

# ESTUDO DE CASO SOBRE GANHOS EM CONFIABILIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS EM FALHAS FERROVIÁRIAS RELACIONADAS E RÁDIO DE DADOS INTERMEDIÁRIOS, A PARTIR DE UM PROTÓTIPO UTILIZANDO ARDUINO E TECNOLOGIA GSM.

Michel dos Santos Ferreira\*

Luisa Abdallah Alves de Souza\*\*

Daniele de Alcântara Barbosa\*\*\*

## RESUMO

A MRS Logística utiliza, na maioria do trecho de sua concessão, um sistema de licenciamento de trens baseado em comunicação chamado CBTC (Communications Based Train Control), disposto para definir com maior assertividade o percurso de um trem da origem até o destino. Para garantir essa assertividade são necessárias informações do trecho que será percorrido pela composição, tais como aspectos de sinais a frente, indicações dos aparelhos de mudança de via, detetores de descarrilamento e indicações de trecho isolados. Todas as informações são transmitidas via rádio frequência para a locomotiva comandante através de Rádios de Dados espalhados em pontos estratégicos de todo o trecho da empresa. Entendendo que o Rádio de Dados é o ativo primariamente essencial desse sistema, foi observado a necessidade de mitigar os impactos quando o equipamento apresenta uma falha. Atualmente, em alguns pontos, o reestabelecimento do Rádio de Dados só pode ser feito fisicamente, o que gera um impacto para a empresa devido a necessidade de deslocamento de uma equipe ao local. O protótipo proposto neste trabalho visa implementar o recurso de reset remoto desses equipamentos através do envio de um comando em uma mensagem de texto para o chip telefônico. O Arduino processa a mensagem recebida e atua na interrupção da alimentação do Rádio de Dados em questão, realizando o reset e reestabelecendo o equipamento. Com essa ação, vemos a economia gerada para a empresa na produção, diminuindo o indicador de Trem Hora Parado (THP) e na manutenção, diminuindo o deslocamento Homem Hora (HH) dos colaboradores.

**Palavras-Chave:** Arduino, Módulo GSM, Rádio de Dados

---

\*Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – [aluno.michel.santos@doctum.edu.br](mailto:aluno.michel.santos@doctum.edu.br) - graduando em Engenharia Elétrica

\*\*Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – [aluno.luisa.souza1@doctum.edu.br](mailto:aluno.luisa.souza1@doctum.edu.br) – graduando em Engenharia Elétrica

\*\*\* Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – [prof.daniele.barbosa@doctum.edu.br](mailto:prof.daniele.barbosa@doctum.edu.br) - Orientadora do trabalho

## ABSTRACT

MRS Logística uses, in the majority of the stretch of its concession, a train licensing system based on communication called CBTC (Communications Based Train Control), prepared to define with greater assertiveness the route of a train from origin to destination. To ensure this assertiveness, information on the stretch that will be covered by the train is needed, such as aspects of signs ahead, indications of lane change devices, derailment detectors and indications of isolated stretches. All information is transmitted via radio frequency to the locomotive commander through Data Radios transmitted at strategic points throughout the company's stretch. Understanding that the Data Radio is the primarily essential asset of this system, the need to mitigate the impacts when the equipment has a failure was observed. Currently, at some points, the restoration of the Data Radio can only be done physically, which generates an impact for the company due to the need for a team to travel to the site. The prototype proposed in this work aims to implement the remote reset feature of these devices by sending a command in a text message to the telephone chip. The Arduino processes the received message and acts to interrupt the power supply of the Data Radio in question, performing the reset and reestablishing the equipment. With this action, we see the savings generated for the company in production, observing the Stopped Train Hour (STH) indicator and in maintenance, observing the Man Hour (MH) displacement of employees.

**Keywords:** Arduino, Module GSM, Data Radio

### 1 – Introdução

As ferrovias transportam cargas que em sua maioria são matéria-prima para aparatos básicos da sobrevivência humana. Por isso, elas têm forte participação tanto na economia nacional quanto mundial. (VALE, 2017). A MRS é uma operadora logística que administra uma malha ferroviária de 1.643 km nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, região que concentra cerca da metade do PIB brasileiro. (MRS, 2014). O setor ferroviário tem grande importância para exportações principalmente em relação ao minério ferro e, para que todo esse transporte aconteça de maneira organizada e com segurança, faz-se necessário o uso de constante de tecnologias para auxílio preditivo e preventivo de falhas além de melhorias contínuas nas manutenções visando melhor confiabilidade do sistema.

“Hoje, a companhia está entre as maiores ferrovias de carga do mundo. [...] Quase 20% de tudo o que o Brasil exporta e um terço de toda a carga transportada por trens no país passam pelos trilhos da MRS”. (MRS, 2014). Atualmente, para que haja a locomoção de trens com maior segurança, uma das tecnologias que atuam no MRS Logística é o sistema CBTC, sigla em inglês para Controle de Tráfego Baseado em Comunicações.

“Sistemas de sinalização ferroviária, através da história, foram criados com a finalidade de evitar acidentes ferroviários, mais especificamente, colisões entre trens [...], pois um maquinista não consegue parar um trem no seu limite de campo de visão, devido ao baixo atrito entre as rodas da composição e os trilhos, ambos feitos de metal” (FENNER, 2007; GODDARD, 2006).

Um dos ativos de extrema importância desse sistema são os Rádios Dados ou Rádio GE MDS TD220 (256 Mhz), que possuem como função primária o licenciamento de trens através das informações recebidas da sinalização ferroviária e dos ativos em campo. De maneira simplificada, os Rádio Dados são utilizados no CBTC (por sua sigla do inglês Communications Based Train Control) como receptores de informações do estado do percurso que está sendo feito por uma composição, tais como sinaleiros, circuitos de via, máquinas de chave, Hotbox e Detetor de Descarrilhamento. Com as informações recebidas, o Rádio de Dados transmite para o rádio da locomotiva as informações do percurso a frente, garantindo sua integridade. Caso algum desses ativos venha a apresentar falha, o trem pode ser parado de forma automática pelo sistema de acordo curva de frenagem do mesmo em relação ao ativo em questão. Entretanto, o sistema de Rádio de Dados também é passível de falha, e com isso o trem pode ser parado devido a uma falha do ativo em campo. Visando essa possibilidade, entende-se necessário apresentar e verificar a eficácia do protótipo que realizará o reset em Rádio de Dados Intermediário - que são os rádios que não possuem fibra (acesso remoto). Atualmente, quando algum desses ativos em específico apresenta falha, é acionada uma de uma equipe de manutenção de campo da Eletroeletrônica para reestabelecer o sistema. Com o uso do protótipo, o envio da equipe não se faz necessário visto que o reset passa a ser feito remotamente por um técnico do CDC (Centro de Diagnóstico de Confiabilidade), normalizando o sistema com maior agilidade.

O protótipo deverá ser usado em casos que o Rádio de Dados está sem sincronismo ou travado em campo. Em ambos problemas, é necessário um reset físico. Além de ser utilizado de maneira corretiva, o protótipo auxiliará de maneira preditiva, a partir do monitoramento dos Rádio de Dados, uma tendência a falha do ativo. Dessa forma não é necessário a abertura de uma solicitação de serviço para a equipe de campo, reduzindo o HH, aumentando a confiabilidade do sistema e a disponibilidade de circulação de trens na sua velocidade máxima autorizada (VMA), diminuindo o impacto dos atrasos das entregas de minério ou carga geral.

O protótipo tem seu principal elemento o Arduino, que é seu microcontrolador, que nada mais é que um pequeno processador de computador montado em uma placa com diversos outros componentes que manipulam sua entrada e saída. (ELETROGATE, 2022). Em conjunto para a construção do protótipo, e inserido um módulo GSM GPRS SIM800L, cuja função é receber a uma mensagem específica e quando recebida enviar para o Arduino Uno processar e verificar que é a mensagem correta para atuar no sistema, aciona a saída do relé que realiza o reset do sistema. Foram realizados os testes em bancada, verificados os números de falhas anuais para o ativo do Rádio de Dados para definir os locais onde poderá ser implantado o protótipo piloto, de acordo com amplitude da ferrovia e a relação com o sistema CBTC.

Cada um dos principais elementos do protótipo será abordado separadamente em tópicos abaixo para explicar melhor o funcionamento do sistema como um todo.

