



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

CATEGORIA 3

SOLUÇÃO PARA COLETA DE DADOS REMOTA PARA SISTEMAS DE MATERIAL RODANTE

INTRODUÇÃO

Falhas no sistema de transporte metroviário causam transtornos aos passageiros, para uma melhoria na qualidade do serviço, é necessário tratá-las de forma preditiva, evitando que ocorram durante a operação comercial (PARRA et al. 2019).

Uma técnica adotada pelas equipes de manutenção do Metrô de São Paulo para encontrar equipamentos em estado de pré-falha, consiste em analisar os registros dos sistemas de computador de bordo, também chamados de *logs*.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse sistema se comunica com os diversos subsistemas dos trens, incluindo tração, freios, portas, entre outros. A partir dessa função, conseguem registrar mal funcionamento ou intermitência de algum componente desses subsistemas.

O computador de bordo do trem se comunica com diversos subsistemas, gerando um grande volume de registros muito heterogêneos. Cada trem das frotas analisadas gera por volta de 600 linhas de logs a cada hora de operação, encontrar manualmente alarmes específicos, considerando uma frota com mais de 100 composições, se torna uma tarefa complexa.

Outra característica da antecipação de falhas a partir dos *logs* é que a mudança do comportamento dos *logs* registrados a partir de um componente não indica diretamente uma pré-falha. É necessário, portanto, utilizar ferramentas para organização, sumarização e correlação dos registros para gerar informações sobre o estado do equipamento, e conseguir inferir sobre o seu estado futuro.

Esse projeto não tem a pretensão se apresentar a análise de possíveis falhas baseada nas informações contidas nos *logs* dos trens, mas sim uma solução para melhoria do processo de coleta e análise, permitindo ações mais rápidas de acordo com os indícios apresentados nos registros dos computadores de bordo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A solução apresentada nesse trabalho foi desenvolvida em paralelo com o projeto da equipe de análise de logs, que elaborou processo automatizado de coleta a partir de um elemento ativo conectado continuamente ao computador de bordo de cada trem.

Algumas premissas foram consideradas para o desenvolvimento do projeto de Coleta Remota para Sistemas de Material Rodante, considerando o panorama macro da Cia. do Metrô, em aspectos financeiros, administrativos e técnicos:

- Baixo custo de implantação, buscando o melhor retorno com investimentos mínimos.
- Limitação de recursos operacionais disponíveis para transmissão de dados sem fio entre trem e terra.
- Elevada segurança cibernética operacional, evitando exposição de vulnerabilidades tanto dos ativos embarcados quanto da rede fixa.

DIAGNÓSTICO

O processo original de análise de logs realizado pela equipe de campo consiste na seguinte sequência de atividades:

1. Conecta-se ao computador de bordo utilizando um notebook de manutenção, como apresentado na Figura 1.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. Utilizando o software do fabricante, acessa os logs e salva em arquivos, a Figura 2 apresenta a listagem encontrada pelos técnicos durante o processo.
3. Copia os arquivos para mídias removíveis.
4. Envia os arquivos de *log* para as demais equipes de manutenção, incluindo engenharia, corretiva e preditiva.



