de contagem servirão como valiosas estatísticas, possibilitando estudos sobre períodos específicos do ano em que o fluxo de passageiros se intensifica numa determinada estação, o que permitirá prever demandas atualmente imprevisíveis.

## **5. CONCLUSÃO**

Ambos os projetos desenvolvidos, conjunto eletrônico e o supervisório, cumpriram suas metas e demonstraram alto desempenho. Mesmo após um período relativamente curto de testes, observou uma perspectiva de melhoria comparada ao atual sistema, o que impacta diretamente na disponibilidade do equipamento, um indicador crucial ligado ao índice de satisfação dos clientes, já que eles não se depararão mais com equipamentos indisponíveis para manutenção ao precisarem dos serviços da CPTM.



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A solução proposta neste trabalho encontra-se em consonância com a política e a missão da empresa, que visam oferecer um serviço de transporte de qualidade e fazer com que a viagem dos passageiros seja uma experiência única. Além disso, o sistema supervisorio teria a capacidade de controlar e monitorar outros sistemas da estação, como a iluminação, escadas rolantes, elevadores, consumo dos reservatórios de água potável e de reuso, entre outros. Isso é possível devido à vasta gama de drivers disponíveis no software Elipse E3, que permite a integração com diferentes dispositivos de diferentes fabricantes simultaneamente.

Embora o projeto desenvolvido neste artigo tenha sido especificamente adaptado para as estações da CPTM, é possível adaptar a solução para ser utilizada em outros locais de grande porte com elevado fluxo de pessoas, como estádios de futebol, shows e eventos com grandes públicos. A CPTM pode se beneficiar deste estudo para desenvolver tecnologias e soluções aplicáveis e oferecer essa valiosa mão de obra a outras empresas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

**A Companhia | CPTM.** Disponível em: <<https://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/a-companhia.aspx>>;

BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting started with Arduino**. [S. l.]: Maker Media, Inc., 2022. 2022;

BRANQUINHO, Marcelo Ayres; SEIDL, Jan; CARDOSO DE MORAES, Leonardo. **Segurança de Automação Industrial e SCADA**. 1. ed. São Paulo: Elsevier - Campus, 2014;

CRAVO, E. **Redes Industriais: o que são, tipos e vantagens** (Guia Completo). Kalatec Automação, 2021. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/redesindustriais/>;



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

FREITAS, C. M. **Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações**. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/protocolo-modbus/>>;

FREITAS, C. M. **Redes de comunicação em RS-485**. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/redes-de-comunicacao-em-rs-485/>>;

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. **Design Principles Industrie 4.0 Scenarios**, Dortmund, 2015;

KUSHNER, D. **The making of arduino**. IEEE spectrum, [s. l.], v. 26, p. 1–7, 2011;

Nagasaki, Y., Asuka, M., Koyama, K., “A fast method for estimating railway passenger flow”, Computer in stations, pg. 179-187, 2006;

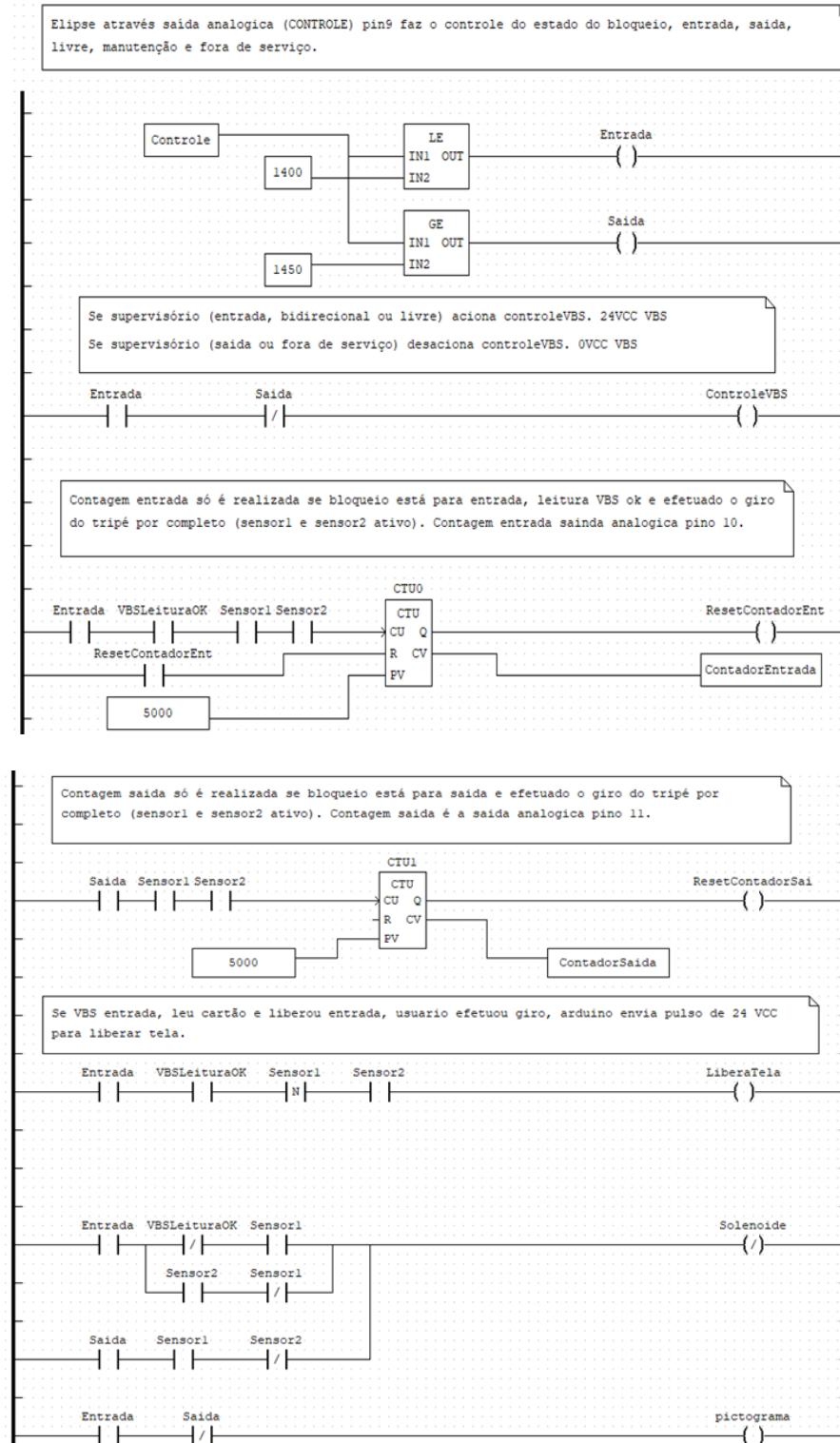
ROGERIO, A. O. **Especificação técnica do sistema de controle e arrecadação de passageiros**, CPTM, São Paulo, 2008;