## **2 – Ferrovia e o sistema CBTC**

Em sistemas de transporte, do ponto de vista do cliente, há a necessidade de se garantir a segurança operacional e o nível de serviço de entrega de sua carga no ponto de destino. (NUNES,2012, p.1)

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor. (NOVAES 2007, p. 35)

Para o transporte ferroviário, assim como os demais, é de grande importância a entrega da carga no prazo correto e, para que isso aconteça, é necessário os níveis de serviço permaneçam em alta, aliando segurança e produtividade.

O transporte ferroviário tem custo baixo, porém não tem muita flexibilidade e os prazos de entrega são longos e variáveis, além de haver necessidade em alguns casos, de baldeação para troca de trem, pois há ferrovias que possuem bitola estreita, enquanto outras possuem bitola larga. Este tipo de transporte é indicado para grandes quantidades de produtos, longas distâncias e produtos não perecíveis e não frágeis. (MARTINS, LAUGENI, 2006, p.271).

Há toda uma complexidade no processo que se faz necessário para que ocorra o transporte de carga ferroviária, tais como todos os dados e informações que cada trem possui sobre sua origem e destino, a carga que transporta, a identificação de cada vagão e locomotiva, além de históricos de manutenções e falhas dos mesmos.

Cada segmento citado possui suas áreas de atuações específicas, como as equipes que analisam possíveis falhas elétricas, de motores e demais possíveis falhas, equipes que programam a rota de cada trem, equipes de maquinistas que vão guiar o trem da maneira correta de acordo com a disponibilidade e as possíveis irregularidades à frente. Para que ocorra um simples deslocamento de um trem de um ponto a outro existe um universo de procedimentos, tecnologias e áreas de atuação para garantir que tudo ocorra de maneira correta. Em caso de alguma falha em qualquer sistema/processo/atuação, existirá uma equipe responsável pelo atendimento e normalização do ocorrido. Um desses sistema é o chamado CBTC.

O CBTC é um sistema de controle e monitoramento do movimento dos trens através de rede dedicada de comunicação interligada com a sinalização no campo. O computador de bordo troca continuamente informações sobre posição, velocidade e licenciamento e também recebe informações dos trens à frente, do trabalho de equipes de manutenção e de restrições de velocidade. Evita os excessos de velocidade e, nos casos em que o maquinista não atuar, o sistema coloca o trem e sua vizinhança em condição segura, reduzindo a velocidade (corte de tração) ou parando composições. (MRS, CONHEÇA O CBTC, 2014)

O sistema do CBTC traz grandes ganhos para todo o processo, sendo o principal deles o aumento da segurança operacional da empresa atuando em caso de alguma falha na via a frente do percurso do trem ou violação de velocidade máxima autorizada (VMA) da composição, seja por falha sistêmica da locomotiva ou devido erro operacional. Em todos os casos, o trem é parado de maneira automática pelo sistema. Além de aumento da segurança, o sistema traz melhorias para eficiência no consumo de combustível e para os próprios maquinistas. O sistema de comunicação CBTC se mostra crucial como garantia de segurança operacional e maior otimização do sistema (JUNIOR, 2021, p.19)

Contando com este sistema, o maquinista tem à sua disposição o planejamento de todo o trecho pelo qual irá conduzir o trem. Isto significa dizer que, a quilômetros de distância, ele tem conhecimento da existência de outra composição à sua frente ou qualquer outra situação que possa impedir a sua circulação. O maquinista tem acesso ainda ao perfil da linha férrea pela qual está trafegando. Assim, se há uma descida à sua frente, ele exerce menos potência na máquina contribuindo para uma melhor eficiência no consumo de combustível e, por consequência, aumentando ainda mais o grau de sustentabilidade da ferrovia. (MRS, CONHEÇA O CBTC,2014).

Faz-se necessário compreender o funcionamento do sistema CBTC, para compreender a importância dos Rádio de Dados e as informações que eles transmitem para o correto funcionamento do sistema. Além dos maquinistas, outro setor que foi beneficiado diretamente foi o CCO (Centro de Controle de Operações), onde os trens são licenciados para seu destino pelo operador de CCO.

São mais de 790 locomotivas e 19 mil vagões trafegam pela malha da MRS. São trens indo e vindo dos Portos, entrando e saindo das oficinas, sendo carregados e descarregados a todo momento. Para controlar todo esse fluxo com níveis internacionais de segurança e produtividade é que a MRS conta com um dos centros de controle operacional mais modernos do mundo. O CCO fica em Juiz de Fora, onde está a sede operacional da MRS. Neste local, os controladores de tráfego contam com painéis eletrônicos que representam a ferrovia e mostram, em tempo real, o fluxo dos trens. Ao longo da linha, existem dispositivos que são acionados com a passagem do trem e esta informação é direcionada para o CCO. É de lá que os operadores controlam cada trecho, recebendo dados e se comunicando com os maquinistas e demais profissionais via rádio. (MRS, CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL, 2012)



*Figura 1 – Centro de Controle Operacional da MRS Logística*

Fonte – Galeria da Arquitetura

A partir do comando do operador do CCO é iniciado o licenciamento da composição enviando essa informação para o Sistema de Gerenciamento de Despachos do Trem (TMDS), sistema esse baseado na programação orientada a objeto. Após a informação da licença ser processada, o envio para a composição é feito através dos Rádios de Dados, que interconecta todos os subsistemas necessários para o funcionamento do CBTC.

Qualquer alteração de estado desses subsistemas impacta no licenciamento do trem. Alteração de aspecto de sinal, perda de indicação da máquina de chave, trecho isolado, detetor de descarrilamento ou hotbox alarmado, é informado pelo subsistema ao Rádio de Dados que atualiza as informações no painel do CCO e no sistema CBTC da locomotiva, alterando sua rota de forma imediata.

O CBTC atua de forma a evitar invasões de trens em zonas interditadas para manutenção, colisões entre trens, descarrilamentos causados por excessos de velocidade além de impedir a circulação de trens dentro de uma seção não autorizada devido a um mau alinhamento da chave e impedir o avanço de sinal. Caso o trem esteja operando em condições não seguras, o CBTC aciona o freio total de serviço e corte de aceleração da locomotiva de modo a parar o trem por meio da aplicação de frenagem preventiva e reativa garantindo a confiabilidade desse modal. (JUNIOR, pag 6, 2021 apud MRS, 2012).

Entendendo que o Rádio de Dados é o elo principal do sistema CBTC, esse projeto visa diminuir os impactos causados quando o ativo apresenta falha.

## **2.2 – Rádio de Dados**

Existem dois tipos representações para os Rádios de Dados, Intermediário e Control Point, e eles podem ter acesso via fibra ou não. O Rádio de Dados considerado como Control Point é aquele que possui fibra e é o responsável por enviar as informações para servidor. O Intermediário é considerado um repetidor do Control Point, pois estão na mesma frequência, em sua maioria não possuem fibra e, nesses casos, seus dados são enviados por rádio frequência para o Control Point que por sua vez fazem o envio para o servidor. A imagem abaixo representa essa disposição, onde se faz necessário a comunicação tanto por fibra quanto por rádio frequência. Por fibra para mandar os dados para o servidor, e por rádio frequência para enviar dados dos Intermediários para os Control Points. É de extrema importância a comunicação entre Rádio de Dados e as Locomotivas, então, mesmo que todos os Rádios de Dados possuíssem fibra, a comunicação via rádio frequência continua fazendo a função principal de enviar a licença e as informações de via do percurso para o trem (Workshop Telecomunicação Rádio de Dados 256 mhz).

