



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

DIGITALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO METROVIÁRIA: USO DE IOT E
INSTRUMENTAÇÃO ESTRATÉGICA PARA RASTREABILIDADE

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A sinalização metroferroviária exige altíssima disponibilidade [1]. Este trabalho apresenta o emprego de conceitos de Manutenção 4.0 por meio da aplicação de sensores inteligentes e conectividade em ativos de via, utilizando o Circuito de Via Reed como modelo para o desenvolvimento de uma plataforma de diagnóstico remoto. O objetivo principal é prover rastreabilidade integral para ocorrências de falsas ocupações intermitentes, permitindo que a equipe de manutenção identifique com precisão o ponto de origem da falha (Amont ou Aval) antes mesmo do deslocamento até a via.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dessa forma, elimina-se a subjetividade no diagnóstico de eventos que não se reproduzem durante inspeções presenciais, transformando um ativo “cego” em um sistema monitorado 24 horas por dia, sete dias por semana, capaz de correlacionar variáveis elétricas e térmicas.

Os sistemas de sinalização e intertravamento metroferroviário formam a espinha dorsal da segurança operacional. Nesse contexto, as falhas intermitentes em circuitos de via Reed representam um dos maiores desafios para a manutenção, pois frequentemente “desaparecem” quando a equipe chega ao local. Isso gera diagnósticos inconclusivos, repetidos acessos à via e consumo ineficiente de janelas operacionais.

Enquanto a indústria frequentemente concentra esforços no monitoramento de ativos eletromecânicos, o sistema de detecção de trens costuma operar sob o problema da “caixa-preta”, reportando apenas o estado final (ocupado ou livre), sem detalhar as oscilações na recepção do sinal.

Para solucionar essa lacuna tecnológica, este trabalho propõe a instrumentação estratégica das caixas Amont e Aval. Como esses equipamentos vitais ficam instalados e distribuídos ao longo de toda a extensão da via férrea, a precisão diagnóstica é fundamental para evitar deslocamentos cegos da equipe e reduzir o MTTR (Mean Time To Repair), aumentando a confiabilidade do carrossel de trens.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1 - Caixa CNT 08.



Figura 2 - Caixa CNT 08.

Fotos da caixa CNT08 instalado no trecho entre as estações de Coelho Neto - Acari na linha 2.

2. ARQUITETURA DO SISTEMA E INDEPENDÊNCIA TECNOLÓGICA

A solução técnica consiste na instrumentação estratégica das caixas Amont e Aval através de sensores integrados a uma interface de dados em nuvem. Diferente de abordagens tradicionais de mercado baseadas em plataformas comerciais proprietárias (que geram dependência de fabricantes e alto custo de licenciamento), este projeto destaca-se pela utilização de hardware e firmware desenvolvidos internamente.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