Figura 1 – Conexão do notebook de manutenção para extração dos registros de logs.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Appear...	Record d...	Code	Event	Type ID	Stack	Stack ID	Category	Category...	Event co...	Device	Unit Name	Device ID	Location	Location ...	Location ID	Function	Function ID
77	25/7/2024	25/7/2024	20:30:45	Falha maço no displ...	692	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2_1	03-3	21	PAI Com Audio Video	43
78	25/7/2024	25/7/2024	20:06:45	Falha maço no displ...	697	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_1	03-3	35	PAI Com Audio Video	43
79	25/7/2024	25/7/2024	20:06:10	Sem comunicação co...	256	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2	05-6	86	PAI Com Audio Video	43
80	25/7/2024	25/7/2024	20:06:45	Falha maço no displ...	704	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_4	03-4	52	PAI Com Audio Video	43
81	25/7/2024	25/7/2024	20:06:35	Falha maço no DLM	383	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2_3	01-7	23	PAI Com Audio Video	43
82	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	716	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_1_4	00-4	10	PAI Com Audio Video	43
83	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	717	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2_1	01-5	21	PAI Com Audio Video	43
84	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	721	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_1	02-3	35	PAI Com Audio Video	43
85	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	724	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_4	02-6	39	PAI Com Audio Video	43
86	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	728	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_4	03-4	52	PAI Com Audio Video	43
87	25/7/2024	25/7/2024	20:06:46	Falha maço no displ...	732	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_5_4	04-2	66	PAI Com Audio Video	43
88	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	740	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_1_4	00-4	10	PAI Com Audio Video	43
89	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	741	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2_1	01-5	21	PAI Com Audio Video	43
90	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	745	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_1	02-3	35	PAI Com Audio Video	43
91	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	746	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_4	02-6	39	PAI Com Audio Video	43
92	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	752	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_4	03-4	52	PAI Com Audio Video	43
93	25/7/2024	25/7/2024	20:06:11	Falha média do sistem...	226	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_5_2	04-0	64	PAI Com Audio Video	43
94	25/7/2024	25/7/2024	20:06:47	Perda de com. com o ...	760	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_6_4	05-0	80	PAI Com Audio Video	43
95	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	764	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_1_4	00-4	10	PAI Com Audio Video	43
96	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	765	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_2_1	01-5	21	PAI Com Audio Video	43
97	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	769	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_1	02-3	35	PAI Com Audio Video	43
98	25/7/2024	25/7/2024	20:06:11	Falha média do sistem...	228	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_6_2	04-8	72	PAI Com Audio Video	43
99	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	773	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_1	03-1	49	PAI Com Audio Video	43
100	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	776	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_4	03-4	52	PAI Com Audio Video	43
101	25/7/2024	25/7/2024	20:06:48	Perda de com. com o ...	780	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_5_4	04-2	66	PAI Com Audio Video	43
102	25/7/2024	25/7/2024	20:06:10	Sem comunicação co...	255	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_1	05-5	85	PAI Com Audio Video	43
103	25/7/2024	25/7/2024	20:06:45	Falha maço no displ...	701	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4_1	03-1	49	PAI Com Audio Video	43
104	25/7/2024	25/7/2024	20:06:45	Falha maço no displ...	708	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_5_4	04-2	66	PAI Com Audio Video	43
105	25/7/2024	25/7/2024	24:08:20	Baixa Pressão no enc...	2159	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3	00-3	3	BRK Meca Emergency Brake	36
106	25/7/2024	25/7/2024	24:08:20	Baixa Pressão no enc...	2160	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_4	00-4	4	BRK Meca Emergency Brake	36
107	25/7/2024	25/7/2024	20:06:35	Falha maço no DLM	391	stack_2	2	dm	0	1	origrupu		1_3_3	02-5	37	PAI Com Audio Video	43

Figura 2 – Captura parcial da tela do software para extração de logs.

A execução da atividade de captura parcial da tela do software depende de alguns fatores onerosos, como a retenção do trem para acesso da equipe de manutenção nos pátios de manobra e a disponibilidade dessas para acessar o sistema embarcado, além da disponibilidade dos equipamentos configurados com o software do fabricante que permite a extração de software.