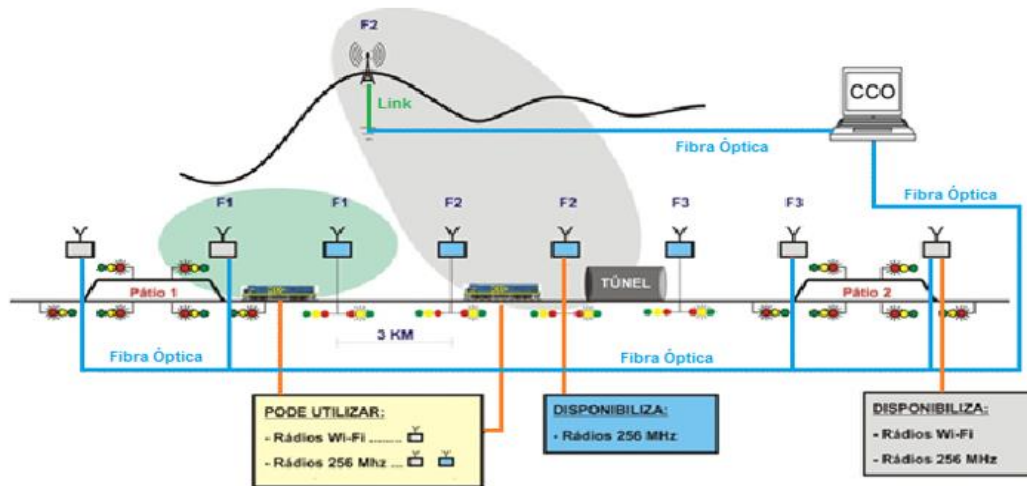


Figura 2 – Visão Geral Comunicação Rádio de Dados

Fonte – Workshop Telecomunicação Rádio de dados 256 MHz, 2022

Na imagem acima temos F1, F2 e F3 denominando e diferenciando frequências diferentes. Os rádios de frequências diferentes não trocam informações diretamente, porém quando um rádio é um Control Point e ele recebe essas informações dos rádios adjacentes (outro Control Point) por fibra, e recebe as informações dos seus rádios Intermediários (que são os rádios de mesma frequência) por rádio frequência, assim como o Control Point também envia informações para seu Intermediário. Caso aconteça de algum rádio trave, a cobertura desse rádio fica deficiente e com isso há impactos na operação ferroviária. (Workshop Telecomunicação Rádio de Dados 256 Mhz).

O protótipo será utilizado em rádios sem acesso remoto, que são necessariamente os intermediários. Todo Control Point possui acesso, porém a maioria dos rádios de dados Intermediários não possui fibra/acesso (Treinamento Sistema de Comunicação CBTC). O protótipo visa normalizar um rádio em falha através de um reset remoto via GPRS e para isso foi utilizado a plataforma Arduino.

### 2.3 – Arduino

“Arduino é uma plataforma open source ou hardware para prototipagem eletrônica [...] com suporte para entrada/saída dados já embutido, com linguagem de programação padrão baseado no em C/C++” (SOLDAFIA, 2019). As funcionalidades do Arduino também podem ser facilmente ampliadas, para expandir os recursos de um projeto, acrescenta-se sensores, módulos e shields para incorporar novas



funções. (FILIPEFLOP, 2022). O Arduino possui uma variação de portas/pinagem, que podem ser usadas para sensores, configuradas como entradas, e como saídas os elementos que vão executar alguma ação. Possui pinos analógicos de A0 a A5, e pinos digitais de 0 a 13, e possui saída de alimentação 3,3V e 5V para energizar módulos externos.

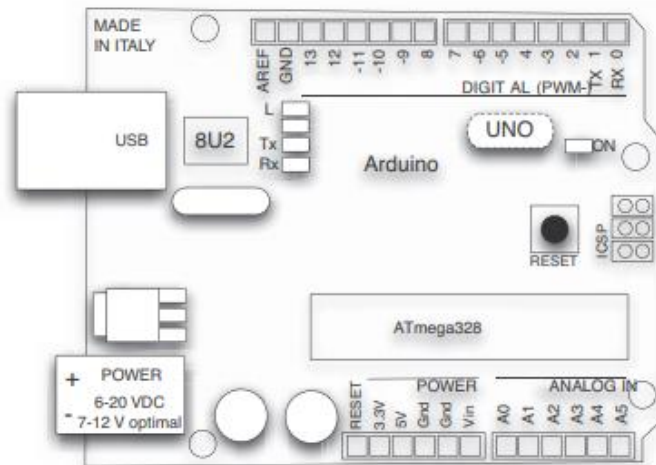


Figura 3 – Arduino Uno

Fonte: (EVANS et al, p.33, 2013)

Nessa plataforma pode ser conectados botões, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de distância, módulos Ethernet e qualquer dispositivo que receba dados ou possua a função de ser controlado. Por se tratar de um sistema multiplataforma professores e alunos utilizam o Arduino para construir instrumentos científicos de baixo custo, para provar os princípios de química e física, ou para começar a trabalhar com programação e robótica, por se tratar de uma plataforma barata, compatível com vários sistemas operacionais, de fácil programação e possibilitar a extensão de seu Hardware (GOMES; SILVA; GELACKI, 2016 apud Arduino, 2016).

Elemento essencial do protótipo, o Arduino, onde sua configuração é realizada pelo IDE, Integrated Development Environment ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado. “O IDE do Arduino fornece tudo o que é necessário para programá-lo, incluindo vários exemplos de programas ou sketches que demonstram como conectá-lo e comunicar-se com alguns dispositivos comuns [...] e alguns sensores.” (EVANS et al, p.33, 2013). Quando já configurado, o Arduino recebe a informação do módulo GSM, após processamento da mensagem de texto recebida por um celular, ele aciona um relé normalmente fechado, abrindo seus contatos, realizando a interrupção de alimentação do Rádio de Dados por 30 segundos e, com isso, promove o reset físico.

Com isso tem-se outro elemento diretamente necessário para o projeto, o módulo GMS.

## 2.4 – Módulo GSM

Principal módulo do protótipo, o módulo GSM ele tem a função de receber e realizar ligações e receber e enviar mensagens SMS, enviar e receber dados GPRS e consegue receber transmissão FM. Para o protótipo foi utilizado apenas na função de receber SMS. Ao receber o SMS “R1 on”, essa informação é enviada pelas conexões TX/RX do SIM800L para o Arduino, que vai realizar o processamento dessa informação e confirmando que é a mensagem correta o Arduino atuará na saída 7, operando um relé que irá realizar o corte da alimentação do Rádio de Dados.

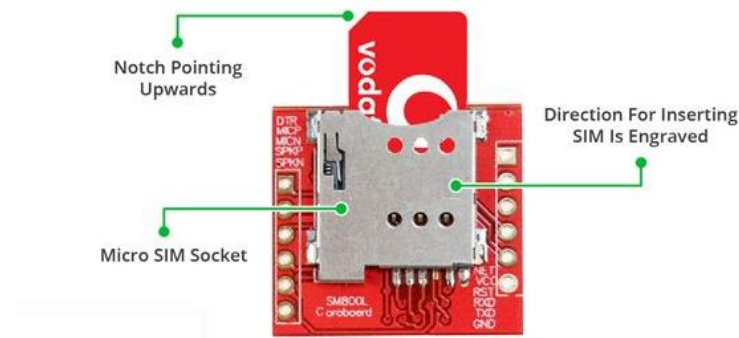


Figura 4 – Módulo GSM SIM800L

Fonte: (LASTMINUTEENGINEERS,2022)

É necessária uma antena externa para que o módulo seja conectado à rede de telefonia celular. Em sua maioria o módulo vem com uma antena helicoidal que pode ser soldada no módulo, mostrado a esquerda na figura 5. A placa também possui um conector U.FL que fica logo acima de onde a antena helicoidal, onde pode ser encaixado uma antena externa na figura 5, à direita. Com essa antena é possível distanciar a o módulo GSM da antena para projetos onde seja necessário esse distanciamento. (LASTMINUTEENGINEERS, 2022).

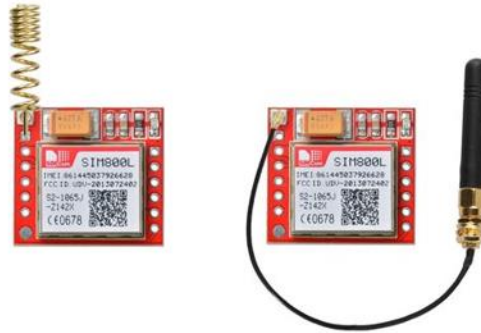


Figura 5 – Tipos de antena SIM800L

Fonte: (LASTMINUTEENGINEERS, 2022)

No canto superior direito do módulo SIM800L há um LED que indica o status da rede celular. Dependendo do estado em que a rede de celular estiver, o led pisca em diferentes frequências. Se o led do módulo piscar a cada 1s significa que está em execução, mas a conexão com a rede celular ainda não foi feita. Se frequência do led piscar a cada 2 segundos, significa que a conexão de dados GPRS está ativa. Se o led piscar a cada 3 segundos, significa que o módulo fez contato com a rede celular e pode enviar/receber voz e SMS.



Figura 6 – Indicador de status do led

Fonte: (LASTMINUTEENGINEERS,2022)

Para o módulo SIM800L tem-se 12 pinos, serão utilizados todos os pinos do lado esquerdo, relacionados à antena, alimentação, transmissão e recepção e o terra. O pino RST que realiza o reset não será utilizado no protótipo.