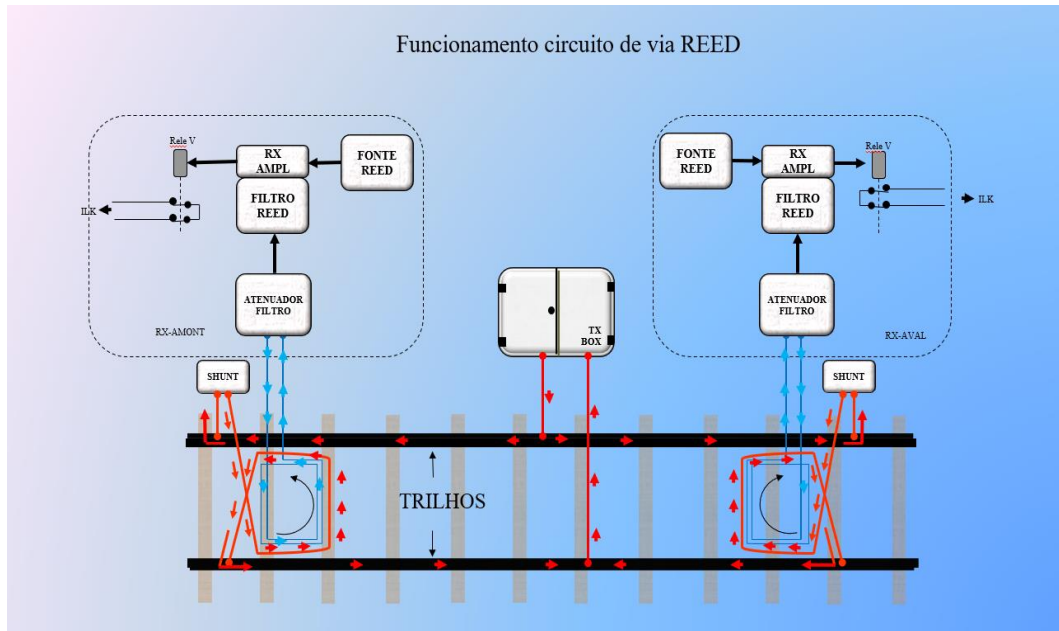


Figura 3 - Esquema de funcionamento do circuito de via REED.

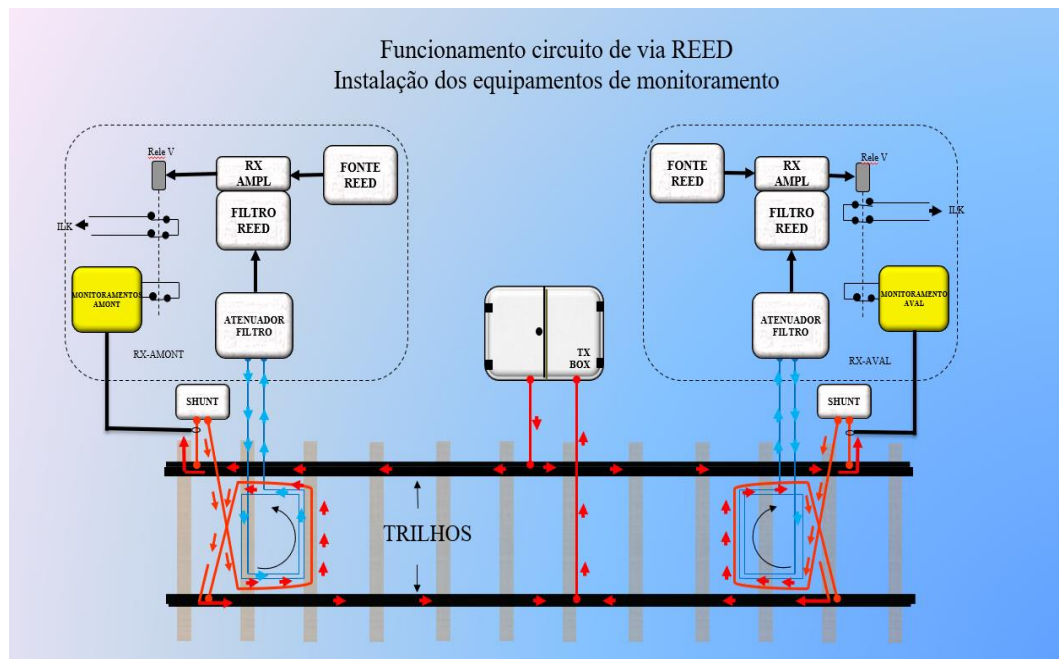


Figura 4 - Esquema de funcionamento do circuito de via REED junto com a caixa de monitoramento



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Processadores de baixo custo (como as linhas ESP32) atuam na borda (*Edge Computing*) realizando a aquisição de dados [2]. Para garantir a precisão e a robustez necessárias no ambiente metroferroviário, a leitura das grandezas elétricas utiliza transdutores de corrente desenvolvidos em parceria com a empresa nacional Secon [3]. Essa integração garante instrumentação de grau industrial com excelente custo-benefício.

