

SISTEMA EMBARCADO PARA MEDIÇÃO DINÂMICA DE BITOLA DAS VIAS FERROVIÁRIAS

Lorrainy Rembiski Delfino, Me. Engenharia Elétrica, Actdigital, Brasil

Gabriel Flausino de Souza, Engenheiro Eletricista, Actdigital, Brasil

Allan Lorenzoni Canal, Engenheiro Mecânico, Actdigital, Brasil

Leonardo da Silva Demonel, Engenheiro Civil, Vale, Brasil

Jaqueline Kumm, Cientista da Computação, Vale, Brasil

Marcelo Lima Soares, Engenheiro Industrial, Vale, Brasil

Fabiana Zambroni Neves, Cientista da Computação, Vale, Brasil

RESUMO

O uso de tecnologia em processos ferroviários está cada vez mais presente nas ferrovias que necessitam desse apoio para evoluir seus sistemas e operações. As ferrovias no mundo têm adotado os Sistemas Embarcados como meio de refinar sua performance e a aumentar a segurança das suas vias. Em quesito de segurança, existem várias frentes para otimização, uma delas é quanto saúde e preservação dos operadores que realizam a inspeção e manutenção das vias. Este artigo tem por objetivo analisar o uso de sistemas embarcados para inspeções de bitola das vias permanentes em pátios ferroviários, por meio de experimentação de um dispositivo para medição dinâmica das bitolas das ferrovias instalado em um caminhão de linha, o Medidor Dinâmico de Bitola. Os resultados dos testes em campo apontaram que o dispositivo em uma área controlada, com condições ideais, é capaz de realizar a medição de forma regular, entretanto em área não controlada existem muitos fatores que podem causar erros nas medições. Portanto, existe a necessidade de ajustes no firmware do sistema para melhoria de precisão e adaptação em diferentes cenários de operação para que o sistema tenha efetividade de uso. Por se tratar de uma experimentação para avaliação de mudança de processo na medição realizada hoje, outros pontos precisam ser tratados como estabilidade, proteção, durabilidade do dispositivo na operação.

Palavras-chaves: Sistemas Embarcados; Patologias Ferroviárias; Via Permanente; Bitola; Medição Dinâmica.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção das vias férreas é essencial para cumprir os requisitos de segurança do transporte, aumentar a confiabilidade e eficiência da rede, além de promover o avanço sustentável das tecnologias ferroviárias (DINMOHAMMADI *et al*, 2016). Durante décadas, a manutenção dos trilhos na Grã-Bretanha exigiu o envolvimento de humanos; hoje, existem equipamentos que oferecem suporte, porém mais de 15.000 pessoas ainda trabalham em atividades associadas a manutenção, incluindo a correção de problemas de

sinalização, cruzamentos ferroviários, trilhos quebrados, material rodante, etc. (LIU et al, 2023).

As falhas ferroviárias ocasionam muitos problemas, que por vezes não há como recuperar, como fatalidades das pessoas que operam, inspecionam, trafegam ou realizam manutenções pelas ferrovias e, também, perdas econômicas, tais como custos de manutenção não planejados e subsequentes atrasos dispendiosos. Uma análise precisa dos parâmetros geométricos dos trilhos ferroviários leva a um melhor planejamento de manutenção e ao uso ideal e seguro da infraestrutura ferroviária (ABADI *et al*, 2023).

Quando identificadas as falhas nas linhas férreas, estas podem ser consideradas como anomalias ou patologias, por denominação é um desvio da condição normal e segura da via permanente (ACEITUNO *et al*, 2019). A identificação destas anomalias é realizada através de rotinas de inspeção que contemplam equipamentos de medições, inspeções sensitivas visuais, carro controle, vagões instrumentados, entre outros. As manutenções são realizadas com o deslocamento das equipes até o local nos trilhos onde foram identificadas as anomalias, para validar e realizar a correção.

Do ponto de vista tecnológico, os sistemas embarcados representam uma nova referência poderosa para solucionar problemas. São dispositivos que oferecem baixo consumo de energia, alta confiabilidade e segurança. A automatização de processos através de sistemas embarcados permite que sejam removidas ou reduzidas a presença de pessoas em atividades de risco, possibilitando que as coletas e análises de dados aconteçam a distância. Apenas a correção, se necessário, ocorra presencial.

Atualmente, as inspeções das vias permanentes dos pátios ferroviários para identificação de patologias dependem de operadores percorrerem as vias com equipamentos manuais, ou equipamentos eletrônicos que se movimentam pelas vias com longos intervalos de ciclos de operação, um exemplo é o carro controle que realiza a medição de bitola, no entanto é um equipamento de alta demanda e que não consegue cobrir todo o trecho demandado.

O pátio ferroviário é o ambiente em que as falhas nos trilhos são recorrentes, visto que o fluxo operacional no local também é grande, por ser utilizado como ponto focal das composições. Em vista disso, se faz necessária a presença de monitoramento constante das vias. Deve-se citar que já existem equipamentos capazes de fazer a leitura da bitola dos trilhos em mercado, com a utilização de sensores laser. Alguns fatores dificultam a utilização desses equipamentos como, por exemplo, a dificuldade de instalação, pois em geral são projetados para modelos mais novos de locomotivas, e o alto investimento necessário para compra e implementação.