*Figura 7 – Pinos do módulo GMS SIM 800L*

Fonte: (LASTMINUTEENGINEERS, 2022)

NET é um pino onde é soldado a antena helicoidal. VCC fornece energia ao módulo, onde ele deve ser energizado, com uma tensão ideal de 3,4 V a 4,4 volts. RST (Reiniciar) é um pino de hard reset. Ao apertar o por 100ms é realizado o reset. RxD (Receptor) é usado para enviar comandos para o módulo. Este pino é auto-baud, então a taxa de transmissão é usada após um comando "AT". TxD (transmissor) transmite dados do módulo para o microcontrolador. GND é o pino terra. (LASTMINUTEENGINEERS, 2022)

Os pinos do lado direito não serão utilizados no protótipo, eles estão relacionados as chamadas telefônicas envolvendo o chip utilizado. Para o protótipo também foi utilizado um conversor DC-DC devido a necessidade de uma tensão mais específica para funcionamento do sistema.

## **2.6 – DC-DC**

Uma das partes mais importantes para fazer o módulo SIM800L funcionar é fornecer energia suficiente para ele. Dependendo do estado em que está, o SIM800L pode ser um dispositivo que consome muita energia. (LASTMINUTEENGINEERS, 2022). O consumo máximo de corrente do módulo pode chegar a valores próximos a 2A durante uma rajada de transmissão. A transmissão da informação é feita através de rajadas, onde cada rajada consiste em um conjunto de bits enviado através de uma de determinada portadora, no caso a operadora do chip de celular. O módulo GSM SIM 800L possui grande consumo quando realiza uma transmissão e ou recepção de informação, porém nos demais serviços do sistema o consumo de energia é mais baixo.

É necessária uma fonte de alimentação externa, pois o Arduino libera uma alimentação de 5V ou 3,3V e isso não está dentro da faixa correta de alimentação do módulo GSM. Após ajustada a tensão do módulo deve estar entre 3,4V a 4,4V (idealmente 4,1V). Apesar disso, a fonte de alimentação também deve ser capaz de fornecer corrente de pico de 2 A, parâmetro que a alimentação do Arduino também não consegue suprir. Então, se o módulo for alimentado pelo Arduino ou por uma fonte fora das especificações ideais, ele ficará reiniciando devido a não ter alimentação suficiente para desempenhar todas suas funções. Foi utilizado uma fonte de computador com uma tensão de saída de 19,5 V e com corrente máxima de 3,33 A.

Ajustado a tensão para o funcionamento do protótipo para 4,4 V. Para a instalação do protótipo será utilizado a fonte do próprio ativo Rádio de Dados a qual fornece uma potência total de 200 watts com tensão de 12 volts. Quando em pico de transmissão o Rádio de Dados necessita de aproximadamente 7 amperes de corrente, e protótipo necessita de apenas 2 amperes em pico de corrente, já a fonte entrega próximo aos 15 amperes de corrente para o sistema se necessário.



Figura 8 – Conversor DC-DC

Fonte: (Própria,2022)

## 2.6 – Relé

Foi utilizado no protótipo um relé de duplo controle (dois relés), um para realizar o reset do Rádio de Dados e o outro para realizar reset do GPS. Para os Rádio de Dados, em que a alimentação do GPS é no próprio Rádio de Dados será utilizado apenas um relé. Para os testes em bancadas foi utilizado dois relés separados para exemplificar o funcionamento correto das portas designadas para operação de cada um deles.



Figura 9 – Conversor DC-DC

Fonte: (SHOPEE,2022)

Um interruptor eletromecânico, responsável pelo controle de abertura e fechamento de circuitos elétricos. A energização de sua bobina cria um campo magnético que atua na movimentação a alavanca de seleção para mudança de estado dos contatos. (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2022).

Em testes em bancada foi utilizado um relé, onde é conectado um cabo da porta 7 para o pino IN do relé. É ligado o 5V do Arduino no VCC do relé, e o GND do Arduino é conectado no GND do relé. O relé possui dois leds, o vermelho simboliza que o relé está energizado, e o verde simboliza que o relé está acionado. Do lado oposto a essas ligações tem-se o lado das conexões dos contatos do relé, NO/NA de Normalmente Aberto ou NC/NF Normalmente Fechado. Normalmente aberto (NO) e Normalmente fechado (NC) são termos usados para definir os estados de chaves, sensores ou contatos do relé quando sua bobina não está excitada. É o fundamento da automação de processos. (ELECTRICALCLASSROOM, 2022).

A alimentação dos ativos propostos (Rádio de Dados e ou GPS) é conectada no contato Normalmente Fechado do relé, pois só será interrompida quando o relé for acionado, diminuindo assim a possibilidade de falhas de corte de alimentação por algum tipo de problema no relé. O retorno dessa alimentação é conectado no borne COM, de comum. Com isso, tem-se a alimentação (positivo da fonte do Rádio de Dados) passando pelos contatos do relé e indo para o ativo. O negativo da fonte permanece conectado direto no ativo Rádio de Dados. Assim tem-se o funcionamento completo de cada elemento do protótipo. Foi adicionado uma redundância para caso o relé principal pare de funcionar, o funcionamento permanece o mesmo do primeiro relé, o que muda é a mensagem que passará para “R2 on”. Os relés estão ligados em série, por isso quando algum deles deixa de funcionar não afeta o ativo principal pois estão com a configuração em NC, e o outro relé que permanecer com a bobina funcional passa a executar a função do Reset.

## **2.6 – Funcionamento**

O sistema funcionará com a junção de todos os elementos do protótipo e com a inserção de procedimentos a serem utilizados quando houver a necessidade de realizar um reset remoto no ativo Rádio de dados. A equipe que irá realizar o procedimento, já atua na área com configurações e apoio para normalização de falhas de Rádio de Dados. Percebendo que há a necessidade de realizar o reset, a equipe do CDC irá enviar uma mensagem para o número de telefone cadastrado para aquele ativo em questão. Será enviado a mensagem “R1 on”, esta mensagem chegará no módulo GSM que faz o envio dessa informação pelos pinos de TX e RX para os pinos 2 e 3 respectivamente do Arduino. Quando a mensagem chega ao Arduino, o mesmo

processa essa informação e verifica em sua programação se há alguma ação a ser executada. E pelas linhas de códigos o Arduino executa o “divece\_1” LOW, significaria que o Arduino não manda o relé acionar devido o pulso “em baixo”, porém para o modelo do relé adquirido os pulsos são invertidos, devido ao modelo ser mais barato. Então quando houver um “digitalWrite” em LOW para o device 1 significa que o RESET foi executado. Na quarta linha temos o “delay(45000)” isso significa uma contagem de tempo de 45 mil milissegundos, ou seja 45 segundos, tempo esse utilizado para que todo o sistema do Rádio de Dados/GPS seja desenergizado de maneira correta.

```

if (message.indexOf("R1 ON") > -1) {
  digitalWrite(device_1, LOW);
  Serial.println("Comando para Resetar iniciado");
  delay(45000);
  digitalWrite(device_1, HIGH);
  Serial.println("Comando para resetar finalizado");
}

```

*Figura 10 – Parte do código / acionamento do relé*

Fonte: (Própria,2022)

A partir daí, em “digitalWrite(device\_1,HIGH)”, após a contagem dos 45 segundos, tem-se o relé de volta em seu estado natural, pois está em HIGH (natural pela inversão do modelo do relé).

Em casos onde há Rádio de Dados com sincronismo ruim ou travado, faz-se necessário o reset físico dos equipamentos mesmo que sejam Control Points. Caso a tensão de alimentação do local seja interrompida por uma falha elétrica na região isso pode afetar o conversor DC-DC e o objetivo do protótipo pois o módulo GSM irá reiniciar constantemente por não conseguir buscar a rede ou por não conseguir enviar e/ou receber informação na explosão de transmissão onde ele demanda de 2 Amperes de corrente. Caso o relé apresente falha, afetará também o protótipo, onde não será possível enviar o reset, mas não implicará em falhas de corte de alimentação do Rádio de Dados, pois estão ligados nos bornes Normalmente Fechado e Comum. Uma das soluções é a instalação de mais um relé como redundância, para não interromper o funcionamento do sistema, caso seja necessário.