O envio das informações ocorre de forma descentralizada via rede 4G ou tecnologia LoRa. Na solução foi empregado a utilização da tecnologia 4G devido viabilidade técnica.

O emprego destas redes de telemetria é um diferencial estratégico, pois supera a dependência de infraestruturas cabeadas de fibra óptica ou redes Wi-Fi restritas aos limites das estações, garantindo conectividade resiliente aos ativos isolados nos trechos de via. Essa arquitetura independente e modular permite escalabilidade para outros circuitos críticos da malha com investimento reduzido.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

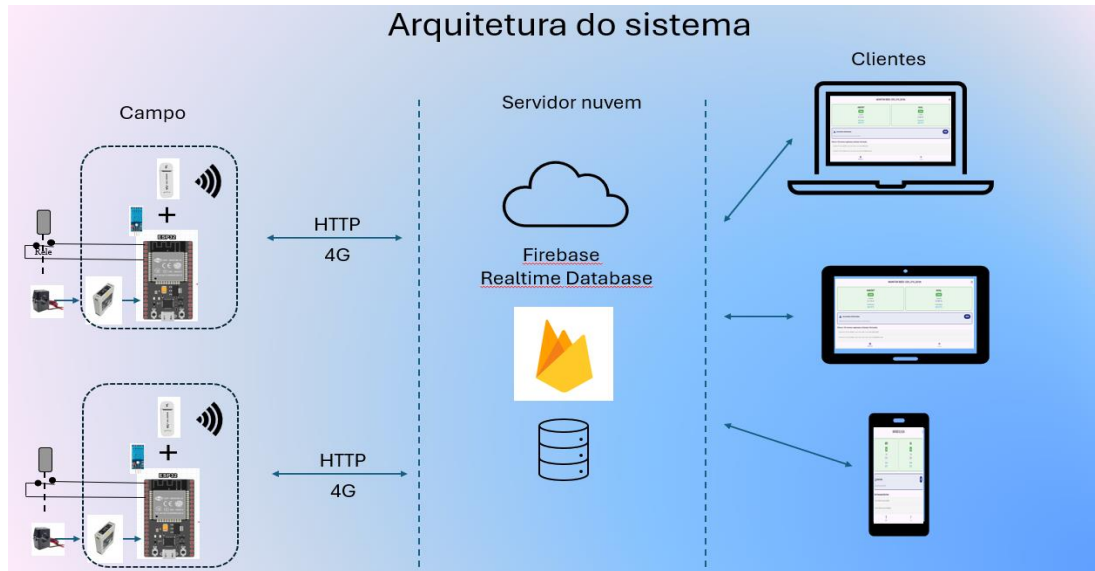


Figura 5 - Arquitetura do sistema.

