

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDER CIDRAL BOSLOOPER

IOT APLICADO EM SEGURANÇA FERROVIÁRIA - PROJETO MPA:
MONITORAMENTO DE PONTA DE AGULHA EM AMV DE MOLA

CURITIBA

2023

ALESSANDER CIDRAL BOSLOOPER

IOT APLICADO EM SEGURANÇA FERROVIÁRIA - PROJETO MPA:
MONITORAMENTO DE PONTA DE AGULHA EM AMV DE MOLA

Projeto de dissertação apresentado como resultado parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Manufatura. Curso de Pós Graduação em Engenharia Manufatura, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle
Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Fontana Catapan

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Boslooper, Alessander Cidral

IOT aplicado em segurança ferroviária - projeto MPA: monitoramento de ponta de agulha em AMV de mola / Alessander Cidral Boslooper. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura.

Orientador: Pablo Deivid Valle

Coorientador: Márcio Fontana Catapan

1. Rede ferroviária. 2. Ferrovias – Segurança. 3. Internet das coisas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura. III. Valle, Pablo Deivid. IV. Catapan, Márcio Fontana. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE MANUFATURA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ALESSANDER CIDRAL BOSLOOPER** intitulada: **IOT APLICADO EM SEGURANCA FERROVIARIA - PROJETO MPA - MONITORAMENTO DE PONTA DE AGULHA EM AMV DE MOLA**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 20 de Junho de 2023.

Assinatura Eletrônica

26/07/2023 15:02:16.0

PABLO DEIVID VALLE

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

27/07/2023 17:31:45.0

FERNANDO DESCHAMPS

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

26/07/2023 16:32:47.0

FABIANO OSCAR DROZDA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

05/09/2023 14:22:47.0

LUCIANO ANTONIO MENDES

Avaliador Externo (INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

26/07/2023 15:38:02.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Coorientador(a) (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Curitiba - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3123 - E-mail: ufprppgem@gmail.com

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 299911

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 299911

Dedico este trabalho a Deus, que me energiza todos os dias na busca da minha evolução espiritual.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Solange Cidral Boslooper, que durante o período do mestrado desencarnou. Eu não poderia desistir, pois, foi ela a grande incentivadora de todos os meus estudos neste quase meio século de aprendizado.

Ao Professor e orientador Pablo Deivid Valle, pelas palavras de inspiração na busca de novas tecnologias, desafios e conhecimento.

A todo colegiado e encontros de grande valia no processo de construção do programa e motivação neste trabalho, quase sempre solitário.

Ao meu amigo Luciano Fressato, pela troca e incentivo neste período e também meu par na implantação deste projeto Caio Prestes.

Segue também um obrigado especial a minha esposa Cristiane Martins que compreende todas horas ausentes em busca deste desafio.

RESUMO

O aumento no nível de segurança inerente ao modal ferroviário e as melhorias no estado da arte da segurança ferroviária no mundo estão sendo tratadas com maior destaque para o desenvolvimento nacional. Em toda a malha ferroviária há cruzamentos de trens que possibilitam maior tráfego nas operações que são os locais a serem focados nesta dissertação. Para evitar descarrilhamento nesses cruzamentos, foi projetado um dispositivo eletromecânico inovador, com a finalidade de monitorar remotamente um aparelho de mudança de via férrea (AMV) em especial para chaves manuais do tipo mola, utilizando as metodologias DSR (*Design Science Research*) e PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos), integrando-as a um conceito de indústria 4.0 como base de tecnologia em IoT (*Internet of Things*). Esta dissertação tem por objetivo o desenvolvimento de um novo produto que pode prevenir e diminuir acidentes nestes pontos da ferrovia, bem como a geração de dados para análise e antecipação de diagnóstico, de modo a alcançar a manutenção otimizada desses equipamentos. Considerando-se que durante o período entre a instalação dos equipamentos de teste até a data de fechamento do relatório apresentado nesta dissertação não houve acidentes e que o nível de falha foi reduzido em 33% em relação à anos anteriores pôde-se verificar uma contribuição do dispositivo desenvolvido ao nível de segurança ferroviária.

Palavras-chave: segurança ferroviária; IoT; chave de mola.

ABSTRACT

The increase in the level of safety inherent to the railroad modal and the improvements in the state of the art of railroad safety in the world are increasingly being treated with greater emphasis for the national development. Throughout the railway network there are train crossings that allow for greater traffic in the operations that are places to be focused on in this dissertation. In order to avoid derailment at these intersections, an innovative electromechanical device was designed, with the purpose of remotely monitor a railway switch (AMV), in particular for spring-type manual switches, using the methodologies DSR (Design Science Research) and PRODIP (Integrated Product Development Process), integrating them to an industry 4.0 concept as a technology base in IoT (Internet of Things). This dissertation aims to develop a new product that can prevent and reduce accidents at these points of the railroad, as well as the generation of data for analysis and anticipation of diagnosis, in order to achieve the optimized maintenance of this equipment. Considering that during the period between the installation of the test equipment and the closing date of the report presented in this dissertation, there were no accidents and that the failure level was reduced by 33% in relation to previous years, it was possible to verify a contribution from the device developed at the level of railway safety.

Keywords: Railway Safety; IoT; Spring Switch.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Acidente Ferroviário – Descarrilamento	13
Figura 2. A - Aparelho de mudança de via. B - Corte transversal na região da agulha.	19
Figura 3. Componentes de um Aparelho de Mudança de Via - AMV.	20
Figura 4. Detalhes da agulha.....	24
Figura 5. Corte transversal do conjunto trilho-agulha. A modelo antigo; B modelo atual....	25
Figura 6. Regiões do trilho de encosto e agulha.....	25
Figura 7. Tipologia dos acidentes ferroviários com descarrilamento.....	26
Figura 8. Transposição de Chave Contrária ou Agulha Centrada.....	28
Figura 9. Cadeia de valores da IOT.....	32
Figura 10. Fluxo de projeto IOT.....	34
Figura 11. Modelo de Comunicação MQTT	38
Figura 12. Ciclo Regulador.....	42
Figura 13. Fases do ProDip.....	44
Figura 14. Diagrama de Tarefas	45
Figura 15. Sensor da Ponta de Agulha	47
Figura 16. Esboço da Arquitetura Tecnológica do Monitoramento Remoto.....	48
Figura 17. Esboço da Arquitetura Tecnológica do Monitoramento Remoto.....	49
Figura 18. Aparelho de Mudança de Via.....	51
Figura 19. Fixação do Sensor.....	52
Figura 20. Esquema do Kit Hardware de Monitoramento e Controle MPA.....	52
Figura 21. Kit Hardware de Monitoramento e Controle (Kit MPA)	53
Figura 22. Diagrama de Conexões Sistema Monitor de ponta de Agulha	53
Figura 23. Vista Geral do Sistema MPA instalado	54
Figura 24. Sensores de Ponta de Agulha	54
Figura 25. Sistema sem MPA	55
Figura 26. Sistema com XXB.....	56
Figura 27. Tela gerada pela plataforma supervisória com os status do ponto.....	59

Figura 28. Tela gerada pela plataforma supervisória com as TAGS do ponto59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DESCARRILAMENTOS OCORRIDOS NA MRS (2010 A 2016) TRECHOS E PATIOS	27
TABELA 2 – CITAÇÕES DAS DEFINIÇÕES DA IoT	35
TABELA 3 – RESUMO DO GUIA DE DESIGN SCIENCE RESEARCH	43
TABELA 4 – TABELA VERDADE	50
TABELA 5 – QUANTIDADE DE DESCARRILAMENTOS E CUSTOS DIRETOS DO PERIODO DE JAN A MAI DE 2016	57
TABELA 6 – RELAÇÃO DOS PONTOS EM TESTE.....	58
TABELA 7 – TAGS GERADAS E RESULTADOS RECEBIDOS	61