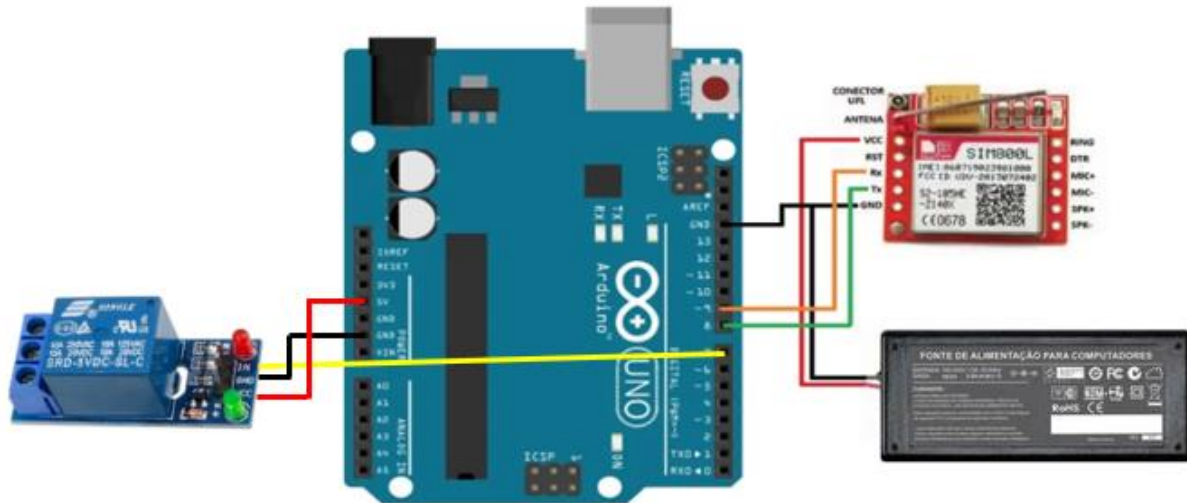


Figura 11 – Layout do protótipo em bancada

Fonte: (Própria,2022)

Em relação ao layout das conexões nos testes de bancada, temos o Arduino energizado pelo cabo USB 5V do próprio notebook. A alimentação do módulo GSM é a partir de uma fonte/carregador de notebook da HP com corrente máxima de 3,3 amperes de corrente e 19,5 volts de tensão contínua, esse valor é ajustado a partir de um conversor DC-DC para 4,4 volts. A ligação do TX e RX do módulo GSM já foi mencionada acima, o relé terá seu pino IN na porta 7 do Arduino, e o GND do Arduino deve ser aterrado junto com o GND do módulo GSM.

O fluxograma abaixo representa o funcionamento do protótipo e relações ao processo e seus principais elementos. O supervisor de Telecom faz conexão direta com as informações dos Rádio de Dados, levando-as até um membro do CDC (Centro de Diagnostico de Confiabilidade). Nessas informações constam se o Rádio está sincronizado, travado, com problemas de rádio frequência e entre outros. O membro do CDC verifica a necessidade de realizar o reset no Rádio de Dados proveniente das informações do Supervisor de Telecom. Após verificar que é necessário, e enviado um SMS para o ativo, esse SMS chega ao módulo GSM, essa informação é enviada para o Arduino, que faz o processamento e verifica se se foi enviado a mensagem correta para o número designado para aquele ativo.



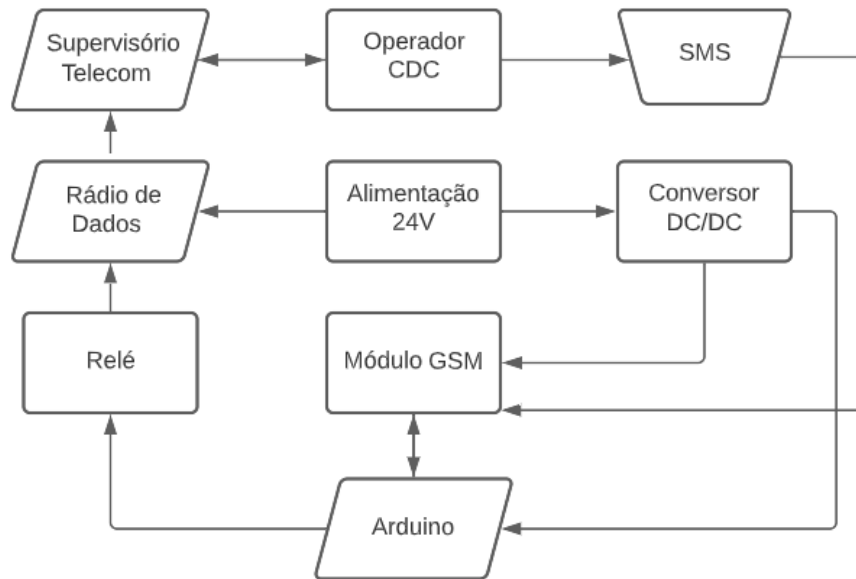


Figura 12 – Fluxograma funcionamento do protótipo

Fonte: (Própria,2022)

Após o Arduino verificar a mensagem contida no SMS, constatando que é a mensagem correta, é acionado o Relé que realiza o corte da alimentação do Rádio de Dados (e do GPS), com isso é realizado o reset no ativo. O conversor DC/DC está inserido no fluxograma para diferenciar a alimentação do Rádio de Dados do Arduino e do módulo GSM. O relé faz o corte de alimentação somente do Rádio de Dados, por isso todo o restante dos equipamentos permanece com o funcionamento normal.

Com a implementação do protótipo em um Rádio de Dados faz-se necessário um fluxograma de atendimento, com informações necessárias sobre quando realizar o reset. Se o Rádio estiver travado, será necessário que seja realizada alguma ação, com isso o Reset se torna umas das principais ações para possível normalização do sistema. Caso o reset não normalize o sistema, será necessário uma equipe de manutenção da localidade se deslocar para realizar uma vistoria mais detalhada. Lembrando que as equipes possuem diversos outros ativos na ferrovia para realizar manutenções. Há possibilidade de uma equipe já estar atendendo uma falha em outro ponto distante da falha não sanada pelo Reset, com isso o ativo ficará em falha até a equipe conseguir se deslocar e atuar no ativo.

Caso o GPS do Rádio de Dados fique sem sincronismo, os trens que passarem na localidade não conseguirão ter a comunicação ideal já que a transmissão e recepção podem acontecer ao mesmo tempo, impossibilitando a captação dessas informações. Nesse contexto, é necessário verificar com o setor que licencia os

trens quando poderá ser realizado o procedimento do reset, não possuindo trens na localidade. Após reset, caso não normalize o sistema, a equipe de manutenção deve ir ao local e realizar inspeção no sistema que realiza o sincronismo do Rádio, principal elemento o GPS.