A depender daqueles fatores, o processo completo de coleta, envio, análise, até o disparo de atividades baseadas nos registros dos logs pode levar mais de uma semana. Com o aprimoramento da análise dos logs, notou-se que algumas falhas ocorridas entre a geração do log e o disparo das atividades de correção já apresentavam indícios de que ocorreriam, e o tempo excessivo do processo não permitia que fosse executada uma ação eficaz para dirimir a falha potencial detectada na análise.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Naquele momento, os canais de comunicação trem-terra disponíveis para utilização pela Manutenção do Metrô no momento do desenvolvimento do projeto não contemplavam a transferência de dados detalhados de registro de *logs*. Surgiu, portanto, a necessidade e oportunidade de implantar uma solução eficiente para a coleta de dados remota dos sistemas embarcados em trens.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A arquitetura proposta para melhoria desse processo foi a utilização de pontos de conexão específicos, chamados de “portais”, para que os dados coletados fossem enviados a um servidor central, onde podem ser tratados de forma automatizada e apresentados à equipe de monitoramento, para que todo o processo de detecção do estado de pré-falha até sua solução se torne muito mais eficaz.

Após analisar equipamentos de conexão de rede sem fio que estavam sendo desmobilizados, como mostrado na Figura 3, entendeu-se que era possível realocá-los para o fim de transmissão de dados de registros de monitoramento. Essa redesignação foi realizada pois os requisitos de disponibilidade e performance da transmissão de *logs* são inferiores aos requisitos da função que esses equipamentos cumpriam antes. Esse recurso pôde ser utilizando com a função de *bridge*, realizando a conexão entre a rede sem fios e o equipamento embarcado de coleta recorrente de *logs*; também foi possível

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

utilizar o mesmo equipamento com a função de ponto de acesso, instalado em alguns locais para estabelecer a comunicação entre o trem e a rede de dados fixa do Sistema de Monitoramento de Ativos do Metrô.



Figura 3 – Equipamento para conexão de rede sem fio reaproveitado para o projeto de coleta de logs.

Destaca-se o desenvolvimento e construção de uma antena de pequeno porte que atendesse à necessidade de cobertura nas regiões dos “portais”, uma vez que a instalação de novas antenas no superior das caixas dos trens, o que seria tecnicamente mais adequado para uma maior cobertura, inviabilizaria a instalação do projeto mantendo o custo mínimo. A antena, que pode ser vista na Figura 3 em azul e cinza, foi construída internamente com peças impressas em impressora 3D e testes de irradiação de rádio frequência para chegar ao melhor formato, com base em dimensões teóricas (BALANIS 2009).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O planejamento e a disponibilidade da infraestrutura de transmissão de dados do Sistema de Monitoramento de Ativos e a realocação de recursos inservíveis para outro propósito possibilitou que o requisito de baixo custo de implantação do projeto fosse atendido. A mão-de-obra para reconfiguração, testes e implantação foi interna, evitando a necessidade de contratação específica para o projeto. O investimento empreendido ficou limitado em material para infraestrutura de dados, contemplando cabos de rede e fibras óticas, alimentação elétrica e adequações físicas para fixação dos equipamentos tanto nos trens quanto nos pátios e estações escolhidos para os portais.

Os recursos da rede de monitoramento existente também permitiram que o requisito de segurança cibernética pudesse ser atendido, contando com firewalls em todos os portais de conexão trem-terra sem fio. A análise de vulnerabilidades se baseou em três aspectos principais, dentre a gama de melhores práticas de segurança cibernética (CHECKPOINT 2024), para garantir que esse canal de comunicação não expusesse a operação dos trens:

- *Firewalls* para filtragem da comunicação da sub-rede *wifi* com a rede de monitoramento.
- Autenticação com chaves simétricas de 2048 bits para acesso aos sistemas embarcados.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Segmentação, tanto em bordo quanto em terra, das redes de coleta de logs com a rede de “ponte” sem fios.

Para permitir a transferência de dados com esse canal de comunicação pontual, nos portais, foi necessário utilizar uma solução de armazenamento e gestão da transferência de dados em bordo, que mantém os registros em um banco de dados e sincroniza com o servidor central mediante à disponibilidade do canal.

O diagrama de blocos que ilustra a solução final adotada, está reproduzido na figura 4.