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO 1 – EVOLUÇÃO DE TKU.....	12
GRAFICO 2 – ANALISE DOS RESULTADOS DOS EQUIPAMENTOS	62

LISTA DE SIGLAS

2G – Segunda Geração de Rede Móvel
3G – Terceira Geração de Rede Móvel
ABNT - Associação de Brasileira de Normas Técnicas
AC - *Alternating current*
AMQP - *Advanced Message Queuing Protocol*
AMV – Aparelho de Mudança de Via
ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
AREMA - *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way*
CCO - Centro de Controle Operacional
DSR – *Design Science Research*
E2E – *End to end*
FRA – *Federal Railroad Administration*
FTP – *File Transfer Protocol*
GPRS – *General Packet Radio Service*
GUI - *Graphical user interface*
HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*
IIoT – *Industrial Internet of Things*
I/O – *Input / Output*
IoT – *Internet of Things*
M2M – *Machine to machine*
MAC – *Media Access Control*
MPA - Monitoramento de Ponta de Agulha
MQTT – *Message Query Telemetry Transport*
NBR - Norma Brasileira
NeDIP - Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
POP - *Post Office Protocol*
PRODIP – Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
PRTG - *Paessler Router Traffic Grapher*
RAAF - Relatório de Acompanhamento de Acidentes Ferroviários
RO - Regulamento Operacional

RSSI - *Received signal strength indication*

SMS - *Short Message Service*

SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol*

TKU - *Toneladas por Quilômetro Útil*

TCP/IP - *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*

UIC - *Union Internationale des Chemins de Fer*

V - *Volts*

XMPP - *Extensible Messaging and Presence Protocol*

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2. ESTADO DA ARTE	14
1.3. OBJETIVO ESPECÍFICO	14
1.4. JUSTIFICATIVA	15
1.5. PRODUTO TECNOLÓGICO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. SEGURANÇA FERROVIARIA - ACIDENTES	17
2.2. APARELHO DE MUDANÇA DE VIA	19
2.2.1. Agulhas	23
2.3. ACIDENTES EM APARELHO DE MUDANÇA DE VIA	26
2.4. INOVAÇÃO	29
2.5. INDÚSTRIA 4.0	29
2.5.1. História	29
2.5.2. Principais Características da Industria 4.0	30
2.5.3. Ferramentas	31
2.5.4. Vantagens	33
2.5.5. Indústria 4.0, IoT, Ferrovia e MPA.	33
2.6. TECNOLOGIA ENVOLVIDA NO PRODUTO	35
2.6.1. <i>Internet of things</i>	35
2.6.2. MQTT (<i>Message Queue Telemetry Transport</i>)	37
2.7. MONITORAMENTO REMOTO	39
2.7.1. Digitalização	39
2.7.2. <i>Paessler Router Traffic Grapher</i>	39
2.7.3. Linguagem de programação	40
2.7.4. Energia Fotovoltaica	41
3. METODOLOGIAS	42
3.1. <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	42
3.2. PRODIP – Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos	44
4. DESENVOLVIMENTO	46
4.1. PLANEJAMENTO PRODIP	46

4.2. PROJETAÇÃO PRODIP	46
4.2.1 Desenvolvimento do Sensor	47
4.2.2 Esboço de Monitoramento	48
4.2.3 Produto Tecnológico	48
4.3. IMPLEMENTAÇÃO	49
4.3.1 Desenvolvimento de Software	49
4.3.2 Integrar Software e Hardware	51
4.3.2.1 Aprendizados da Integração	55
4.3.2.2 Comparativo Sistema Sem Integração X Com Integração. .	55
5. APRESENTAÇÃO DE PROJETO	57
5.1. VIABILIDADE FINANCEIRA.....	57
5.2. EQUIPAMENTOS INSTALADOS.....	58
5.2.1 Locais de Instalação	58
6. APRESENTAÇÃO DE PROJETO	60
6.1. TRABALHOS FUTUROS	60
6.2. RESULTADOS	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

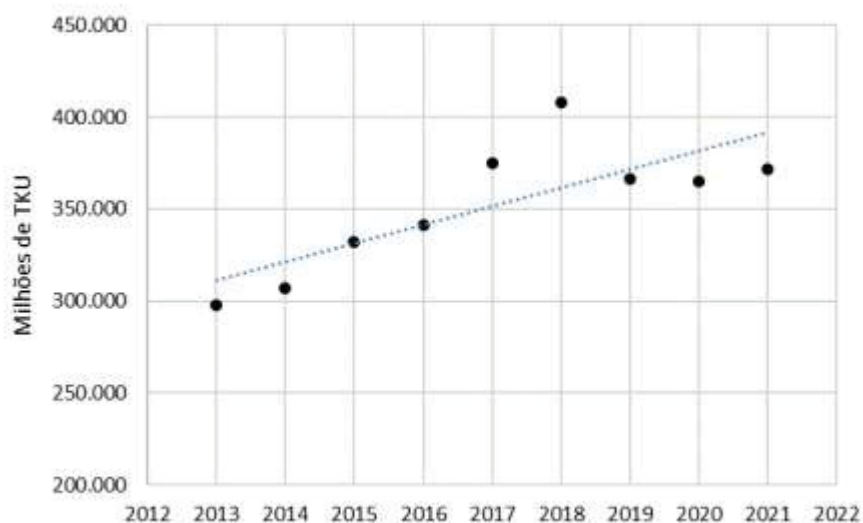
Neste capítulo serão tratadas as informações iniciais que delinearão esta dissertação, tais como a apresentação do problema a ser tratado, os objetivos almejados e o produto criado.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a ANTF (2019), com o aumento da malha ferroviária de carga no Brasil, especialmente com a recente concessão da Ferrovia Norte-Sul e da Ferrovia Leste Oeste, somando-se ao aumento de velocidade e fluxo de trens nas linhas ativas, esperava-se que o número de acidentes em ferrovias fosse maior; todavia, o RAAF (relatório de acompanhamento de acidentes ferroviários), não discrimina em detalhes os tipos e as causas dos acidentes.

Considerando os dados divulgados pela ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres, analisados no gráfico 1 logo abaixo, nota-se que a produção em milhões de TKU (Toneladas por Quilômetro Útil) vem se mantendo acima dos 300 milhões desde 2104 e com uma tendência de aumento nos próximos anos.

GRÁFICO 1 – Evolução de TKU



FONTE: Adaptado de Agência Nacional de Transportes Terrestres – Ferrovias.

Segundo Vidon (2017), entre os anos de 2015 a 2017 na maior ferrovia brasileira houve o registro de um recorde negativo de 8 acidentes em um mesmo dia (29/01/2017); o recorde positivo foi de 5 dias sem acidente. Estatisticamente, neste mesmo período houve 92 dias com 4 acidentes ou mais.

O início de um acidente começa pelo descarrilamento, que é o ato ou efeito das rodas deixarem os trilhos, que são classificados como simples, adernamento ou tombamento:

- o modo de descarrilamento simples ocorre quando uma ou mais rodas perdem o contato com o trilho de forma permanente até encarrilhamento posterior. Pode ser quando a roda escala e transpõe o trilho, ou quando se eleva e transpõe o trilho, ou desce do seu trilho de apoio, ou transpõe um trilho revirado, ou quando a roda encontra obstáculos ou deslocamento do painel da via que alavanca a transposição. E ainda quando a roda transpõe o trilho por fratura ou avaria nela própria, nos trilhos ou demais peças e componentes, entre outros;

- o descarrilamento por adernamento ocorre quando a caixa do veículo se inclina excessivamente elevando o truque e ou rodeiro e forçando o descarrilamento;

- o modo de descarrilamento por tombamento é quando a roda guia abandona seu acoplamento aos trilhos, e de forma definitiva, mas por efeito do tombamento original da caixa que leva o truque e as rodas ao descarrilamento.