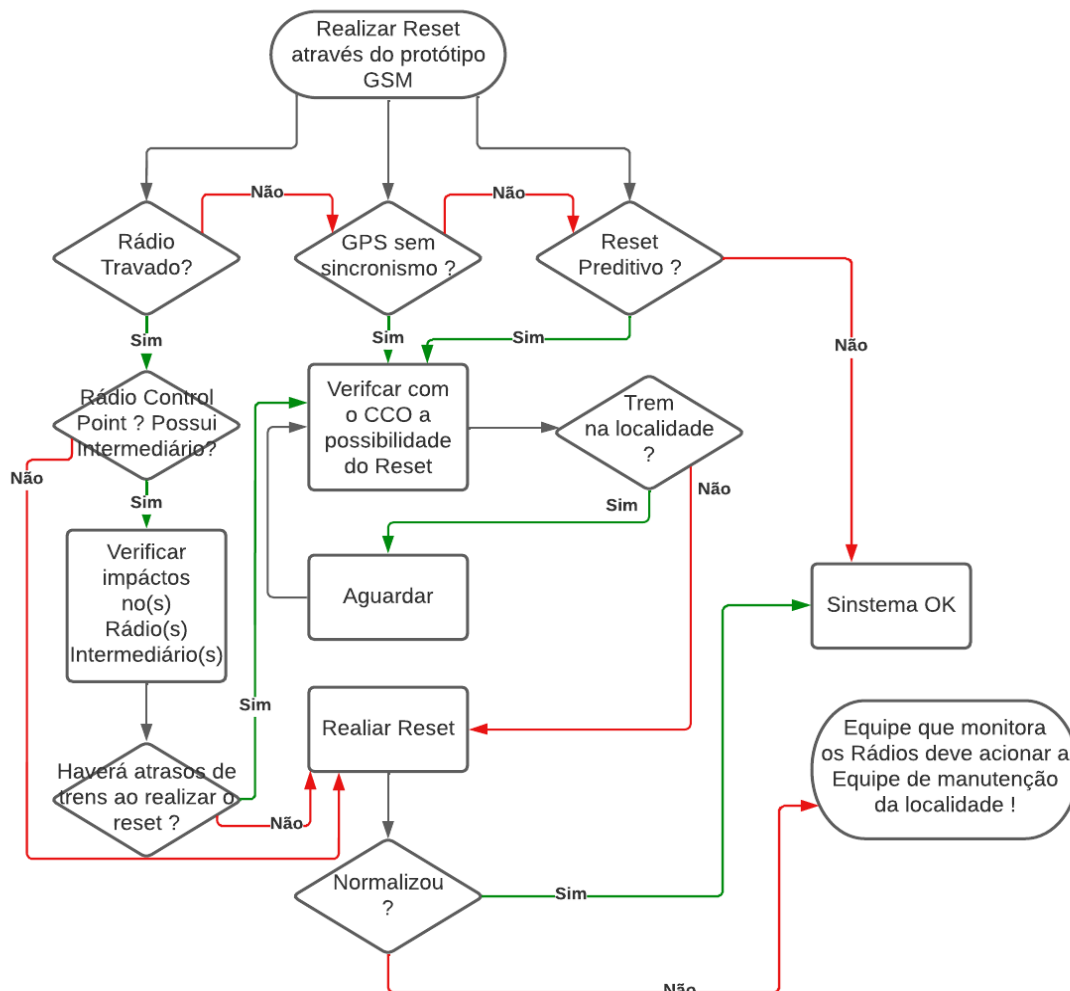


Figura 13 – Fluxograma Reset em Rádio de Dados pelo Protótipo GSM

Fonte: (Própria,2022)

Em último caso, quando houver uma solicitação preditiva que indique o Rádio está tendendo a falhar, segue o passo de verificar com o CCO (Centro de Controle Operacional) a possibilidade do reset sem nenhum atraso e ou impacto ferroviário. Após realizado, como em todos os passos acima, o sistema é normalizado ou será necessário equipe de manutenção ir ao local realizar inspeção no ativo do Rádio de Dados.

### 3 – Metodologia

Nesse projeto foram utilizadas informações sobre dois principais pontos: o número de falhas de Rádios de Dados por ano, em quais falhas a solução foi unicamente o reset do equipamento. Outra variável, que ainda não pode ser quantificada, foi o número de solicitação preditivas abertas para realização do reset físico devido os ativos estarem tendendo a falhar. Por último, mas não menos importantes tem-se os locais de difícil acesso, que são os locais que possuem Rádio de Dados onde a equipe de manutenção tem grande dificuldade para realizar o acesso ao local. De modo geral, foi realizado um levantamento dos custos para implantação do protótipo em relação aos ganhos que podem ser gerados pela utilização do protótipo.

#### 3.1 – Falhas de Rádio de Dados

A metodologia da pesquisa utilizada pode ser considerada como aplicada, foi realizado um levantamento dos últimos cinco anos sobre todas as falhas registradas no sistema, onde a solução delas foi o reset no Rádio de Dados. Levando em conta que pode haver erros ou falta de digitação em algumas falhas, esse número pode ser maior, porém será considerado somente os registros no sistema, onde no total dos últimos cinco anos, tem-se 104 falhas. Em 2021 um total de 31 falhas e até setembro de 2022 um total de 15 falhas, que poderiam ser evitadas com a utilização do protótipo.

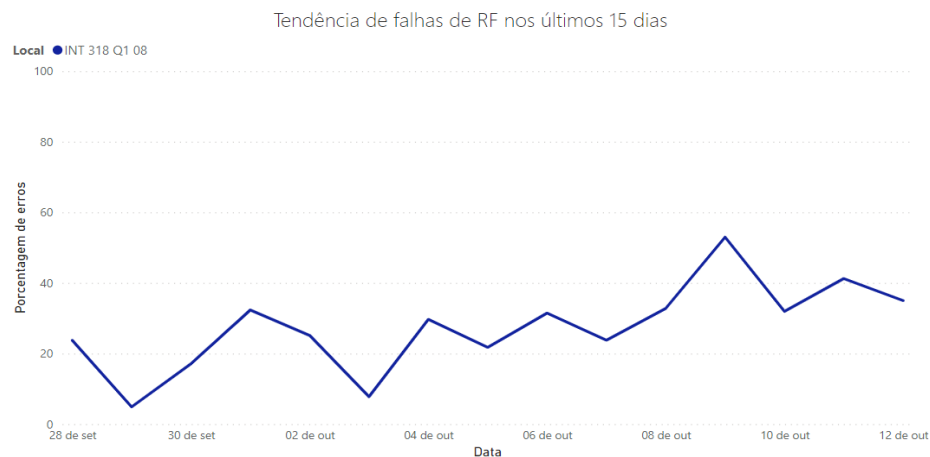
Grupo Ativo OS	(Tudo) ▾
Resolução Falha	(Tudo) ▾
Contagem de Resolução Falha	
Ano ▾	Total
2017	15
2018	12
2019	16
2020	15
2021	31
2022	15
<b>Total Geral</b>	<b>104</b>

Figura 14 – Filtro de falhas de Rádio de Dados com a solução de Reset

Fonte: (Falhas 2017 a 2022 de Rádio de Dados MRS)

### 3.2 – Preditivas de Rádio de Dados

Uma das maneiras de verificação se os ativos podem estar com tendência de falhas é de forma preditiva. A manutenção preditiva possui o objetivo principal de antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos. Ou seja, mesmo antes de se tornarem problemas potenciais, agindo quando ainda somente se encontram sintomas. (TOTVS, 2022). Esta manutenção prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições necessárias para que este tempo seja aproveitado. (CERTIFICACAOISO, 2022).



*Figura 15 – Tendência de falhas RF de um Rádio de Dados*

Fonte: (Preditiva Rádio de Dados MRS,2022)

A preditiva de Rádio de Dados é verificada todos os dias pela manhã, realizada com uma programação via linguagem Python. São coletados os logs dos Rádio de Dados Control Points que possuem todas as comunicações com seus Intermediários. Com isso, o sistema verifica se está havendo uma piora do nível de Rádio Frequência entre eles. Se sim, o sistema identifica que é necessário um reset no sistema. Além da preditiva por RF, o sistema possui também a verificação de tendência de falha de sincronismo. Como os rádios transmitem e recebem informações, esse funcionamento não pode acontecer em um mesmo período de tempo, ou seja, a transmissão a recepção deve possuir uma diferença de tempo entre elas. Caso esse sincronismo começa a ficar fora dos parâmetros pode haver perdas de informações e, com isso impactos, ferroviários. Para esse caso também pode ser resolvido com um reset no equipamento. No ano de 2022 já foram necessários 5

resets em equipamentos diferentes, onde as equipes tiveram que se deslocar para o local. Com o protótipo esse processo pode ser encurtado, gerando um ganho na confiabilidade do ativo pois se a equipe já estiver atendendo uma outra falha crítica, a preditiva não poderá ser atendida de imediata. O sistema ganharia confiabilidade e economia de HH.

### **3.3 – Locais de difícil acesso**

Os Rádios de Dados estão espalhados por toda malha da MRS e existem locais onde o acesso é dificultado por se tratar de zonas rurais ou áreas de risco para os colaboradores. Nas zonas rurais, normalmente, o tempo de deslocamento é elevado devido à falta de estradas, sendo necessário percorrer um trecho a pé e devido as propriedades privadas localizadas nessas regiões. A alternativa utilizada para diminuir o tempo de deslocamento é o uso de veículos rodoferroviários na via, demandando mais colaboradores e programação para a atividade. Nas áreas de risco é necessário apoio da Segurança Patrimonial da MRS para garantir a integridade dos colaboradores.

Esses locais seriam os primeiros pontos para instalação do protótipo piloto do projeto, visando diminuir os impactos à operação ferroviária.

### **3.4 – Custos**

Um dos custos que deve ser mencionado é o custo de Demarragem, que é o termo utilizado em ferrovias para a retirada de um trem da inércia, tal como o termo arremeter na aviação (DICIONARIOCRIATIVO, 2022). Depende da inclinação em graus da via e das especificidades da região, além do características do trem, se o mesmo está carregado ou vazio, números de vagões, entre outras variáveis. Porém, em média, para a região denominada Ferrovia do Aço (foco primário da implementação do protótipo), os custos médios de Demarragem são de 80 litros de diesel. Considerando o menor valor médio entre RJ, MG e SP, temos R\$6,65 por cada litro de diesel (PRECODOSCOMBUSTIVEIS, 2022). Multiplicando 80 litros pelo preço unitário, temos um valor de R\$520,00 para cada Demarragem. Porém, sempre quando um trem é impactado e o Rádio de Dados não for reestabelecido a tempo, ele deverá seguir com o CBTC em modo Isolado pelo trecho de cobertura daquele rádio e deverá realizar nova ativação do sistema à frente, com isso haverá duas demarragens a serem feitas. Além do impacto causado ao primeiro trem, o rádio isolado afetará os

trens que ainda vão passar no local, que deverão seguir o mesmo procedimento adotado no primeiro impacto. Ou seja, no caso seriam duas Demarragens por trem, totalizando R\$1040,00.