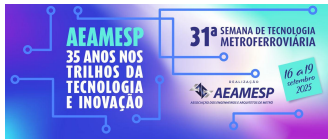
SOUZA, F. **Arduino UNO**. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/arduino-uno/>>.

Suzuki, S., e Goto, K. em “**Estimation of Passenger Flow from Vehicle Air Spring Pressure and Automatic Ticket Checking Data**” (RTRI Report, Vol. 18, pp. 39-44, 2004).

## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO LADDER





Prêmio  
Tecnologia &  
Desenvolvimento  
Metroferroviários



## 31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

#### APÊNDICE B – ENDEREÇAMENTO

| #  | Nome             | Tipo | Endereço | Descrição                                                                                                       |
|----|------------------|------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | VBSLeituraOK     | BOOL | %IX0.0   | Pino entrada digital nº 2 arduino. Libera a entrada do usuário na estação caso o bilhete tenha credito          |
| 2  | Sensor1          | BOOL | %IX0.1   | Pino entrada digital nº 3 arduino. Faz a leitura do sensor 1 no mecanismo de giro do bloqueio.                  |
| 3  | Sensor2          | BOOL | %IX0.2   | Pino entrada digital nº 4 arduino. Faz a leitura do sensor 2 no mecanismo de giro do bloqueio.                  |
| 6  | ControleVBS      | BOOL | %QX0.0   | Pino saída digital nº 7 arduino. Seleção modo operação VBS                                                      |
| 7  | LiberaTela       | BOOL | %QX0.1   | Pino saída digital nº 8 arduino. Pulso que libera a tela do leitor para uma nova entrada.                       |
| 8  | Solenoide        | BOOL | %QX0.2   | Pino saída digital nº 12 arduino. É acionada impedindo passageiro de entrar na estação sem pagar pelo serviço.  |
| 9  | Pictograma       | BOOL | %QX0.3   | Pino saída digital nº 13 arduino. Aciona o pictograma, verde para entrada e vermelho para saída.                |
| 10 | Controle         | INT  | %QW0     | Pino saída analógica nº 9 arduino. É utilizado um número inteiro para controle do modo de operação do bloqueio. |
| 11 | ContadorEntrada  | INT  | %QW1     | Pino saída analógica nº 10 arduino. Contabiliza o número de entradas                                            |
| 12 | ContadorSaida    | INT  | %QW2     | Pino saída analógica nº 11 arduino. Contabiliza o número de saídas.                                             |
| 13 | Entrada          | BOOL |          | Modo de operação ENTRADA do VBS                                                                                 |
| 14 | Saída            | BOOL |          | Modo de operação SAIDA do VBS                                                                                   |
| 15 | CTU0             | CTU  |          | Contador de passagens para Entrada                                                                              |
| 16 | CTU1             | CTU  |          | Contador de passagens para Saída                                                                                |
| 17 | ResetContadorEnt | BOOL |          | Reset contador entrada                                                                                          |
| 18 | ResetContadorSai | BOOL |          | Reset contador saída                                                                                            |