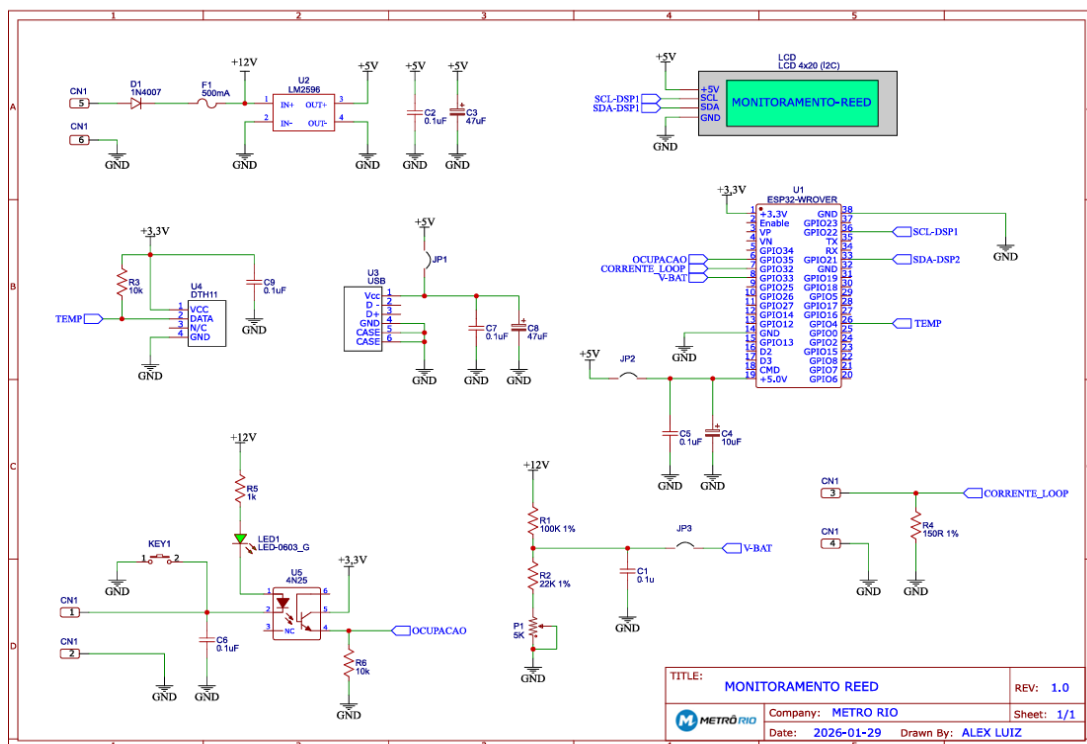


Figura 6 - Esquema elétrico de montagem do monitoramento REED.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**



Figura 7 - Caixa de Monitoramento.



Figura 8 - Caixa de Monitoramento.

Equipamento desenvolvido utilizando ESP32, modulo 4G, Transdutor de corrente e display com informações de funcionamento.



Figura 9 - Equipamento instalado em campo.



Figura 10 - Caixa shunt com transdutor.

Equipamento instalado no CDV 319 entre as estações de Coelho Neto - Colégio para monitorar uma falsa ocupação intermitente.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3. DIAGNÓSTICO E DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

3.1. Metodologia de diagnóstico e lógica de monitoramento

A metodologia de diagnóstico baseia-se no monitoramento simultâneo de três pilares:

- **Estado do Relé Receptor (Contato Vago):** Monitoramento contínuo para detecção de aberturas indevidas de milissegundos que causam a queda do circuito.
- **Corrente no Circuito Shunt:** Leitura contínua da corrente de recepção (através dos transdutores dedicados Secon) para diferenciar falhas de equipamento (perda de sinal localizada) de falhas de via (oscilações por degradação de isolamento ou interferência externa).
- **Variável Térmica:** Registro da temperatura interna das caixas a cada minuto, permitindo correlacionar picos térmicos com a degradação de componentes eletrônicos e conexões.

Através da lógica de comparação entre os lados Amont e Aval, o sistema indica automaticamente onde a intermitência se manifestou. Se a anomalia ocorre apenas no receptor final, o foco é o lado Aval; se a interrupção é detectada na origem, o foco é o Amont ou a geração do sinal.

3.2. Visualização de dados e acesso na ponta

Em contraponto a sistemas legados onde a telemetria fica restrita às telas dos Centros de Controle Operacional (CCO), a arquitetura descentralizada permite que os dados sejam visualizados em tempo real via *dashboard* (mobile e desktop).

Utilizando *frameworks* modernos de desenvolvimento multiplataforma, como o Flutter[4],[5],[7], e protocolos como o MQTT ou HTTP para tráfego na nuvem, as informações chegam diretamente aos dispositivos móveis das equipes de campo. Com a entrega de dados



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

precisos de data, hora e duração do evento, a manutenção deixa de ser baseada em "tentativa e erro".