Os custos de protótipo são relacionados a tabela abaixo, totalizando aproximadamente R\$ 227,00 para a implantação no primeiro ano para cada protótipo com um relé de redundância. O chip ficará em custo anual de R\$120,00 para os próximos anos.

CUSTOS	Quantidade	Valor unitário	Sub-total
Arduino UNO	1	26,18	26,18
Relé duplo	2	8,87	17,74
Módulo GSM	1	16,07	16,07
Conversor DC-DC	1	5,05	5,05
Cabos	2	5,64	11,28
Frete	1	30	30
Chip/plano	12	10	120
<b>TOTAL</b>			<b>226,32</b>

*Figura 16 – Custos do protótipo*

Fonte: (Própria,2022)

#### **4 – Resultados e Discussões**

Aqui serão apresentados os resultados obtidos por meio dos experimentos descritos nos procedimentos técnicos, metodológicos e as discussões dos resultados obtidos. Tem-se então um custo de R\$ 227,00 e um ganho de R\$1040,00 para cada trem quando normalizando um Rádio de Dados através do reset. Estima-se uma média de quatro anos e meio para o projeto gerar lucro líquido, considerando que todo ano seriam trocados todos os componentes do projeto, sendo R\$ 227,00 por ano. Supõe-se que os componentes se manteriam íntegros, o custo seria de R\$227,00 no primeiro ano e 120,00 nos demais anos, totalizando assim um pouco mais de sete anos e meio para um payback.

Payback é um indicador financeiro que representa o tempo de retorno de um investimento. O próprio termo significa “retorno” em inglês, e ele é usado para medir quanto tempo leva para recuperar o dinheiro investido em um determinado projeto ou aplicação. Logo, o payback se tornou um dos principais parâmetros a serem considerados na avaliação de um investimento da empresa. (CONTA AZUL,2022)

Serão considerados os valores mais conservadores para o cálculo de payback no caso de ocorrer uma falha ou impacto ferroviário dentro de quatro anos e meio que

poderia ter sido evitada pelo protótipo, financeiramente o projeto já se torna viável. Além das falhas, o protótipo atuará na preditivas abertas, trazendo economia de backlog de manutenção. O backlog também pode ser considerado uma medida de tempo representando o período que um profissional ou equipe demora para finalizar uma determinada quantidade de serviços acumulados (MAXINST,2022). Além da economia de tempo, há também uma maior confiabilidade para o ativo Rádio de Dados.

Solicitação	Coordenação	Ativo	Descritivo	Ação	Início	Fim	Tempo
6684284	GEE.FA.FJC	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	15/jan/22	15/jan/22	00:55:00
6716272	GEE.MG.FBV	ADIO DE D	MAQUINIST	RESETAR	21/jan/22	21/jan/22	00:55:00
6719287	GEE.MG.FBV	ADIO DE D	Torre repeti	RESETAR	21/jan/22	21/jan/22	08:18:00
6756652	GEE.FA.FPT	RADIO DE	RÁDIO DE D	RESETAR	29/jan/22	29/jan/22	04:46:00
6767246	GEE.FA.FPT	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	31/jan/22	31/jan/22	00:09:00
6788359	GEE.FA.FDE	ADIO DE D	MAQUINIST	RESETAR	04/fev/22	04/fev/22	00:56:00
6898255	GEE.FA.FJC	RADIO DE	RÁDIO DE D	RESETAR	04/mar/22	04/mar/22	09:56:00
6940765	GEE.RJ.FBP	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	12/mar/22	12/mar/22	02:19:00
6998280	GEE.FA.FOJ	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	21/mar/22	21/mar/22	03:20:00
7102247	GEE.FA.FJC	ADIO DE D	Rádio de da	RESETAR	07/abr/22	07/abr/22	02:57:00
7240129	GEE.FA.FDE	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	15/mai/22	16/mai/22	09:16:00
7572994	GEE.FA.FJC	RADIO DE	MAQUINIST	RESETAR	15/ago/22	15/ago/22	01:59:00
7574269	GEE.FA.FJC	RADIO DE	Rádio de da	RESETAR	15/ago/22	17/ago/22	23:26:00
7633294	GEE.RJ.FPL	RADIO DE	MAQUINIST	RESETAR	25/ago/22	26/ago/22	01:50:00
7733412	GEE.MG.FBV	RADIO DE	RÁDIO DE D	RESETAR	21/set/22	21/set/22	06:33:00

Figura 17 – Falhas de 2022 de Rádio de Dados com ação Resetar

Fonte: (Falhas 2017 a 2022 de Rádio de Dados MRS)

Outro aspecto foi o tempo médio de 6 horas e 46 minutos para a normalização das falhas em que a ação foi o reset no ativo Rádio de Dados, com um total de 15 falhas no ano de 2022. Com essa média verifica-se que, dependendo das especificações da falha, vários trens podem ser impactados. A imagem abaixo retrata um sistema interno da MRS onde é verificado a previsão de horário de passagens de trens de um pátio a outro. Pode-se verificar a quantidade de trens que passa em um determinado local a cada hora, para exemplificar com o pátio de P1-10 Km 250, das 00h do dia 26/11/2022 até às 10h do mesmo dia passaram no local um total de 15 trens. Os riscos na diagonal simbolizam o trem movimentando de um pátio a outro de acordo com o tempo. No caso do pátio de P1-10 Km 250 é perceptível que os trens ali tiveram um atraso em relação aos demais pátios, pois nesse pátio, o traço que simboliza cada trem ficou parado por algum tempo no pátio em questão. Foi exemplificado o pátio de P1-10 Km250 pois nele houve um atraso que simboliza o mesmo tipo de atraso quando há um Rádio de Dados com problema e demonstrando uma média de trens por hora que pode passar no local. Com um total de 15 trens em 10 horas, temos uma média de 1,5 trens por hora. Para maior assertividade foi retirado

um relatório (sistemas internos MRS) de todas as passagens de trens do pátio no mês de novembro do pátio de P1-10, totalizando 889. Acarretando uma média de 1,23 trens por hora para o exemplo do pátio de P1-10.

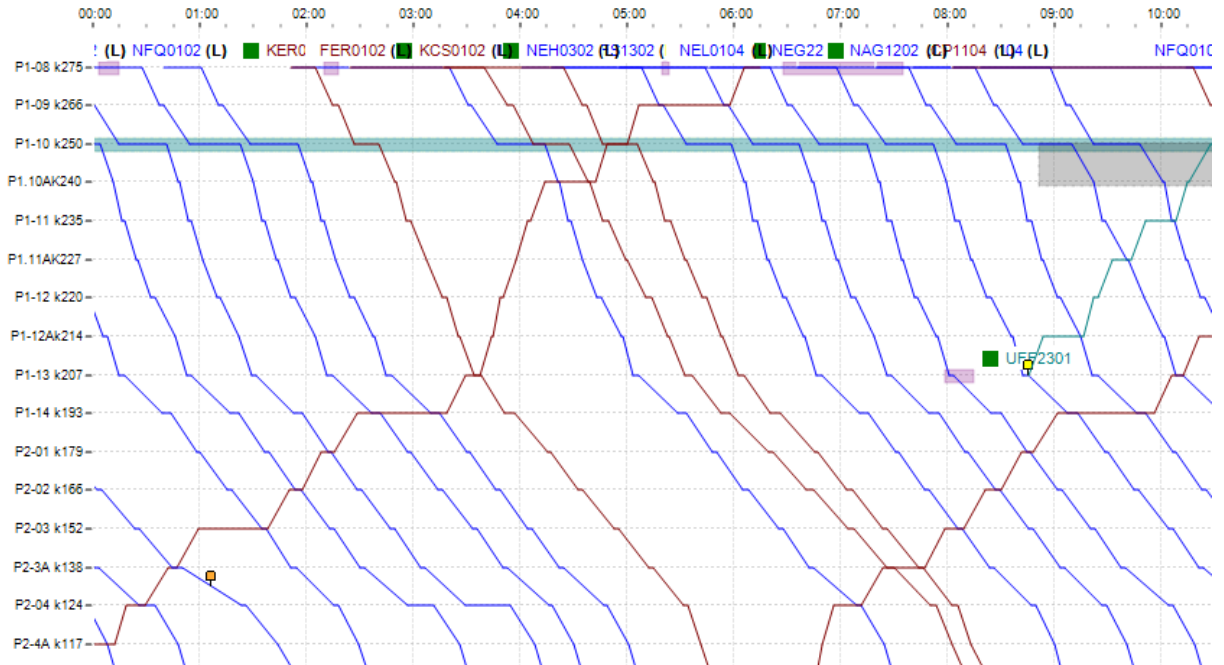


Figura 18 – GHM Ferrovia do Aço do dia 26/11/22

Fonte: (Sistema Interno MRS)