Dessa forma, o cenário em análise neste estudo é a experimentação de um sistema embarcado de baixo custo para o processo de inspeção dos pátios ferroviários com foco na identificação da patologia de bitola ferroviária. O dispositivo, denominado como Medidor Dinâmico de Bitola, será inserido em um caminhão de linha, que possui o fluxo diário nos pátios, para a identificação de alargamento ou estreitamento de bitola ferroviária de forma dinâmica.

2. DESENVOLVIMENTO

Para elaboração da experimentação foi construída uma linha de estudo, onde realizou-se primeiro uma análise do problema, em seguida uma pesquisa de mercado e, por fim, o teste de hipótese que resultou no desenvolvimento do Medidor Dinâmico de Bitola. As seções a seguir estão de acordo com esta linha, inicia-se com o estudo das patologias ferroviárias para melhor entendimento sobre a bitola, um pouco mais sobre o

porquê da aplicação de sistemas embarcados e finaliza com o desenvolvimento do Medidor Dinâmico de Bitola.

2.1. Patologias em Vias Ferroviárias

As patologias ferroviárias podem ser entendidas como desvios geométricos das seções transversais dos trilhos em relação à geometria ideal dos trilhos. Elas podem ser divididas em dois grupos gerais: patologias distribuídas na via e defeitos isolados na via. O primeiro grupo aparece como padrões regulares ao longo da via com múltiplos comprimentos de onda que dependem do mecanismo de dano, ou seja, desgaste do trilho ou fadiga de contato de rolamento. Esse grupo de patologias costuma ser quantificado pelas quatro variáveis mais conhecidas e utilizadas na indústria: bitola, nível transversal, perfil vertical e alinhamento (URDA *et al*, 2021).

2.1.1. Bitola

A bitola é definida como a distância entre os pontos internos do trilho esquerdo e direito, 16 mm abaixo da superfície superior do boleto do trilho. É o principal parâmetro para a definição das características geométricas da via, a partir da bitola é definida a base do rolamento dos veículos ferroviários, dimensionamento do tamanho dos dormentes, quantidade de lastro e os veículos que irão trafegar naquele trecho (JÚNIOR, 2019).

A equipe de manutenção ferroviária deve colocar equipamento de inspeção nos trilhos e empurrá-lo para frente ao longo da ferrovia para detectar a bitola precoce. O equipamento de inspeção ficará preso se a bitola medida não atender aos padrões especificados. As desvantagens deste método incluem a dependência de recursos humanos e a sensibilidade às influências circundantes. A precisão da medição pode atingir os requisitos aceitáveis à temperatura ambiente. Assim como, também, pode ser afetada por fatores como estrutura da via, condições de trabalho, nível de tecnologia de medição, funcionalidade do dispositivo e outras considerações (OLIVEIRA, 2018).

Diferenças de bitolas excessivas podem levar a descarrilamentos ou tombamento, e como consequência tem-se perdas econômicas e acidentes com possibilidade de fatalidade. Mesmo que a bitola não exceda o padrão permitido, se variar drasticamente em uma curta distância, aumentará o tremor do veículo e a força horizontal transversal entre a roda e o trilho. A medição periódica de bitolas se tornou um dos programas de teste mais importantes no projeto de inspeção de via. A medição rápida, simples e precisa ainda é um problema urgente que requer uma solução (WU *et al*, 2023).

A variação da bitola pode ser encontrada em duas formas, como alargamento ou estreitamento.

- **Alargamento de Bitola:** Ocorre quando a medida entre trilhos é superior ao valor máximo permitido. Alguns principais fatores que levam ao alargamento são: juntas quebradas ou com folga, raio de curva muito estreito, dormentes em condições ruins ou laqueados, e lubrificação Inadequada (OLIVEIRA, 2018), (JÚNIOR, 2019).
- **Estreitamento de Bitola:** Ocorre quando a medida entre trilhos é inferior ao valor mínimo permitido. Alguns principais fatores que levam ao estreitamento são: deformações no lado interno do trilho, placas de apoio quebradas e dormentes defeituosos (OLIVEIRA, 2018), (JÚNIOR, 2019).

2.2. Sistemas Embarcados para Operações Ferroviárias

O controle e a automatização das demandas auxiliam no desempenho das equipes, por isso o investimento na tecnologia embarcada tem sido uma grande aliada das indústrias que desejam organizar suas estratégias sem perder as informações e a movimentação da sua equipe (ALMEIDA, 2024).

O sistema embarcado é uma tecnologia ligada a outros recursos, onde agrega funcionalidades entre *hardware* e *software*, o qual é responsável por enviar informações externas para o sistema de coleta de dados. Esse sistema pode ser aplicado em diferentes segmentos, mas quando se trata de frotas, a utilização mais comum é a instalação de um hardware. O equipamento é interligado a sensores, que monitoram as informações desejadas e podem se necessário transmitir para o banco de dados (MASSA, 2024).