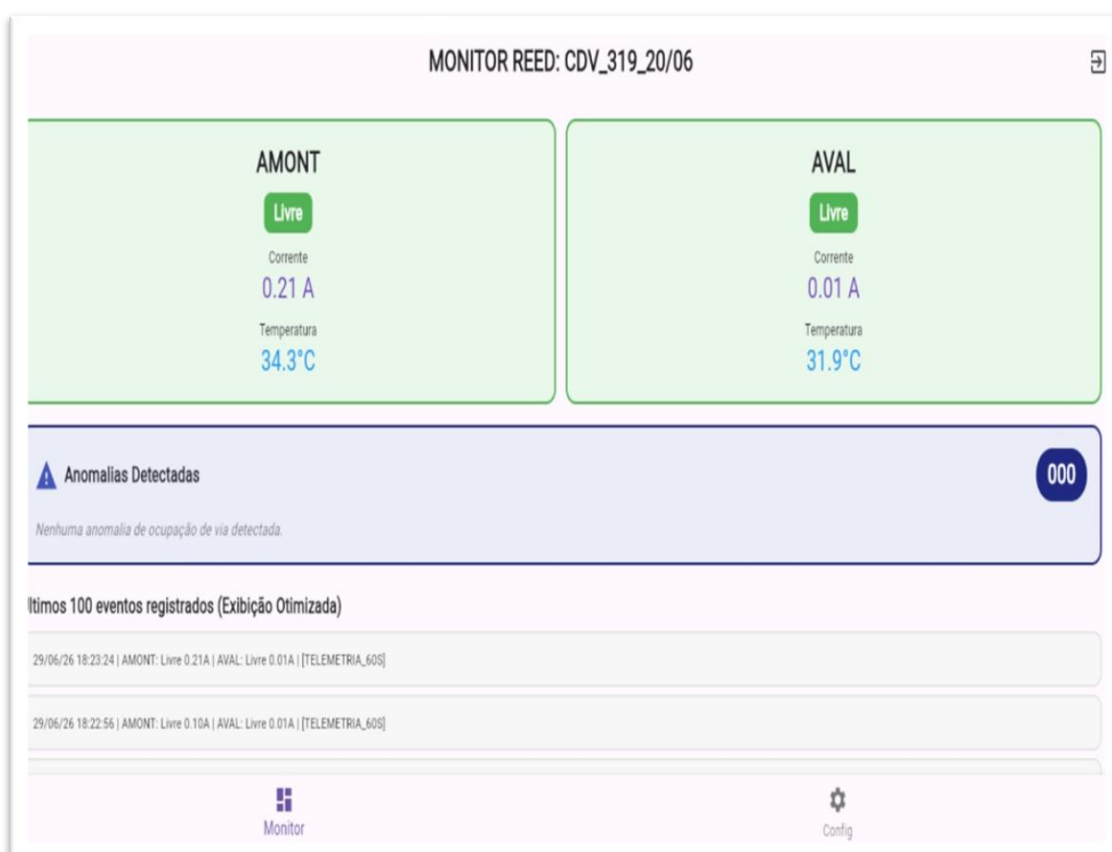


Figura 11- Aba de monitoramento onde mostra as informações em tempo real e os últimos 100 eventos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

MONITOR REED: CDV_319_20/06

Configurações do Sistema

Nome do Circuito (CDV)

CDV_319_20/06 Salvar

Exportação de Banco de Dados

Gere planilhas em formato .csv contendo todo o histórico armazenado.

EXPORTAR TODO O HISTÓRICO (COMPLETO)

Zona de Perigo

Esta ação limpa permanentemente todos os logs e contadores de anomalia do circuito selecionado.

ZERAR BANCO DO CIRCUITO ATUAL

Figura 12 - Aba de configuração e download do log de eventos.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTUDO DE CASO

A integração da IoT à instrumentação de via gera ganhos mensuráveis, destacando-se:

- **Assertividade no Diagnóstico:** Redução em 70% do tempo de localização de falhas intermitentes através do isolamento remoto dos segmentos Amont e Aval.
- **Otimização de Mão de Obra:** Fim das inspeções "em branco" onde a equipe não conseguia reproduzir a falha localmente.
- **Rastreabilidade Histórica:** Criação de um banco de dados de eventos que auxilia na identificação de padrões de falha relacionados a horários ou flutuações de temperatura.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **Melhoria na Operação:** Redução do impacto no intervalo entre trens causado por restrições operacionais decorrentes de ocupações indevidas, aumentando a confiabilidade do carrossel de trens.