Considerando que o tempo médio para normalização das falhas de 2022, está em 6 horas e 46 minutos e a quantidade média de circulação de trens no pátio é de 1,23 trens, teríamos um total de 8 trens passando ao local. Poderia ter gerado impacto em até 8 trens uma única falha. Como o custo para demarragem está em R\$1040,00 por trem, para uma falha com impacto de 8 trens, haveria um prejuízo de R\$8.320,00. Porém, para realizar um cálculo reduzindo os impactos e colocando uma média menor em ambos os aspectos, tanto para número de trens que pode passar no pátio a cada hora e arredondar o tempo médio para a normalização do Rádio de Dados. De forma otimista tem-se então uma média de 1 trem por hora circulando no pátio, e um tempo médio de normalização do sistema de Rádio de Dados de 6 horas, nesse caso teria uma média de 6 trens impactados, com isso a necessidade de demarragens e um total gasto em diesel de R\$6240,00. Então, em um projeto que custa em média R\$227,00 teria, pelo menos, uma economia de 5 trens impactados, considerando que falha só seria conhecida após o primeiro impacto. Ou seja, um total de R\$5200,00 economizados. Retirando o preço do protótipo, haveria um ganho de R\$4973,00,



considerando uma média conservadora de trens circulando no pátio.

## 5 – Considerações Finais

O protótipo torna-se necessário considerando toda amplitude da ferrovia, devido a facilidade da realização de um reset realizado na parte da alimentação dos ativos Rádio de Dados e do elemento GPS, com isso a atuação trará benefícios nas manutenções corretivas e nas manutenções preditivas. O custo do protótipo é baixo em relação aos custos de demarragens que podem ser evitados, sendo que um rádio pode impactar mais de um trem durante a circulação devido ao tempo de deslocamento da equipe até o local da falha, aumentando assim os custos das demarragem e os custos dos atrasos para que o trem realize a entrega ao cliente (custos de entregas foram desconsiderados para os cálculos).

O sistema teria maior confiabilidade, as falhas podem ser amenizadas e as atuações nas preditivas podem ser quase que de imediato. Esses são os principais ganhos do projeto com um todo. Em caso de falha de algum módulo do protótipo, não geraria falha no rádio de dados pois o relé será utilizado nas portas normalmente fechada e comum, então mesmo que o relé pare de funcionar, sua condição normal será com seus contatos fechados. O foco do protótipo é em relação aos Rádios de Dados Intermediários sem fibra, porém conclui-se que o protótipo pode ser instalado também nos rádios com fibra podendo auxiliá-los quando necessário.

## Referências

ARDUINO. Disponível em: <http://www.arduino.cc>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

BAU DA ELETRÔNICA. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/componentes-eletronicos/modulo-rele>. Acesso em: 23 outubro de 2022.

CERTIFICACAOISO. Disponível em: <https://certificacaoiso.com.br/e-manutencao-preditiva-2/>. Acesso em: 14 outubro de 2022.

CONTA AZUL. Disponível em: <https://blog.contaazul.com/indicador-payback>. Acesso em: 18 outubro de 2022.

DICIONARIOCRIATIVO. Disponível em: <https://dicionariocriativo.com.br/wikipedia/demarragem#:~:text=Demarragem%20%C>

[3%A9%20o%20termo%20utilizado,o%20termo%20arremeter%20na%20avia%C3%A7%C3%A3o](#). Acesso em: 28 outubro de 2022.

ELECTRICALCLASSROOM. Disponível em: [https://www.electricalclassroom.com/difference-between-no-and-nc/#:~:text=Normally%20open\(NO\)%20and%20Normally,the%20fundamental%20of%20process%20automation](https://www.electricalclassroom.com/difference-between-no-and-nc/#:~:text=Normally%20open(NO)%20and%20Normally,the%20fundamental%20of%20process%20automation). Acesso em: 29 outubro de 2022.

ELETROGATE, O que é Arduino: Para que Serve, Vantagens e como utilizar. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>. Acesso em: 27 outubro de 2022.

EVANS, M.; NOBLE, J; HOCHENBAUM, J. Arduino em Ação. São Paulo: Novatec, 2013. Acesso em: 27 outubro de 2022.

FENNER, D. Railway Signaling, 3rd IET Professional Development Course on Railway Electrification Infrastructure and Systems, 2007.

GODDARD, E. Overview of Signalling and Train Control, The 9th Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on Electric Traction Systems, 2006.

GOMES, A. B.; Silva, G. A. C.; Gelacki, R. Automação Residencial: Utilizando uma plataforma de baixo custo. 2016. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Eletrônica, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa - Pr, 2016.

JUNIOR, Claudio Lopes Pereira. Análise de viabilidade da implementação do controle de trem baseado em comunicação – CBTC: Um estudo de caso da empresa MRS Logística do setor ferroviário do Sudeste Brasileiro. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica pelo - Centro Universitário Academia – UniAcademia, 2021.

LASTMINUTEENGINEERS. Send Receive SMS e call with SIM800L GSM Module e Arduino. Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/sim800l-gsm-module-arduino-tutorial/>. Acesso em: 26 de outubro de 2022

MARTINS; P. G.; LAUGENI, F. P. Administração da produção. São Paulo: Saraiva, 2006. Acesso em: 14 outubro de 2022.

MAXINST. Disponível em: <https://maxinst.com.br/backlog-na-manutencao-como-calcular/>. Acesso em: 27 outubro de 2022.

MRS. Disponível em: <https://www.mrs.com.br/>. Acesso em: 11 outubro de 2022  
NOVAES, Antônio Galvão N. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. Disponível em: <https://revista.faculdadeitop.edu.br/index.php/revista>. Acesso em: 21 outubro de 2022.

NUNES, Conrado. Utilização de Métodos de Análise de Falhas em um Sistema de Sinalização Ferroviária. 2012. Monografia (Pós-Graduação) – Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas, Departamento de Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

PRECODOSCOMBUSTIVEIS. Disponível em:

<https://precodoscombustiveis.com.br/pt-br/city/brasil/rio-de-janeiro/rio-de-janeiro/3239>. Acesso em: 18 outubro de 2022.

SHOPEE. Disponível em: <https://shopee.com.br/M%C3%B3dulo-Rel%C3%A9-De-Dois-Canais-De-5V-Com-optocoupler-Para-PIC-AVR-DSP-ARM-Arduino-i.312886583.18943234143>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

SOLDAFRIA, O que é o Arduino e por que ele é usado?

Disponível em: [https://www.soldafria.com.br/blog/o-que-e-um-arduino-para-que-serve-como-funciona-onde-comprar?gclid=Cj0KCQiAm5ycBhCXARIsAPIdzoUGpsa2ul04fMlaL6nRRqcCy6UXkFhdhRAnke4225nOqTp6ko-nNtoaAtIEEALw\\_wcB](https://www.soldafria.com.br/blog/o-que-e-um-arduino-para-que-serve-como-funciona-onde-comprar?gclid=Cj0KCQiAm5ycBhCXARIsAPIdzoUGpsa2ul04fMlaL6nRRqcCy6UXkFhdhRAnke4225nOqTp6ko-nNtoaAtIEEALw_wcB). Acesso em: 14 outubro de 2022.

TOTVS. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/manutencao-preditiva/#:~:text=A%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20preditiva%20possui%20o,a%20samente%20se%20encontram%20sintomas>. Acesso em: 27 outubro de 2022.

VALE, Qual a importância das ferrovias para o desenvolvimento socioeconômico?

Disponível em : <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/qual-a-importancia-das-ferrovias-para-o-desenvolvimento-socioeconomico-de-um-pais.aspx#:~:text=As%20ferrovias%20transportam%20cargas%20que,o%20mercado%20brasileiro%20mais%20competitivo>. Acesso em: 20 outubro de 2022.