No setor ferroviário, por exemplo, essas tecnologias são cada vez mais fundamentais, pois possibilitam que as ferrovias aprimorem seu funcionamento, acelerando as viagens e qualificando o carregamento e descarregamento de cargas, manutenção, entre outras práticas. Grande parte da frota ferroviária possui equipamentos e locomotivas com mais de 30 ou 40 anos de utilização, e que ainda possuem longos ciclos de vida. Os sistemas embarcados se adaptam ao cenário em que são colocados para atender as necessidades de evolução do equipamento, de modo que hoje é possível encontrar esse tipo de tecnologia, como nos identificadores e telemetria de locomotivas e sistemas de sinalização ferroviária, com o almejo de otimizar os processos e o tempo das operações.

2.3. Medidor Dinâmico de Bitola

O estudo e desenvolvimento do dispositivo Medidor Dinâmico de Bitola foi composto por três etapas: seleção de um modelo de sensor ultrassônico a partir da avaliação dos modelos disponíveis em mercado que teriam capacidade de atender a experimentação, *design* e fabricação do dispositivo eletrônico, e *design* e fabricação do projeto mecânico para recepção dos sensores e adaptação no equipamento de via permanente. Com a experimentação foram validadas as seguintes competências:

- Como projetar um dispositivo para medir a distância da bitola da via que consiga identificar a variação de medidas de forma dinâmica e constante?
- Como projetar um sistema mecânico para uso no equipamento de via sem intervenção física no local de instalação?
- Como selecionar um sensor ultrassônico que tenha capacidade de operar no cenário de medição dinâmica de distância de bitola?

2.3.1. Projeto do dispositivo

A experimentação do protótipo Medidor Dinâmico de Bitola é composta por dois dispositivos, um de indicação e registro dos dados coletados e outro dos sensores para medição da distância da bitola.

Como frota de amostra de teste, foi definido a instalação do primeiro protótipo será operacionalizada em um caminhão de linha, dado o seu alto fluxo nos pátios ferroviários. Portanto, será instalado um dispositivo dos sensores de medição na parte frontal, Figura 1. E o segundo dispositivo de indicação e registro será instalado na cabine do equipamento, Figura 2, preferencialmente, em um ponto em que fique de frente para

o assento do operador e na direção do seu olhar, para que não afete a sua ergonomia durante a visualização da informação da distância.

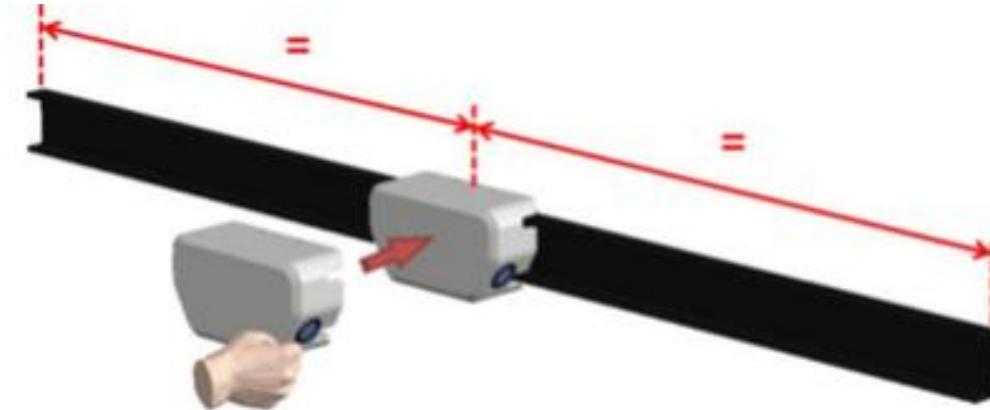


Figura 1. Dispositivo com os sensores ultrassônicos para medição da distância.

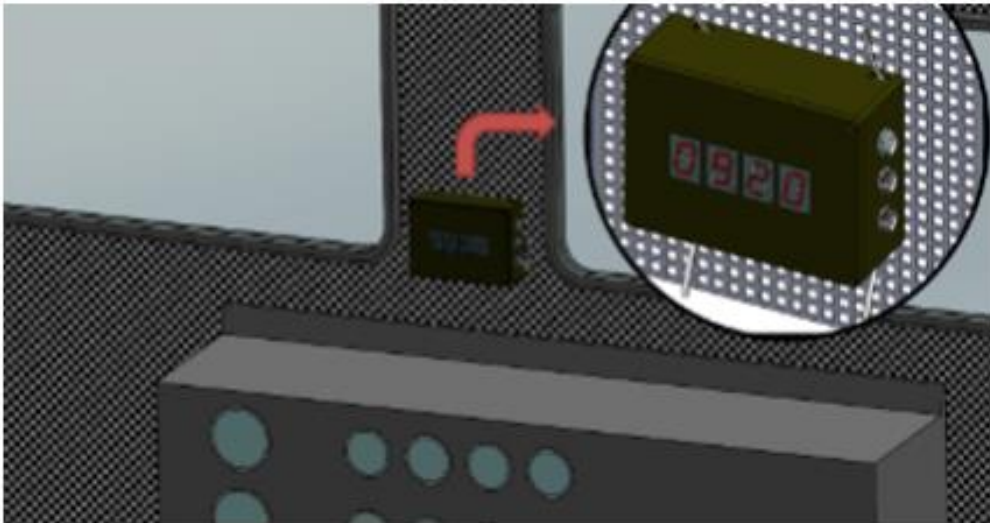


Figura 2. Dispositivo de indicação e registro posicionado na cabine de operação do equipamento.