Para atestar a eficácia da solução proposta, o equipamento de telemetria foi alocado em um Circuito de Via 319 no trecho entre CNT - CLG via 1, que apresentava um histórico crônico de falsas ocupações intermitentes, gerando penalizações operacionais frequentes. Devido à natureza transiente da falha, as inspeções presenciais tradicionais com multímetro resultavam em diagnósticos inconclusivos.

Com a instalação da caixa IoT (composta pelo módulo ESP32 e transdutores de corrente Secon), o sistema passou a monitorar as grandezas elétricas 24/7. O *dashboard* registrou uma anomalia complexa que seria impossível de detectar a olho nu: o circuito sofria de duas intermitências distintas em extremidades opostas.

Através do cruzamento de dados no Firebase [6], a interface móvel evidenciou que:

- **Evento A (Receptor/Aval):** No dia 24/06, houve a queda da corrente de recepção (*shunt*) e abertura indevida do relé, mesmo com a geração estabilizada no Amont.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

DATA/HORA	AMONT STATUS	AMONT CORRENTE (A)	AVAL STATUS	AVAL CORRENTE (A)	TIPO_EVENTO
24/06/2026 12:01	Livre	0.000	Livre	0.166	telemetria_60s
24/06/2026 12:00	Livre	0.283	Livre	0.166	telemetria_60s
24/06/2026 12:00	Livre	0.283	Livre	0.166	mudanca_status
24/06/2026 12:00	Livre	0.045	Ocupado	0.171	telemetria_60s
24/06/2026 12:00	Livre	0.045	Ocupado	0.171	mudanca_status
24/06/2026 11:59	Ocupado	0.000	Ocupado	0.171	mudanca_status
24/06/2026 11:59	Livre	0.099	Ocupado	0.171	telemetria_60s
24/06/2026 11:59	Livre	0.099	Ocupado	0.450	telemetria_60s
24/06/2026 11:58	Livre	0.145	Ocupado	0.450	telemetria_60s
24/06/2026 11:58	Livre	0.145	Ocupado	0.342	telemetria_60s
24/06/2026 11:57	Livre	0.147	Ocupado	0.342	telemetria_60s
24/06/2026 11:57	Livre	0.147	Ocupado	0.408	telemetria_60s
24/06/2026 11:56	Livre	0.042	Ocupado	0.408	telemetria_60s
24/06/2026 11:56	Livre	0.042	Ocupado	0.274	telemetria_60s
24/06/2026 11:55	Livre	0.043	Ocupado	0.274	telemetria_60s
24/06/2026 11:55	Livre	0.043	Ocupado	0.218	telemetria_60s
24/06/2026 11:54	Livre	0.070	Ocupado	0.218	telemetria_60s
24/06/2026 11:54	Livre	0.070	Ocupado	0.332	mudanca_status
24/06/2026 11:54	Livre	0.070	Livre	0.068	telemetria_60s
24/06/2026 11:53	Livre	0.042	Livre	0.068	telemetria_60s

Figura 13 - Análise do log onde foi visto uma falsa ocupação no AVAL, normalizando a ocupação após 6 minutos.