Figura 1. Acidente Ferroviário – Descarrilamento



Fonte: BBC News (2020)

Desta forma, destaca-se a importância de se criar soluções para a prevenção e diminuição de acidentes, aumentando o nível de segurança ferroviária. Levando-se em conta o que apresentamos acima, o ponto central deste projeto trata da criação de um produto para auxiliar na prevenção e diminuição de acidentes, aumentando o nível de segurança ferroviária. Adicionalmente, o monitoramento remoto de ativos, que gera um conjunto de dados a serem geridos posteriormente.

1.2. ESTADO DA ARTE

O equipamento responsável pela mudança de um trem de uma linha para outra é conhecido como AMV (aparelho de mudança de via). Estes equipamentos são acionados mecanicamente com mola ou manualmente, ou seja, não há nenhum dispositivo de sensorização e ou digitalização de qualquer informação deste equipamento. O funcionamento de um AMV de mola, bem como seu diagnóstico de manutenção depende de um técnico mantenedor através de observação, dificultando os registros de manutenção, e o rastreamento para possíveis tomadas de decisões de maneira antecipada fica prejudicado.

Após uma pesquisa bibliográfica, nota-se que não há estudos mais avançados que buscam uma digitalização destes dados, visando a mitigação do problema exposto. Desta forma, põe-se como pergunta de pesquisa: é possível criar um sensor que se acopla ao conjunto do AMV de chave de mola, capaz de digitalizar os dados e fazer o monitoramento remoto do equipamento?

1.3. OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo principal deste trabalho é a criação de um produto para mudar o estado da arte atual, ou seja, realizar a digitalização de dados de um equipamento mecânico. Este novo equipamento será acoplado no atual conjunto de AMV de chave de mola, coletando informações acerca do status de agulha (encostada ou não). Nesta dissertação será utilizada uma arquitetura tecnológica que possa garantir o funcionamento deste sistema que tem como base tecnológica principal o uso de placa

eletrônica, incluindo processador e um conjunto de entradas e saídas, interligadas com um sensor eletromecânico, proposto nesta dissertação, cujos dados são enviados através de um sistema 3G, configurando um conceito de IoT (Internet das Coisas). Com este sensor, tem-se um produto que não necessita diretamente do olho humano para análise, gerando relatórios automaticamente, tornando-se um importante instrumento de manutenção preventiva e antecipada, ao invés da manutenção corretiva gerada atualmente.

1.4. JUSTIFICATIVA

Os elementos econômicos que justificam esta inovação e mudança do estado da arte são consequentes da diminuição de acidentes, bem como minimização do atraso de trens, ocasionados por descarrilamentos. Não se tem acesso aos valores reais dos prejuízos causados por acidentes ferroviários, porém, em uma pesquisa literária foram localizados alguns pontos que devem ser considerados:

- Danos materiais (inclui os trens, vagões e equipamentos envolvidos);
- Perda de receita (com a operação interrompida até a liberação de utilização da via);
- Custos médicos (Se houver feridos no acidente, devendo ser considerado custos de hospitalização, tratamentos médicos e reabilitação);
- Custos indenizatórios;
- Custos de limpeza e remediação ambiental (se for o caso);
- Responsabilidade (afetando diretamente o direcionamento de alguns dos custos mencionados acima).

Ainda temos alguns custos que não podem ser mensurados, como a imagem da empresa perante a sociedade e até casos mais graves com a perda de vidas.

De 2002 a 2003 os problemas com chaves em AMV's no Reino Unido resultaram em 14 milhões de minutos de interrupção nas operações, causando um prejuízo de 560 milhões de libras (Marques, Weston e Roberts, 2008).

1.5. PRODUTO TECNOLÓGICO

O sensor mecânico desenvolvido, trabalhando em conjunto com um sensor indutivo, interligado a uma placa de entradas e saídas digitais e analógicas, utiliza um processador interno para analisar os dados através da matriz de conformidade, produzindo uma decisão de ativar ou não o controlador do circuito, os dados são transmitidos por meio de um modem 3G para uma plataforma que gera informações e alertas. Caso haja qualquer tipo de não conformidade, o semáforo local irá apagar. Atualmente, dentro do RO (regulamento operacional) de uma ferrovia, quando o sinal está apagado, o maquinista é obrigado a parar o trem e observar se o desvio do trilho está em perfeitas condições. Com a solução proposta este sinal apagado vai gerar, através do monitoramento e gerenciamento remoto, um alerta ao CCO (centro de controle operacional), que acionará o time de manutenção já com um pré-diagnóstico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os conceitos gerais sobre ferrovia, chave de mola, AMV, estatística de problemas em AMV numa concessionária férrea brasileira, conceitos de indústria 4.0 com suas vantagens e tecnologias, escolha de IoT como base de tecnologia do produto, suas fases e interações com o produto proposto neste trabalho. Ainda dentro deste capítulo os conceitos e as citações norteiam a justificativa do trabalho e colaboram com o entendimento geral para o posterior desenvolvimento do produto tecnológico.

2.1. SEGURANÇA FERROVIARIA - ACIDENTES

Nabais (2014), cita que nos grandes centros urbanos brasileiros, as ferrovias operam de modo compartilhado, onde empresas diferentes, responsáveis pelos serviços de transporte de passageiros ou de cargas, utilizam a mesma via. Desse modo, nos momentos em que não há tráfego de passageiros e que a via deveria ser submetida aos procedimentos de manutenção preventiva, a mesma é disponibilizada para o tráfego dos trens de carga.

Conseqüentemente, neste modo de operação, não há uma reserva de tempo adequada para os procedimentos de manutenção preventiva da via, comprometendo a segurança operacional e dos usuários do sistema. O resultado é a necessidade constante de procedimentos de manutenção corretiva, ou, em outras palavras, espera-se o problema ocorrer para ser resolvido, e assim manter-se a segurança operacional e dos usuários.

Entretanto, itens como confiabilidade, conforto e integridade do sistema passam a ser questionáveis, o que atinge principalmente o transporte de passageiros, que é prejudicado pelos períodos de interrupção, durante o horário de funcionamento, devido às manutenções corretivas.

Para que haja a implementação de procedimentos de manutenção preventiva, em vias que não passaram por manutenções adequadas, durante grandes intervalos de tempo, é necessário primeiramente, verificar quais são as condições correntes da via permanente, pois, em algumas ferrovias não é possível aplicar apenas a manutenção preventiva. Nesses casos, haverá a necessidade de uma análise sobre se

deverá ser aplicada a manutenção corretiva inicialmente, pois, o alto fluxo de trens, associado à pouca manutenção, pode ter degradado a via permanente, o que pode tornar necessária a substituição de vários elementos da superestrutura, antes de ser implementado um plano de manutenção preventiva.

Os avanços tecnológicos das últimas décadas, principalmente com novos sistemas de sinalização e licenciamento, possibilitaram o aumento do fluxo e da velocidade dos trens de passageiros e de cargas que utilizam a mesma via férrea. Naturalmente, um número maior de passageiros e cargas passou a ser transportados em um menor intervalo de tempo. Entretanto, esse avanço altera a exigência sobre os trilhos, o que causa maior desgaste da via permanente e do material rodante, sendo assim, os defeitos e anomalias causados pelos desgastes e falta de manutenção surgem com maior frequência, elevando os riscos de falhas e defeitos nos elementos. Ainda, Castello Branco e Ferreira (2002) salientam que, nas últimas décadas, esse novo cenário de transporte sobre trilhos no Brasil acarretou em uma maior preocupação com a exigência sobre os procedimentos de manutenção e cotas de desgaste.