Para o projeto eletrônico do dispositivo Medidor Dinâmico de Bitola, foram considerados os seguintes requisitos de funcionamento:

- A bitola da via em teste é métrica, ou seja, possui uma distância entre os trilhos de 1000 mm portanto o sensor ultrassônico deve possuir a capacidade de medir bitolas de ao menos 1000mm e de, no máximo, 1100mm, com precisão de +/- 1mm;
- Conter um *buzzer*, que alertará quando a medida da distância da bitola for anormal;
- Conter um *datalogger* interno para registrar os alertas em um cartão de memória;
- Conter um microcontrolador para processar os dados e controlar as ações do dispositivo;
- Conter um GPS para coleta dos dados de latitude e longitude de onde foram encontradas medidas de bitolas anormais;
- Conter na placa de circuito impresso pelo menos duas entradas de 0-10V para receber as medições dos sensores;

- Conter um conjunto de 4 *displays* de 7 segmentos de até 1,5 polegadas para apresentação da medição da bitola ao operador;
- Suportar tensão de alimentação 12V a 24V.

O design do projeto da placa de circuito impresso foi realizado no software Altium Designer, Figura 3. Os componentes eletrônicos utilizados foram selecionados apenas os existentes em mercado, variando entre SMD's (do inglês Surface Mounted Device, sem tradução), como o microcontrolador e os passivos, ou PTH's (do inglês Pin Throught Hole, sem tradução), como os LED e os conectores.

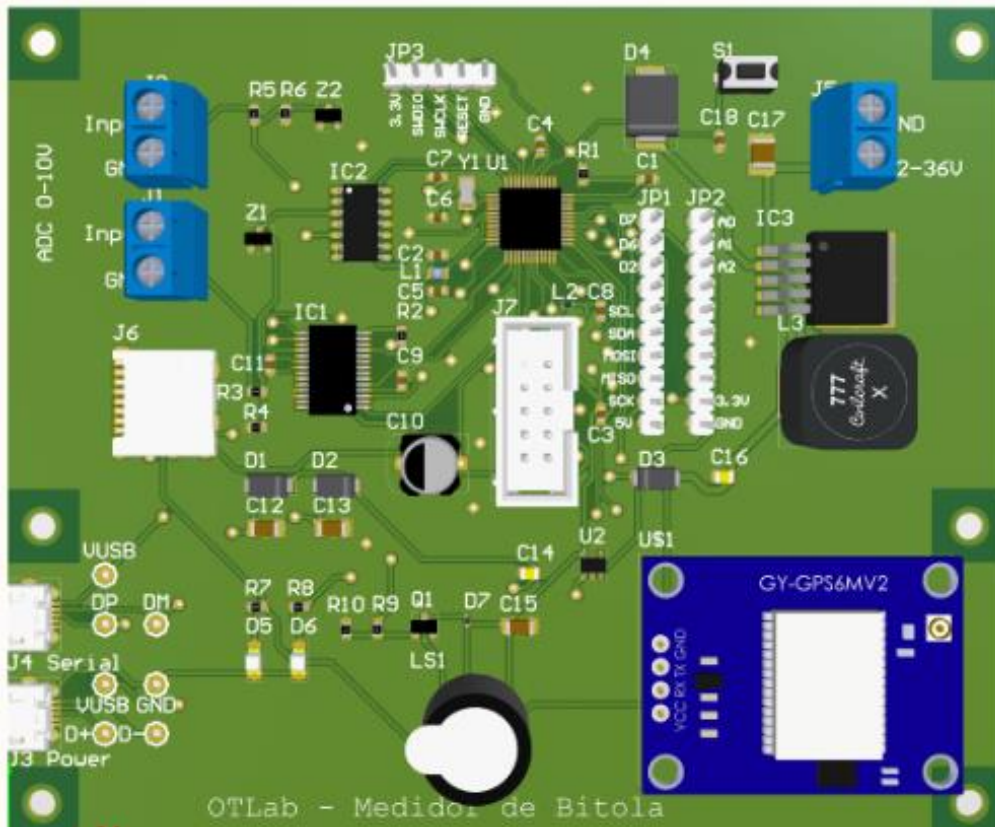


Figura 3. Placa de circuito impresso com design em 3D do Medidor Dinâmico de Bitola.

O microcontrolador selecionado para uso foi o ATSAMD21G18 da família Microchip, com a flash baseado em ARM® Cortex®-M0+, de baixo consumo de energia e alto desempenho, o ATSAMD21G18 é ideal para uma ampla gama de aplicações de automação residencial, consumo, medição e industriais. Possui 256 KB de flash e 32 KB de SRAM, frequência operacional de até 48 MHz, seis módulos de comunicação serial configuráveis como UART/USART, SPI ou I2C, relógio e calendário em tempo real de 32 bits, 20 canais PWM, um ADC de 12 bits de 14 canais, um DAC de 10 bits, entre outros (MICROCHIP, 2023).