- **Evento B (Emissor):** Ocorreram oscilações na geração do sinal, identificadas por quedas anômalas antes mesmo do sinal percorrer os trilhos. ocupando ambas as bandeiras, normalizando após algum tempo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

DATA/HORA	AMONT STATUS	AMONT CORRENTE (A)	AVAL STATUS	AVAL CORRENTE (A)	TIPO_EVENTO
04/07/2026 13:18	Livre	256	Livre	56	telemetria_60s
04/07/2026 13:17	Livre	256	Livre	51	telemetria_60s
04/07/2026 13:17	Livre	105	Livre	51	telemetria_60s
04/07/2026 13:17	Livre	105	Livre	47	mudanca_status
04/07/2026 13:17	Livre	0	Ocupado	0	mudanca_status
04/07/2026 13:16	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:16	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:15	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:15	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:14	Ocupado	0	Ocupado	23	telemetria_60s
04/07/2026 13:14	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:13	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:13	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:12	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:12	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:11	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:11	Ocupado	0	Ocupado	3	telemetria_60s
04/07/2026 13:10	Ocupado	0	Ocupado	3	telemetria_60s
04/07/2026 13:10	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:09	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:09	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:08	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:08	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:07	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:07	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:06	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:06	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:05	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:05	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:04	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:04	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:03	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:03	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:02	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:02	Ocupado	0	Ocupado	0	telemetria_60s
04/07/2026 13:01	Ocupado	0	Ocupado	0	mudanca_status
04/07/2026 13:01	Ocupado	100	Livre	114	mudanca_status
04/07/2026 13:01	Livre	100	Livre	114	telemetria_60s

Figura 14 - Análise do log onde foi visto uma falsa ocupação onde houve ocupou as duas bandeiras ao mesmo tempo (AMONT e AVAL), indicando falha no circuito de emissão, normalizando após normalizando a ocupação após 16 minutos.

Resultado Mensurável: Em posse desses dados isolados e precisos, a equipe de campo foi direcionada exatamente a caixa a verificar na via. O tempo de pesquisa de falha, que antes consumia dezenas de minutos de caminhada na via sem sucesso, foi reduzido a zero. A manutenção atuou de forma cirúrgica e o circuito não voltou a apresentar ocorrências.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5. CONCLUSÕES

A digitalização da manutenção do Circuito de Via Reed demonstra a viabilidade e o impacto da aplicação de soluções de IoT em sistemas críticos. Ao evitar o uso de tecnologias "fechadas" e focar na instrumentação com hardware desenvolvido internamente aliado a sensores industriais nacionais, o projeto provê rastreabilidade integral e correlação de variáveis elétricas e térmicas. Acima de tudo, a solução democratiza o acesso à Manutenção 4.0 na sinalização metroviária, viabilizando sua expansão para toda a malha operacional com altíssima eficiência técnica e financeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **METRÔRIO.** *Apostila de Treinamento Técnico: Sistemas de Sinalização e Circuitos de Via.* Material interno de capacitação. Rio de Janeiro: Setor de Sinalização, [rev.2016].
- [2] **ESPRESSIF SYSTEMS.** *ESP32 Series Datasheet.* Especificações técnicas de hardware e conectividade. [S.l.]: Espressif Systems. Disponível em: <https://www.espressif.com/>. Acesso em: jul. 2026.
- [3] **SECON SENSORES E INSTRUMENTOS.** *Transdutores de Corrente: Manuais Técnicos e Especificações.* Documentação de aplicação industrial. Disponível em: <https://www.secon.com.br/>. Acesso em: jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

[4] **GOOGLE.** *Flutter: Build apps for any screen.* Documentação Oficial do Framework.

Disponível em: <https://flutter.dev/>. Acesso em: jul. 2026.

[5] **GOOGLE.** *Dart Programming Language.* Documentação Oficial da Linguagem. Disponível

em: <https://dart.dev/>. Acesso em: jul. 2026.

[6] **GOOGLE.** *Firebase Documentation: Realtime Database e Cloud Firestore.* Manuais de

integração em nuvem e IoT. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs>. Acesso em: jul.

2026.

[7] **GOOGLE.** *Android Studio: Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE).* Documentação

de ferramentas de desenvolvimento multiplataforma. Disponível em:

<https://developer.android.com/studio>. Acesso em: jul. 2026.