Os acidentes envolvendo trens de carga ou de passageiros resultam, muitas vezes, em interdições das linhas, que por sua vez atrasam ou impedem a eficiência da operação dos trens, trazendo prejuízos aos usuários e à ferrovia. Outra consequência é a perda do material de tração, rodante e da carga, que são, na maioria das vezes, inevitáveis (MÁXIMO e LORENCETTE, 2006).

Segundo a resolução 5.902/2020 da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2020), é considerado como acidente, toda a ocorrência em que houve participação direta do veículo ferroviário e que tenha causado danos em outros veículos, pessoas, instalações, obras de arte especiais (pontes, túneis e viadutos), meio ambiente ou à própria via.

Ainda, segundo a ANTT (2020), os acidentes ferroviários devem ser classificados quanto à causa em: humana; via permanente; material rodante; sistemas de sinalização; telecomunicações, e outras causas.

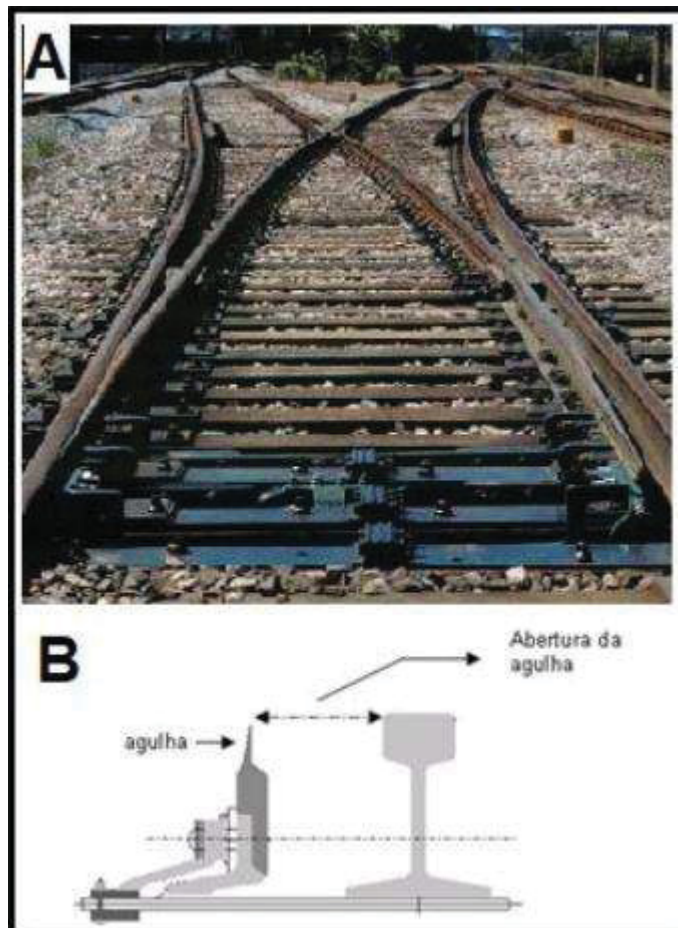
O processo de descarrilamento de veículos ferroviários, no qual a roda perde a sustentação provida pelo trilho, é ocasionado por várias razões, tais como: obstruções e problemas de via, trilhos ou eixos quebrados, choques durante manobras, excesso de velocidade e também vandalismo (HONG, 2011).

Para esclarecer quais são os elementos que compõe a mudança de via, o item 2.2 irá explanar cada um deles.

2.2. APARELHO DE MUDANÇA DE VIA

Para Santos (2011), o AMV é um dispositivo que permite o trem transpor de uma via à outra, sendo composto por duas lâminas móveis e agulhas ou chaves, as quais podem se deslocar entre os dois trilhos da via. Quando as rodas da composição ferroviária entram no aparelho de mudança de via, elas são guiadas para aquela definida pela posição das lâminas. Como as agulhas do AMV são as únicas peças móveis da linha ferroviária, sofrem grandes esforços e, por isso, são construídas com aço resistente (Figura 2)

Figura 2. A - Aparelho de mudança de via. B - Corte transversal na região da agulha.



Fonte: (A) Hewitt Equipamentos (2017). (B) Adaptado de Steffler (2013).

Os aparelhos de mudança de via representam uma área crítica e mais frágil que o restante da via. Conseqüentemente, são necessárias intervenções constantes para a sua manutenção e lubrificação.

Steffler (2013) cita que os aparelhos de mudança de via são um universo dentro dos estudos das ferrovias, pois a grande quantidade de componentes que o formam, ocasiona elevada demanda de manutenção e de pessoal qualificado para a execução desses procedimentos. A função principal do aparelho de mudança de via é executar a retirada de uma composição ferroviária de uma via e encaminhar para outra, tornando a operação ferroviária eficiente. Na Figura 3 são apresentados os diversos elementos que o constituem, motivo pelo qual é um aparelho que exige uma atenção maior das equipes de manutenção.

Figura 3. Componentes de um Aparelho de Mudança de Via - AMV.



Fonte: Paiva (2016).

Segundo Steffler (2013), os Aparelhos de Mudança de Via que mais apresentam indicativos de acidentes, dentro das ferrovias, são os que compõem as estradas de ferro com bitola mista, (aquelas que possuem duas bitolas em uma única via). Nesse tipo de AMV não se trabalha apenas com duas agulhas e, sim, com três. Os ajustes feitos pelas equipes de manutenção são mais complexos e exigem atenção constante, considerando que nessas ferrovias a indicação de chave boa para circulação é quando a sinalização indica falha com uma abertura de 2 mm.

Os Aparelhos de Mudança de Via são classificados em AMV-A produzido de acordo com as normas da *American Railway Engineering and Maintenance of Way*– AREMA e AMV-U produzido conforme determinam as normas da *Union Internationale des Chemins de Fer*- UIC, ambas reconhecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR-5558 - 1992).

A principal diferença entre o AMV-A e o AMV-U, encontra-se no projeto geométrico de transição das linhas. No aparelho de mudança de via projetado pela AREMA, o material rodante sofre mudança na direção em dois locais que sempre estão

secantes à direção inicial, ou seja, na agulha da chave e na curva de ligação da região intermediária. No projeto da UIC, a direção sofre uma única mudança, e esta é tangente à direção do início, mantendo o mesmo raio do começo da inscrição da ponta de agulha até o final do Aparelho de Mudança de Via - AMV (CASTELLO BRANCO e FERREIRA, 2002).

O AMV-A (Arema) é um elemento que pode ter a sua produção em série, pois os seus grupos de subsistemas são predefinidos, como agulhas, jacarés, contratrilhos, entre outros. Esses podem ser utilizados independente da bitola da via permanente, e ser alocados nas mais diversas combinações. Outra característica do AMV-A é a possibilidade de utilizar contratrilhos e agulhas de qualquer comprimento, sem oferecer riscos à segurança durante circulação.

O AMV-U (UIC) tem uma configuração diferente, com relação à inscrição de sua trajetória. Seu projeto objetiva suavizar ao máximo a interferência da inscrição na composição ao longo do aparelho. Por esse motivo, esse tipo de AMV mantém o mesmo raio de início ao final e, desta forma, é possível transpassar o AMV em velocidades mais altas, com maior conforto, menores solicitações da via e do material rodante. Outra vantagem do AMV-U está na possibilidade da instalação ser executada em condições adversas da via, como curvas, em pontos com maior superelevação e em curvas de transição (CASTELLO BRANCO e FERREIRA, 2002).

Os Aparelho de Mudança de Via AREMA e UIC, são divididos em três regiões básicas:

- **Chave:** onde estão localizados os trilhos que fazem a transição das rodas da via principal para a via secundária ou vice-versa. São constituídos de vários componentes que são os primeiros a efetuar a mudança de trajetória das rodas do trilho principal;
- **Região intermediária:** a mais simples do conjunto é composta apenas por trilhos e fixações;
- **Região do cruzamento:** onde está localizado o elemento responsável pela finalização da transposição do material rodante (jacaré), o qual garante que a composição foi efetivamente enviada para a linha de destino.