Quanto ao sensor ultrassônico, o modelo selecionado foi o mic+130/IU/TC, Figura 4, da fabricante *Microsonic*. O sensor MIC possui uma entrada analógica e mede a distância até um objeto que esteja dentro da zona de contato e um range de medição de 200 a 2000 mm, através do tempo de propagação de eco, com resolução de 0,18 mm a 0,57 mm, a depender da janela analógica, e uma precisão $\pm 1\%$. Antes da construção do protótipo, o sensor foi testado em campo, apenas na via permanente sem instalação em um equipamento, onde foi identificado uma medição correta da lateral do boleto sem variações bruscas.

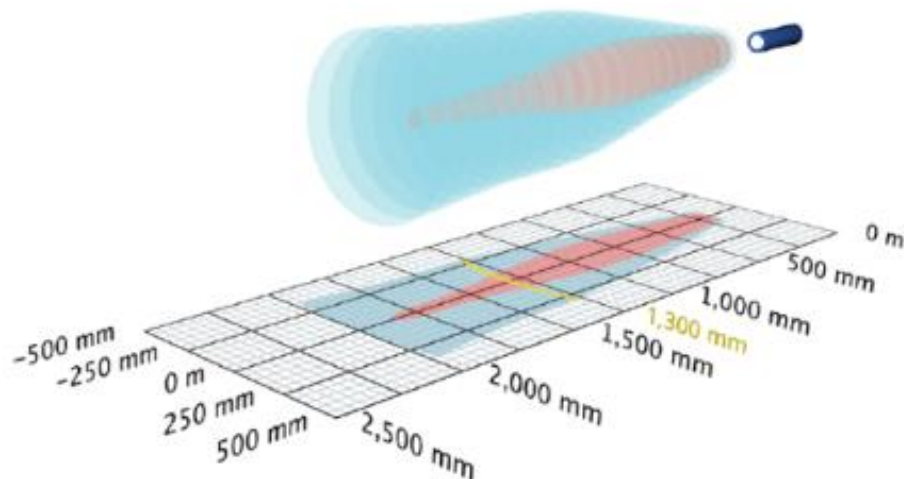


Figura 4. Campo de atuação do sensor mic+130/IU/TC.

O encapsulamento do dispositivo de registro e indicação e dos sensores de medição foram projetados no software Fusion 360. Por vias de experimentação, o método de fabricação utilizado foi a impressão 3D, para o dispositivo de registro e indicação o filamento utilizado foi o PLA (Poliácido Láctico), um polímero termoplástico feito com ácido láctico a partir de matérias-primas que têm fontes renováveis, visto que o uso deste dispositivo é em um ambiente fechado e com refrigeração. Por outro lado, para o dispositivo de sensores, foi utilizado o filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), que possui excelentes propriedades mecânicas, ideais para objetos que requerem firmeza e durabilidade, além de resistência a exposição a altas temperaturas, como em ambientes externos onde foi alocado a experimentação.

2.3.2. Instalação e Modo de Operação

O primeiro passo para instalação é realizar a passagem do cabeamento de conexão entre os dispositivos, para que o dispositivo de indicação e registro possa receber os dados dos sensores ultrassônicos. Em seguida, é possível energizar ambos os dispositivos com a energia do próprio caminhão de linha. Durante a instalação na cabine é necessário conectar um ponto de energia direto no dispositivo, desta forma ele irá acionar automaticamente ao ligar o equipamento, eliminando o uso ou substituição de baterias no dispositivo e possibilidade de esquecimento de acionamento pelo operador.

A Figura 5 apresenta o dispositivo de registro e indicação na cabine de operação, nele foram utilizadas abraçadeiras para fixar no gradeamento atrás, e o dispositivo de sensores ultrassônicos na parte frontal do caminhão de linha, a instalação foi realizada no ponto mais baixo, a viga de suporte do limpa trilhos.

O Medidor Dinâmico de Bitola pode ser utilizado em diferentes tamanhos de bitola, por isso após a instalação é realizado o processo de calibração. O processo consiste na passagem do equipamento em diferentes pontos da ferrovia para realizar a medição da bitola. Em cada um desses pontos, é necessário fazer a medição real da bitola do trilho com um equipamento certificado e calibrado, como a régua dinâmica, e fazer a comparação com a informação que o dispositivo está mostrando até o valor esteja sincronizado. Os ajustes necessários serão feitos diretamente no dispositivo que está na cabine, com o apoio de um notebook que estará conectado à case.