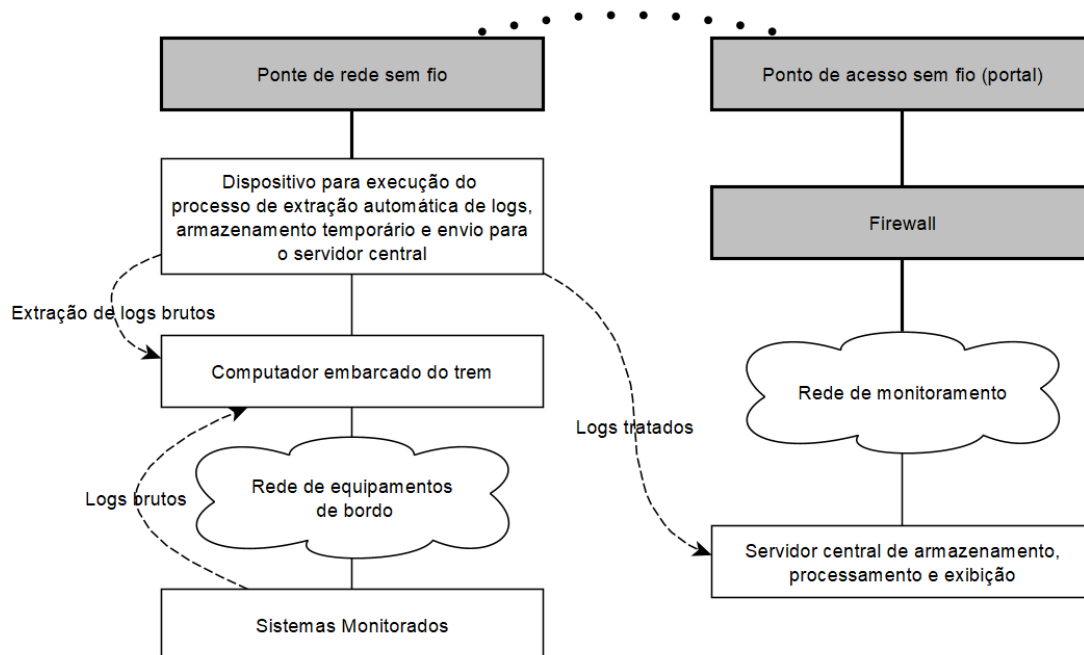


Figura 4 – Diagrama macro das conexões e fluxo de dados dos logs com destaque para a os blocos e conexões da coleta remota, foco desse projeto.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

A solução adotada e instalada para comunicação entre o sistema embarcado de coleta contínua de *logs* com o ambiente de monitoramento centralizado do Sistema de Monitoramento de Ativos do Metrô cumpriu o seu objetivo de reduzir o tempo necessário para a coleta, consolidação e análise dos registros de logs gerados pelo computador de bordo, habilitando uma detecção preditiva mais rápida de falhas nos equipamentos embarcados. O tempo entre a geração de um registro, ou de um conjunto de registros correlacionados, que indique um equipamento em estado de pré-falha e o acionamento das equipes de campo passou de aproximadamente uma semana para aproximadamente uma hora.

Todo o projeto e instalação foi realizado internamente com realocação de recursos desmobilizados, dentro dos requisitos de desempenho, confiabilidade e segurança necessários ao monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PARRA, J.S., REVEAU, S., MUNOZ, J.C., Oded Cats, The underlying effect of public transport reliability on users' satisfaction, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 126, 2019, Pages 83-93, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.06.004>.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CHECKPOINT. Network Security Best Practices. Check Point Software Technologies Ltd.

Disponível em <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/network-security/what-is-network-security/network-security-best-practices/>. Acesso em julho de 2024.

BALANIS, C. A. Teoria de Antenas: Análise e Síntese. LTC, 2009, v.2, ISBN–10:8521616546.