Destaque-se que o fato da região intermediária, embora ser a mais simples, não significa que não necessite de atenção constante. Isso é devido à parte do AMV que irá garantir que a transposição do material rodante, será feita com precisão e segurança.

Segundo Maltez (2002), no Brasil, a concepção AREMA é usada predominantemente em transporte de cargas e passageiros (subúrbios). Já a concepção UIC é empregada com sucesso no transporte metropolitano (metrô).

De acordo com Santos (2011), os Aparelhos de Mudança de Via podem ser caracterizados quanto à geometria, em função de suas derivações, que podem ser:

- **Lateral:** apenas uma via é desviada e a outra continua o seu trajeto inicial. Essa é a geometria mais usada pela facilidade de implantação;
- **Simétrica:** duas vias são desviadas com o mesmo ângulo, vantajosos em casos onde não há uma ascendência marcante de uma via sobre a outra e nem uma equivalência entre ambas, podendo ser côncava ou convexa. Esse traçado deve ser preferido, pois, proporciona um menor desgaste aos elementos no Aparelho de Mudança de Via;
- **Assimétrica:** duas vias são desviadas com ângulos diferentes, situação usada em casos onde há limitação de espaço ou imposição do traçado.

Conseqüentemente, conforme for a derivação apresentada anteriormente, a via permanente pode determinar, em função do peso do trem, qual é a velocidade de operação com cada um dos tipos de AMV.

Steffler (2013), descreve de forma detalhada a composição de um Aparelho de Mudança de Via:

- **Chave ou Agulhas:** composta por agulha, trilho de encosto de agulha, escoras laterais, placas de apoio de deslizamento, barra de conjugação, aparelho de manobra/máquina de chave, tirantes de ligação, barras de conjugação, calços e parafusos.
- **Parte intermediária ou de ligação:** conjunto formado pelos trilhos intermediários apoiados em placas de apoio, compostas pelos trilhos de ligação entre o final da agulha, o jacaré e os trilhos externos;
- **Cruzamento:** constituído pelo jacaré, contratrilhos, seus respectivos trilhos de encosto e placas de apoio, especiais para cruzamento.

Essencialmente, a passagem de veículo pela região do desvio do Aparelho de Mudança de Via impõe uma mudança súbita de trajetória, a qual produz esforços de resistência de magnitude considerável. Por isso, este equipamento constitui o trecho mais crítico de uma via permanente, ficando assim, mais propenso a falhas de seus componentes.

Outro fator a ser considerado é a existência dos trilhos móveis (agulhas) e da máquina de chave que aciona a movimentação do AMV, esses tem uma alta taxa de utilização, de acordo com as necessidades operacionais, o que aumenta o desgaste do equipamento e, conseqüentemente, eleva a necessidade de manutenção.

Para melhor entender, a seguir serão tratados esses itens.

2.2.1. Agulhas

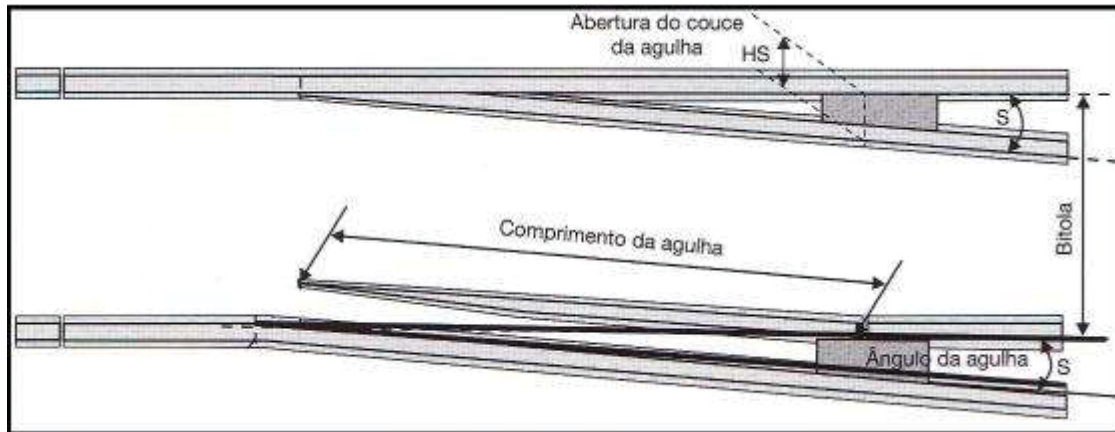
As agulhas são dois elementos verticais que se movem de forma paralela e simultânea, ligadas por barras de conjugação e que determinam o desvio ou não das composições. São acionadas por máquinas de chave ou aparelho de manobra manual que operam em duas posições, permitindo que a composição siga seu trajeto na via principal, ou direcionando a composição para a entrada ou saída de outra via.

De acordo com Maltez (2002), as agulhas são duas no Aparelho de Mudança de Via em bitola simples, ou três em bitola mista, marcam o início do desvio, e determinam se a composição será ou não redirecionada. As agulhas são produzidas com o mesmo material utilizado nos trilhos, mas por ter sua ponta afiada, recebem um reforço na alma do perfil, justamente para compensar as perfurações para a fixação da barra de ligação.

Para Steffler (2013), as agulhas são responsáveis por deslocar os eixos da composição e encaminhar o veículo à nova via. As agulhas recebem essa denominação em função de suas características físicas, pois apresentam uma ponta fina e seu formato vai alargando até chegar ao final da agulha que tem o formato do perfil do trilho. As agulhas são classificadas de acordo com as suas características físicas, posicionamento e projeto geométrico do AMV.

Ainda, conforme Steffler (2013), as agulhas são classificadas em retas e curvas. As retas, apesar de terem o seu comprimento menor, permitem maior velocidade da composição se comparada às agulhas curvas. Atualmente, ferrovias com sistemas que usam tecnologias de ponta, empregam mais agulhas retas, para a circulação de trens com maior velocidade (STEFFLER, 2013). A Figura 4 ilustra o que está sendo descrito até aqui.

Figura 4. Detalhes da agulha.



Fonte: Adaptado de Steffler (2013).

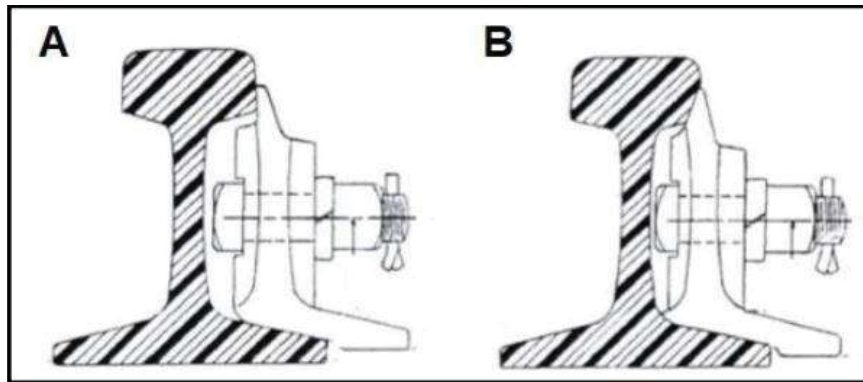
Conforme apresenta a Figura 4, o comprimento da agulha é a medida da ponta da agulha até a extremidade final (couce), que é o ponto onde a agulha é ligada ao trilho intermediário, também conhecido como trilho de ligação

O ponto de interseção nos trilhos, entre o ponto de bitola da agulha e o trilho de encosto da mesma agulha forma um ângulo, denominado “ângulo da agulha”, conforme pode ser observado na Figura 4. Esse pode ser calculado utilizando a equação a seguir.

$$\text{sen}(S) = \frac{\text{abertura do couce} - \text{espessura da ponta}}{\text{comprimento da agulha}}$$

Atualmente, as agulhas utilizadas nas ferrovias, possuem uma região de proteção conhecida como graduação. Essa região tem a função de não permitir que a banda de rolamento da roda tenha contato com a agulha, na fase de transição do trilho de encosto para a ponta de agulha. Portanto, trata-se basicamente de um rebaixo no trilho de encosto, onde a agulha fica acondicionada de forma não aparente, contrariamente ao modelo antigo, que deixava a ponta da agulha aparente (Figura 5).