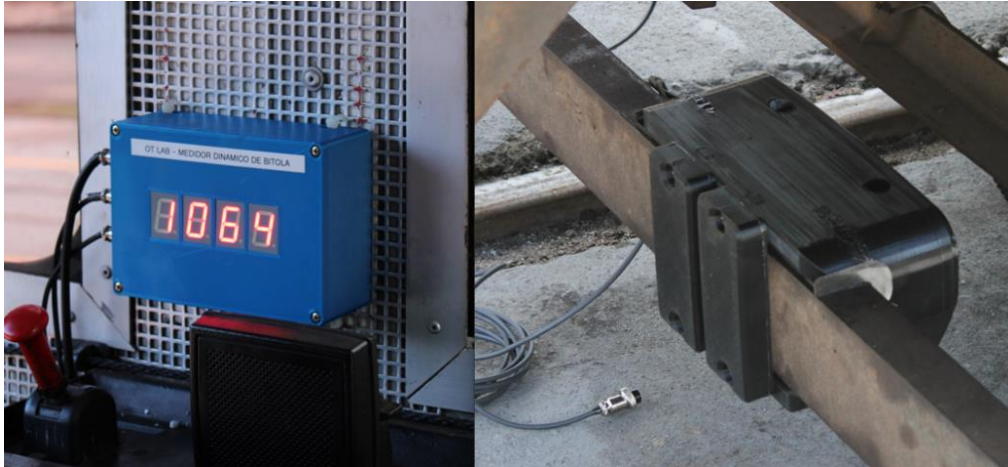


Figura 5. Sistema instalado em um Caminhão de Linha.

Os dois sensores ultrassônicos serão posicionados em direção a 16 mm abaixo do boleto, um para cada lado do trilho. Portanto, também haverá a necessidade de calibração do posicionamento dos sensores, ou seja, o alinhamento do ponto central de medição do sensor ultrassônico com o ponto de medição nos trilhos. Para efeito de testes, foi utilizado um apontador laser para realizar o alinhamento. O encapsulamento foi projetado para que o apontador seja conectado alinhado ao sensor, na ponta da rosca. Para rotacionar a ponta do sensor e o dispositivo laser, foram projetados dois parafusos que devem ser apertados ou afrouxados, fazendo com que o “ponto” do *laser* seja direcionado para o local de medição nos trilhos de acordo com a posição.

O funcionamento inicia a partir das medições realizadas pelos sensores, que são enviadas ao dispositivo de indicação e registro, onde os dados coletados serão processados, separados, armazenados no cartão de memória e a bitola do trilho apresentada no *display* da case.

A bitola selecionada para os testes é a métrica, portanto entre as faces dos trilhos a distância é de 1000 mm. Considera-se como distância segura de operação nas vias a faixa limite entre 998 mm e 1020 mm. As medições realizadas que não estão nessa faixa necessitam de uma urgência de correção. Dessa forma, caso as medidas excedam essas margens, o sistema irá piscar o valor no *display* para o operador e fará o armazenamento dessa medida em um cartão de memória, junto com os dados de latitude e longitude, gerados pelo GPS, do ponto em anormalidade. Em locais considerados como zonas de perigo (acima de 1032 mm ou abaixo de 988 mm), além de armazenar os dados no GPS e distância, o sistema soará um alarme sonoro, para que o operador avise imediatamente o ponto para correção pela manutenção.

Com relação as interações do operador do caminhão de linha com dispositivo de indicação e registro, não haverá durante a operação a interação física, não será necessário realizar nenhuma ação, apenas visual, o dispositivo emitirá os alertas quando houver a identificação de bitolas que estão fora do padrão ou em um nível crítico para a operação, e armazenará no cartão de memória. Ao final da operação, a interação física ocorrerá, na qual o operador do caminhão de linha, deverá abrir o dispositivo, remover/substituir o cartão de memória, fechá-lo, e entregar o cartão de memória para supervisor que seguirá com as análises e ações dos dados coletados. No cartão de memória conterà um arquivo *.txt* com os dados de GPS (latitude e longitude) e distância da bitola dos pontos onde a distância for maior que 1020mm ou menor que 998mm. O padrão de bitola pode ser alterado na programação do dispositivo conforme necessidade.

Enquanto ligado, o sistema ficará a todo momento mostrando a distância entre as bitolas. No caso de uma bitola fora do padrão ser medida e o sistema não conseguir conectar o GPS, a mensagem “Err0” irá aparecer no *display*. O operador deverá monitorar para se necessário reiniciar o dispositivo, removendo sua energia. Caso o cartão de memória esteja desconectado internamente ou não foi recolocado na case, a mensagem “Err1” irá aparecer no *display*, até que ele seja inserido novamente, sem o cartão de memória não há outra forma de armazenar os dados, após colocar o cartão de memória, é necessário reiniciar o sistema, desenergizando e energizando o dispositivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes do Medidor Dinâmico de Bitola foram realizados por um período de aproximadamente duas horas, observações tanto visuais do valor mostrado no *display* do sistema, Figura 6-A, quanto realização de medições no próprio trilho, usando a régua adequada para a medição da bitola, como na Figura 6-B, foram executadas.



Figura 6. Formas de validação nos testes em campo.

O primeiro ponto de observação é referente ao modelo de GPS utilizado, o GPS GY-NEO6M. Durante todo o período do teste, esse GPS não foi capaz de fazer a conexão com os satélites. Há grandes chances de que o metal na cabine do equipamento e o fato de estar em um ambiente fechado tenha limitado a sua capacidade de conexão. Esse problema é algo que pode ser resolvido com a substituição por outro modelo de gps, mais robusto, ou reposicionamento do dispositivo ou antenas do GPS para um local do equipamento com menor interferência, como colocando-o para fora da cabine por exemplo, no entanto, este ponto não desqualifica a experimentação proposta. As próximas seções irão apresentar os resultados relativos as medições dos sensores.

Além disso, os resultados dos testes em campo apontaram que o dispositivo em uma área controlada, com condições ideais (Figura 7) isto é, locais que não estão próximos de Aparelho Mudança de Via (AMV) e/ou talas encapsuladas, que não existam objetos ou plantas que possam obstruir os sensores, com trilhos em bom estado de conservação e com manutenção periódica, é capaz de realizar a medição de forma regular. Em áreas sem as condições ideais, estes fatores podem causar erros nas medições.



Figura 7. Cenário em que os testes foram realizados com as condições ideais.

3.1. Comparativo

A Tabela 1 mostra o resultado de 4 medidas coletadas representadas na Figura 8. O sensor utilizado possui uma variação na medida próximo de 1 a 2 milímetros acrescidos ou decrescidos na medição realizada. Como foram utilizados 2 sensores, os valores no *display* apresentaram uma variação que podia chegar aos 4 milímetros, acrescidos ou decrescidos. Dito isso, observa-se que a diferença entre a medida realizada com a utilização dos sensores e a medida com a régua possui uma variação bem próxima de 7 milímetros.

Tabela 1. Comparativo de Medidas em Milímetros.

Medida	Legenda	Sistema (mm)	Régua (mm)	Diferença (mm)
1	Verde	1011	1004	7
2	Azul	1008	1002	6
3	Amarelo	1024	1003	21
4	Vermelho	1033	1024	9

Com este resultado é observado que o sensor de ultrassom é capaz de fazer a medida de forma coerente e que esse erro de 7 milímetros é corrigível via *firmware*.

Observa-se que na linha 3 o valor está muito fora da média. Essa medida, especificamente, foi feita em um local onde houve variações anormais nas medidas apresentadas no *display*. Inicialmente, foram realizadas inspeções visuais e com a régua no trecho, mas nada anormal foi encontrado. Para confirmar que não havia problema com os sensores e o dispositivo, pois em outros trechos houve estabilidade nas leituras, foi solicitado que operador do caminhão de linha retornasse ao ponto em questão. Constatou-se novamente a leitura anormal e incorreta da bitola. No restante do percurso as medições foram estáveis.



Figura 8. Representação geográfica do local onde houve as coletas das medidas da Tabela 1.

3.2. Teste de Estabilidade

Foram realizados testes para verificar a estabilidade na medida coletada com o sensor ultrassônico em conjunto com o teste comparativo de medidas. Inicialmente, com o equipamento ainda parado, foi observado que a medida coletada pelo sistema mantinha uma variação de cerca de 5 milímetros, entre 1006 e 1011 milímetros. Essa variação é interna do sensor utilizado. Foram feitas diversas paradas durante o percurso e essa variação se manteve.

Com o equipamento em movimento, foi observado que essa variação se manteve, com o *display* em diversos trechos mostrando valores entre 998 e 1002 milímetros.

3.3. Pontos de Atenção

Foram observados alguns pontos que devem ser levados em consideração para melhorias futuras:

- Diferenças nas medidas quando o equipamento está parado e quando está em movimento;
- A vibração originada do movimento do equipamento afeta a medida, visto que o balanço desloca o ponto de leitura do sensor, sendo este 16 mm abaixo do topo do boleto;
- Em muitos trechos há grande incidência de plantas entre os trilhos. Essas plantas causaram, por diversas vezes, erros na medição, visto que elas passavam diretamente à frente do sensor, entre ele e o trilho, interrompendo (ou alterando) o seu ponto de leitura;
- Locais em que há preenchimento de terra, cimento ou outro material entre os trilhos até próximo a superfície, podem afetar a medição da bitola;
- Medições muito divergentes da realidade podem ser erro do sistema ou indicar desníveis entre os trilhos ou desgaste, precisam ser avaliadas criteriosamente;

- Locais onde havia talas encapsuladas causavam um “chacoalho” no Caminhão de Linha, causando variações de alguns poucos milímetros na medição;
- O sistema não é capaz de fazer uma medição correta nos pontos onde há o AMV.

No decorrer do que foi proposto para os testes, o sensor ultrassônico selecionado apresentou medições estáveis, porém os fatores mencionados acima podem afetar as medições. Além disso, a variação que o sensor testado apresenta por si só é um ponto que deve ser considerado, pois possivelmente implicará em cenários de falso positivo. Ainda assim, os testes realizados com o dispositivo apresentaram um resultado positivo, demonstram que existe a possibilidade do seu uso nas ferrovias a partir de melhorias de projeto e sua industrialização.

Por fim, após as análises realizadas, considera-se que a prova de conceito teve um resultado positivo quanto ao uso do dispositivo Medidor Dinâmico de Bitola. Todas as competências almeçadas no início da seção 2 foram alcançadas.

4. CONCLUSÃO

Os acidentes ocorridos nos sistemas de transporte ferroviário custam perdas de vidas, a necessidade de técnicas avançadas e robustas que possam não apenas prevenir esses acidentes, mas também erradicar todas as possibilidades de sua ocorrência são de extrema importância.