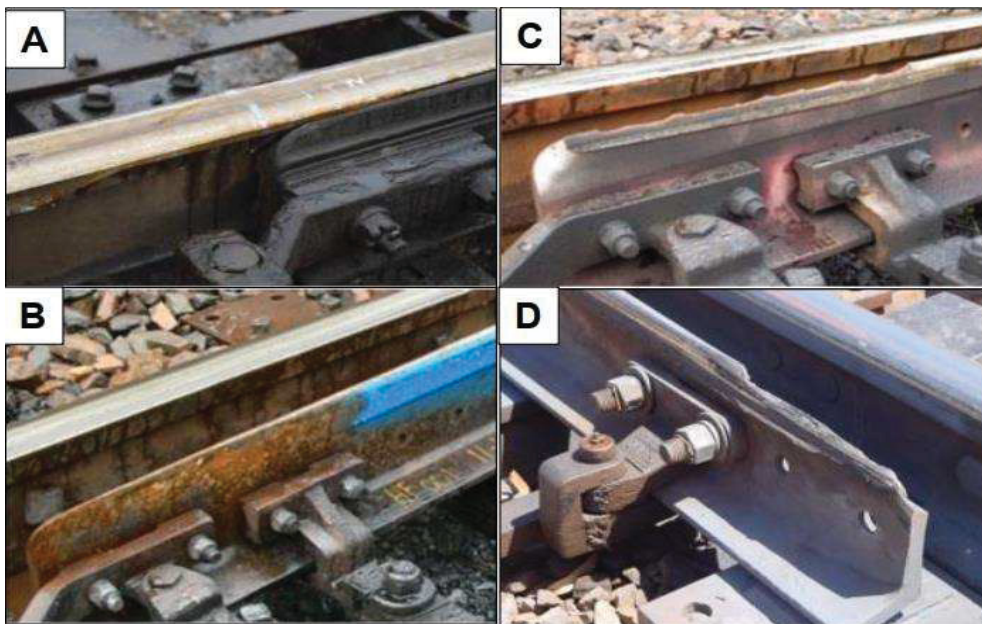
Figura 5. Corte transversal do conjunto trilho-agulha. A modelo antigo; B modelo atual.



Fonte: Canadian Pacific Railway (2013).

A despeito dessa proteção do trilho para a agulha, com o uso intenso da região, ocorre um desgaste das mesmas em relação ao trilho de encosto que pode diminuir a eficiência no fechamento da agulha e, com isso, diminuição da segurança operacional, conforme ilustrado na Figura 6.

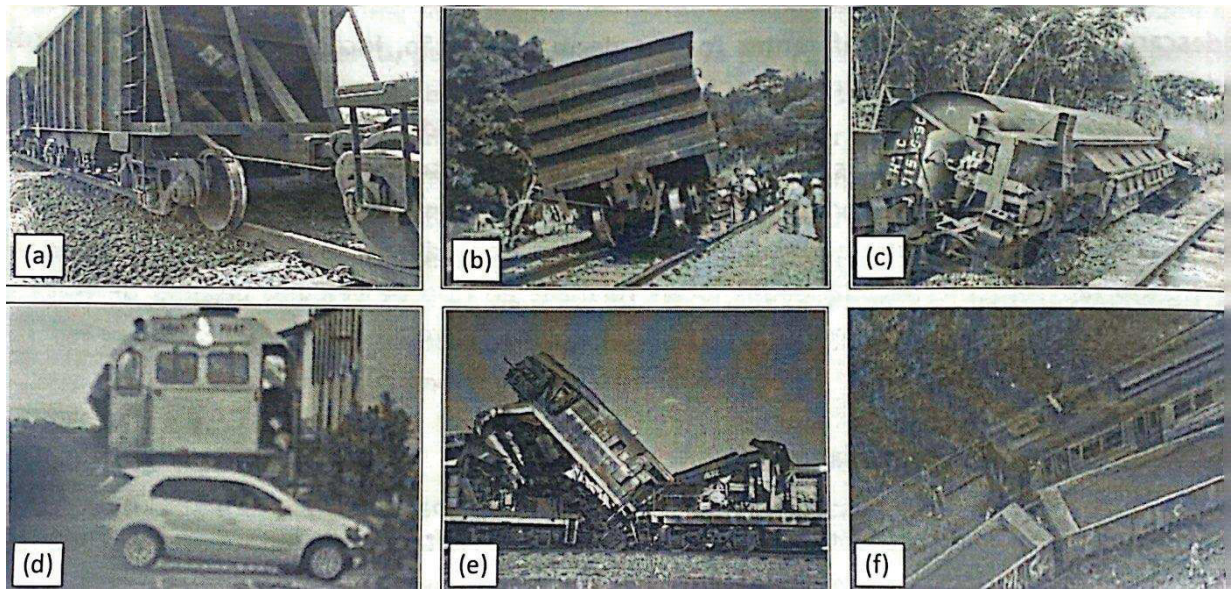
Figura 6. Regiões do trilho de encosto e agulha.



Fonte: Rail Industry Safety and Standards Board (2015).

A Figura 6 demonstra os casos A e B que são conjuntos em boas condições de uso e nos casos C e D, agulhas desgastadas.

Figura 7. Tipologia dos acidentes ferroviários com descarrilamento.



Fonte: MAGALHÃES (1991)

Sobre a figura 7 acima, MAGALHÃES (1991), exibe sequência ilustrativa: (a) descarrilamento simples envolvendo, nesse caso, ambas rodas de um mesmo rodeiro; (b) descarrilamento por adernamento; (c) descarrilamento por tombamento total do veículo no local; (d) descarrilamento por abalroamento de veículo rodoviário em passagem de nível; (e) descarrilamento por colisão frontal de trens e (f) descarrilamento por abalroamento lateral entre veículos ferroviários. Portanto, mesmo o tombamento e adernamento sendo eventos iniciais de uma ocorrência, seriam, dentro desta conceituação, e antes de tudo, apenas modos específicos de descarrilamento.

2.3. ACIDENTES EM APARELHO DE MUDANÇA DE VIA

Os acidentes que ocorrem no Aparelho de Mudança de Via, geralmente estão ligados diretamente à operação e / ou manutenção inadequadas. Isso pode ocorrer por diversas causas, como a passagem com a agulha invertida o que causa a quebra dos tirantes. Também se essa composição estiver em manobra, quando recuar a via estará posicionada para o lado invertido do restante da composição, o que irá fazer com que uma parte dela entre na linha invertida.

Os acidentes que ocorrem em Aparelhos de Mudança de Via podem ocorrer em duas regiões específicas, a primeira é a região da Chave e a segunda, a região do Cruzamento.

Durante análise dos dados apresentados por MRS (2016) e demonstrados na tabela 1, constata-se que os problemas relacionados a AMV (Aguilha desgastada), decorrentes da folga na ponta da agulha, Falha do AMV, Jacaré desgastado e Contra trilho desgastado) são responsáveis por 15,3% (13 dos 85) acidentes ocorridos nos Trechos e por 15% (6 dos 40) acidentes ocorridos nos pátios.

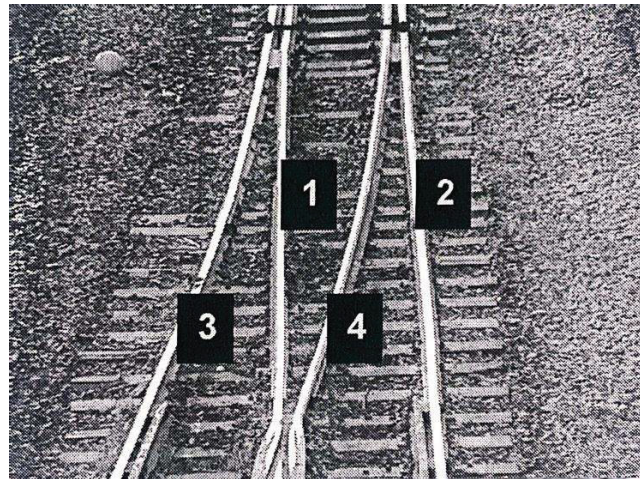
Tabela 1: Descarrilamentos ocorridos na MRS - 2010 a 2016 - Trecho e Pátios

TRECHOS		PÁTIOS	
MOTIVO	TOTAL	MOTIVO	TOTAL
Geometria da via	13	Bitola aberta	8
Bitola aberta	12	Aguilha desgastada	3
Falha do operador	9	Empeno - "WARP"	3
Fixação da linha	8	Fratura de trilho	3
Empeno - "WARP"	7	Geometria da via	3
Fratura de trilho	7	Excesso de material sobre linha	2
Folga na ponta da agulha	5	Falha de manutenção	2
Excesso de material sobre linha	4	Falha do AMV	2
Falha do AMV	4	Lastro deficiente	2
Torção - "TWIST"	4	Torção - "TWIST"	2
Bitola apertada	2	Fixação da linha	2
Falha de manutenção	2	Flambagem da linha	2
Jacaré desgastado	2	Jacaré desgastado	1
Aguilha desgastada	1	Junta arriada	1
Contra trilho desgastado	1	Obstáculo na via	1
Defeito aparelho de choque e tração	1	Socaria deficiente	1
Engate rompido	1	Falha do operador	1
Lastro deficiente	1	Fratura de eixo	1
Socaria deficiente	1		
TOTAL	85	TOTAL	40

Fonte: MRS (2016)

Conforme o exposto neste item, nota-se que nesse sistema ferroviário apresentado, há uma precariedade de tecnologias; ou seja, se aplicados alguns conceitos e ferramentas tecnológicas, da indústria 4.0 tratados no próximo capítulo, isso poderá diminuir os acidentes no futuro.

Figura 8. Transposição de Chave Contrária ou Agulha Centrada.



Fonte: MAGALHÃES (1991)

A Dissertação tem foco geral na prevenção de acidentes, em especial, prevenção do descarrilamento por agulhas centradas. Magalhães (1991) descreve a figura 8 na condição normal de inscrição no AMV, com a agulha encostada e outra deslocada, ou as rodas do mesmo eixo estariam marchando sobre as filas (1) e (2), se estivesse na direção da direita, entrado no AMV, ou estariam sobre as filas (3) e (4), se desviadas. Entretanto, e tomando como referência um rodeiro entrado no AMV (vindo da parte superior como indicado, ou ré) e encontrando as agulhas centradas, a condição de circulação é crítica. A roda esquerda se apoiará sobre a fila (2), mas a roda da direita, ao invés de se apoiar na fila (1) se apoiará na fila (3). Portanto se acontecer a inversão pela manobra do trem em ré, ou ambas as agulhas centradas haverá o descarrilamento. Dentro destes conceitos o descarrilamento por subida de ponta de agulha é seguramente o mais frequente, ponto que, ao final desta dissertação ficará evidente. Este tipo de problema é susceptível de ocorrer quando se conjuga agulha no seu limite de desgaste, trazendo como consequência um excesso de folga.

2.4. INOVAÇÃO

Rieg e Alves Filho (2003) caracterizam inovação ou desempenho inovador empresarial a partir das inovações tecnológicas de processos e produtos comercialmente viáveis, uma consequência dos esforços tecnológicos realizados pelas organizações. Estas inovações podem ser tanto significativas como incrementais. As inovações significativas relacionam-se a produtos ou processos inteiramente novos, diferentes dos existentes até aquele momento. Já as inovações de produtos ou processos incrementais resultam de aperfeiçoamentos de produtos que já existem e que podem ser melhorados. Os autores ainda discutem que para medir a inovação empresarial é necessário considerar tanto as quantidades de inovação em produtos e processos como a parcela do faturamento decorrente das inovações e número de patentes conquistadas. O conceito de inovação comparado com o estado de arte atual cujo equipamento original não tem nenhuma interatividade digital, juntamente com as pesquisas acadêmicas realizadas em que o resultado foi absolutamente nulo, configura uma oportunidade única de desenvolvimento para este e futuros trabalhos.

2.5. INDÚSTRIA 4.0

Neste capítulo fala-se sobre os conceitos da Indústria 4.0 e como os mesmos direcionaram a criação do produto apresentado nesta qualificação.

2.5.1. História

Schwab (2016) comenta que o setor industrial sempre esteve em evolução. Em meados de 1780 viveu-se a chamada Primeira Revolução Industrial, com o aprimoramento das máquinas a vapor, teares mecânicos e outras soluções. Mais de 100 anos depois foi a vez da Segunda Revolução Industrial, que teve como base a utilização do petróleo e da eletricidade para produzir bens e serviços em massa, também descreve que no século XX, a Terceira Revolução Industrial se caracterizou pelo uso de processadores e informatização nos processos produtivos. Por fim, agora

no século XXI, está sendo vivida a Quarta Revolução Industrial, também conhecida como indústria 4.0.

A quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 tem seu termo usado pela primeira vez em 2011, é oriunda de um projeto de estratégias do governo alemão voltado para a tecnologia (SILVEIRA, 2017), neste mesmo trabalho ele aponta que o fundamento básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas podem criar redes inteligentes e assim controlar os módulos de produção de forma autônoma.

Como esse novo conceito de indústria surgiu na Europa e por ser ainda muito novo, sua difusão no Brasil ainda é limitada, embora seja uma estratégia a ser adotada por grandes indústrias como forma de vencer a competitividade nacional (OLIVEIRA; SIMÕES, 2017).

2.5.2. Principais Características da Indústria 4.0

Segundo Schwab (2016), o objetivo da indústria 4.0, de maneira global, é unir três mundos: o físico, o biológico e o digital, sendo caracterizada pelos seguintes elementos:

- Virtualização / Digitalização: As fábricas inteligentes utilizam sensores e outros dispositivos nos equipamentos. Dessa maneira, conseguem não apenas rastrear as etapas do processo de produção, como também podem monitorar remotamente todos os ativos da empresa.

- Informações em tempo real: A coleta de dados, a análise e a gestão são feitas de forma instantânea. Assim, as tomadas de decisões são feitas com base em informações precisas e de maneira rápida. Como resultado, elas são mais efetivas e feitas em tempo hábil para evitar problemas de proporção maior.

- Descentralização das decisões: com a descoberta de novas tecnologias, principalmente a internet, o acesso às informações se tornou muito mais fácil. Nas fábricas inteligentes, as máquinas fornecem dados sobre seu estado de trabalho e notificam a rede sempre que há alguma interferência em seu funcionamento. Desta forma, a indústria 4.0 tem como premissa a conexão entre dispositivos inteligentes, tanto na cadeia de produção quanto na logística. Isto é, conectar máquinas, sistemas

e ativos com a intenção de criar redes e ou sistemas inteligentes para aperfeiçoar o controle produtivo.