Ao longo deste artigo, foram relacionadas pesquisas existentes na área que apresentaram pontos fundamentais para a avaliação das vias. Com base em referenciais e estudos de campo, viu-se a oportunidade da pesquisa quanto ao uso de sensores ultrassônicos em via permanente, como o desenvolvimento de um sistema embarcado para medição dinâmica da distância entre bitolas com um sensor ultrassônico, o Medidor Dinâmico de Bitola.

Por este tema demandar muita atenção e cuidado, considera-se relevante tal assunto como objeto de estudos para futuras pesquisas a serem desenvolvidas, de melhorias e otimizações dos dispositivos ou aplicações existentes. No cenário de testes apresentado, recomenda-se que haja uma exaustão nas possibilidades de testes contra falhas, para elevar o nível segurança do dispositivo e robustez antes da industrialização. Também é requerido uma tratativa quanto aos pontos apresentados na subseção de Pontos de Atenção, que foram identificados com prejudiciais a sistemas deste caráter e a substituição do cartão de memória pelo envio de dados a nuvem.

Sugere-se também que seja realizado um estudo quanto a viabilização do uso deste equipamento em locomotivas, visto que a frota percorre os pátios ferroviários e outros pontos das vias permanentes, não alcançados pelo carro controle, com frequência.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento para a empresa Vale S.A., que financiou a experimentação e possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ABADI, Ehsan Izadi Yazdan; SAMENI, Melody Khadem; YAGHINI, Masoud. Analysis of the relationship between geometric parameters of railway track and twist failure by using data mining techniques. *Engineering Failure Analysis*, v. 143, p. 106862, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106862>.

ACEITUNO, Javier; CHAMORRO, Rosario; MUÑOZ, Sergio; ESCALONA, José. An alternative procedure to measure railroad track irregularities: Application to a scaled track, v. 137, p. 417–427, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.025>.

ALMEIDA, Emanuele. Saiba como a tecnologia embarcada auxilia na otimização das operações. Disponível em: <<https://tl.trimble.com/blog/tecnologia-embarcada/>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

DINMOHAMMADI, Fateme; ALKALI, Babakalli; SHAFIEE, Mahmood; BÉRENGUER, Christophe; LABIB, Ashraf. Risk evaluation of railway rolling stock failures using fmeca technique: A case study of passenger door system. Urban Rail Transit, v. 2, p. 128–145, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40864-016-0043-z>.

JÚNIOR, Flávio César Apolinário. Análise do Sistema de Manutenção Ferroviária da FCA/VLI em Patrocínio – MG. Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, 2019.

LIU, Haochen; RAHMAN, Miftahur; RAHIMI, Masoumeh; STARR, Andrew; DURAZO-CARDENAS, Isidro; RUIZ-CARCEL, Cristobal; OMPUSUNGGU, Agusmian; HALL, Amanda; ANDERSON, Robert. An autonomous rail-road amphibious robotic system for railway maintenance using sensor fusion and mobile manipulator. Computers and Electrical Engineering, v. 110, p. 108874, 2023.

MASSA, Pesagem e Automação Industrial. A tecnologia embarcada e suas aplicações nas inovações ferroviárias. Disponível em: <<https://massa.ind.br/tecnologia-embarcada/>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

MICROCHIP. ATSAM21G18. Disponível em: <<https://www.microchip.com/en-us/product/atsamd21g18>>. Acesso em: 28 de agosto de 2023.

OLIVEIRA, Julio Cesar. Estrutura de Via Permanente Ferroviária e suas Patologias. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2018.

URDA, Pedro; ACEITUNO, Javier; MUÑOZ, Sergio; ESCALONA, José. Measurement of railroad track irregularities using an automated recording vehicle. Measurement, v. 183, p. 109765, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109765>.

WU, Jianjie; PENG, Limei; SHENG, Wei; WANG, Cynthia Changxin; SUN, Jun. Track gauge measurement based on model matching using uav image. Automation in Construction, v. 155, p. 105070, 2023.

EMBEDDED SYSTEM FOR DYNAMIC MEASUREMENT OF RAILWAY TRACK GAUGE

ABSTRACT

The use of technology in railway processes is increasingly present in railways that need this support to evolve their systems and operations. Railways around the world have adopted Embedded Systems as a means of refining their performance and increasing the safety of their tracks. In terms of safety, there are several fronts for optimization, one of which is the health and preservation of operators who carry out road inspection and maintenance. This article aims to analyze the use of embedded systems for gauge inspections of permanent tracks in railway yards, through experimentation with a device for dynamic measurement of railway gauges installed on a line truck, the Dynamic Gauge Meter. The results of field tests showed that the device in a controlled area, with ideal conditions, can perform measurements regularly, however in an uncontrolled area there are many factors that can cause errors in measurements. Therefore, there is a need for adjustments to the system's firmware to improve precision and adapt to different operating scenarios so that the system can be used effectively. As this is an experiment to evaluate process changes in the measurement carried out today, other points need to be addressed such as stability, protection, and durability of the device in operation.

Keywords: Embedded Systems; Railway Pathologies; Permanent Way; Gauge; Dynamic Measurement.