2.5.3. Ferramentas

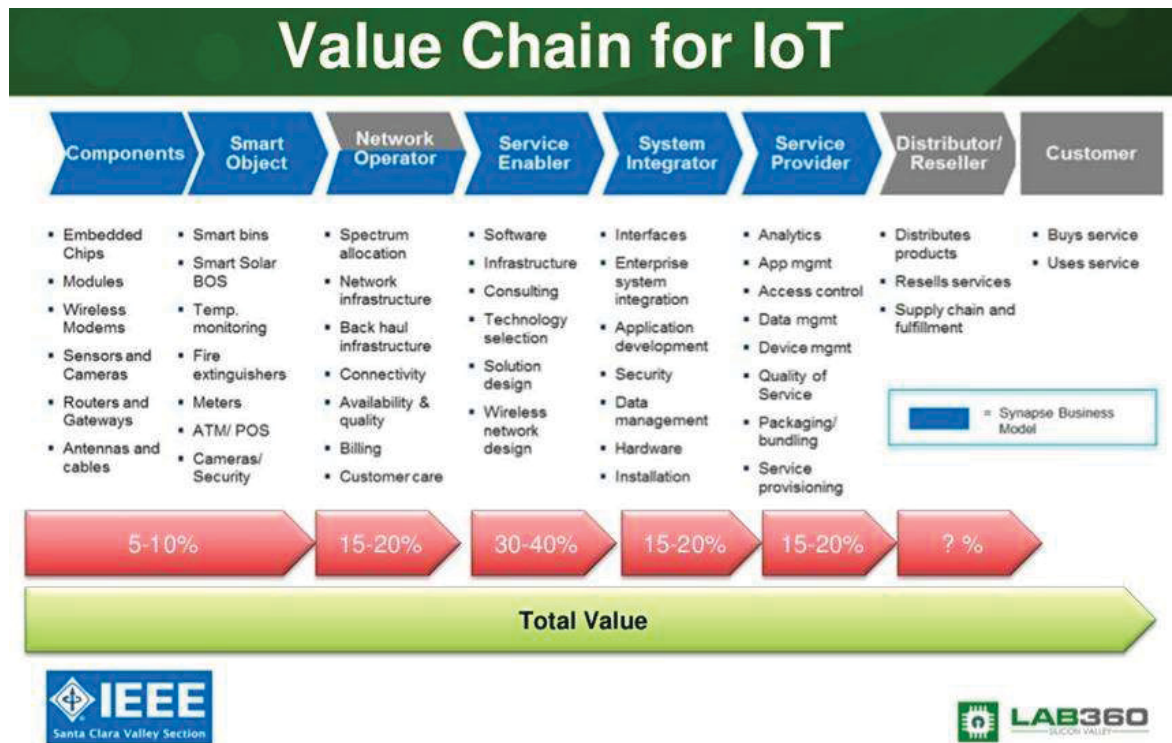
Aqui são apresentadas as principais ferramentas da Quarta Revolução Industrial, segundo (Da Silva 2018):

- IoT — a Internet das Coisas se refere à conexão entre os equipamentos inteligentes por meio da internet. Dessa forma, é possível coletar, reunir e analisar informações em tempo real, garantindo processos mais flexíveis e eficazes;
- IA — a Inteligência Artificial é responsável por analisar os dados obtidos para que seja possível automatizar os processos;
- *Big Data* — diz respeito aos dados armazenados em um banco de dados e que podem ser analisados pela Inteligência Artificial, para que as melhores decisões sejam tomadas;
- *Machine Learning* — refere-se ao aprendizado autônomo das máquinas por meio da análise dos dados obtidos com sensores e outros dispositivos inteligentes;
- *Cloud Computing* — permite o armazenamento na internet de todas essas informações geradas. Logo, é possível economizar espaço físico nos sistemas de hardware e, ainda, acessar remotamente qualquer dado;
- Cibersegurança — todas essas informações geradas e armazenadas precisam estar protegidas contra possíveis perdas ou acesso de pessoas não autorizadas;
- Digitalização — é o uso de inovações digitais para aprimorar os processos produtivos e o desenvolvimento de produtos e serviços com a intenção de otimizar o fluxo de produção e torná-lo mais eficiente;
- Realidade virtual e aumentada — essa tecnologia simula cenários imersivos ou acrescenta informações, como imagens e gráficos aos ambientes. Podendo ser aplicada em treinamentos à distância, na instrução remota sobre como operar ou realizar reparos em equipamentos e no acompanhamento da produção.
- *Machine-to-machine* - GALETIC (2011) cita que esta proposta surge como uma vertente da Internet das coisas, utilizando-se da integração do conjunto entre M2M e Internet da coisas, para controlar e monitorar dispositivos M2M.

- *End-to-end* - A integração E2E conecta toda a cadeia de valor utilizando métodos avançados de comunicação e virtualização, trazendo grande potencial de otimização dos processos (BRETTEL et al., 2014)
- *Industrial Internet of Things* – Definida em GE (2015) como “... uma fonte de eficiência operacional e inovação que é o resultado de uma receita atraente de desenvolvimentos tecnológicos. A soma resultante dessas partes dá a você a Internet Industrial – a forte integração dos mundos físico e digital. A Internet Industrial permite que as empresas usem sensores, software, aprendizado máquina a máquina e outras tecnologias para coletar e analisar dados de objetos físicos ou outros grandes fluxos de dados - e então usar essas análises para gerenciar operações e, em alguns casos, oferecer novos, serviços de valor acrescentado”. Conforme citado em EGON & CESTARI (2019), a base da IIOT (*Industrial Internet of Things*) é a informação, que é composta pela triade “Conexão a qualquer hora, Conexão em qualquer lugar, Conexão a qualquer coisa”.

Na figura 9, ilustramos como na cadeia de valor IoT os diferentes componentes, em combinação uns com os outros ou separadamente, agregam valor à solução IoT geral e, por sua vez, para o usuário final.

Figura 9. Cadeia de valores da IOT.



Fonte: IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI) (2016)

2.5.4. Vantagens

Segundo Chehri et al. (2021), os principais ganhos do uso da indústria 4.0, são:

- redução dos custos — a automação permite fabricar mais com menos gastos operacionais, pois os custos de produção são diluídos. Além disso, há menos riscos de falhas e diminuição de desperdícios;
- aumento da produtividade — como a tecnologia otimiza todos os processos, é possível aumentar a quantidade de produtos fabricados em menos tempo, se comparado ao fluxo manual;
- elevação da qualidade — como há diminuição de falhas e a fabricação segue um padrão, os produtos apresentam uma qualidade ainda maior;
- ganho de competitividade — ao reduzir os custos e aumentar a qualidade, os produtos entrarão no mercado com um preço mais competitivo;
- melhora na tomada de decisões — como o gestor terá acesso a uma grande quantidade de informações precisas em tempo real, será mais fácil tomar as melhores decisões para o negócio;
- eliminação de gargalos — como todos os processos são monitorados, é possível identificar gargalos na produção;
- customização — a indústria 4.0 possibilita produzir exatamente o que os clientes buscam, fazendo com que a empresa se destaque dos concorrentes.

2.5.5. Indústria 4.0, IoT, Ferrovia e MPA.

Schwab (2016), afirma que a oportunidade da quarta revolução industrial vai além das tecnologias oferecidas. Ou seja, é o resultado do impacto positivo dos dados a serem gerados para organização e a vida das pessoas.

Kans, Galar e Thaduri (2015) citam possibilidades de integração de IoT no processo de manutenção de ferrovia, segundo os autores, os ativos ferroviários tão importantes para segurança de passageiros e carga, não podem ser apenas monitorados por fatores humanos; esses devem ser sensorizados, digitalizados e monitorados em regime 24 horas por dia e sete dias por semana. A internet das coisas (IoT) tem um papel fundamental juntamente com o advento da chegada do GPRS (*General Packet Radio Service*) que propicia a transferência dos dados por rede móvel.

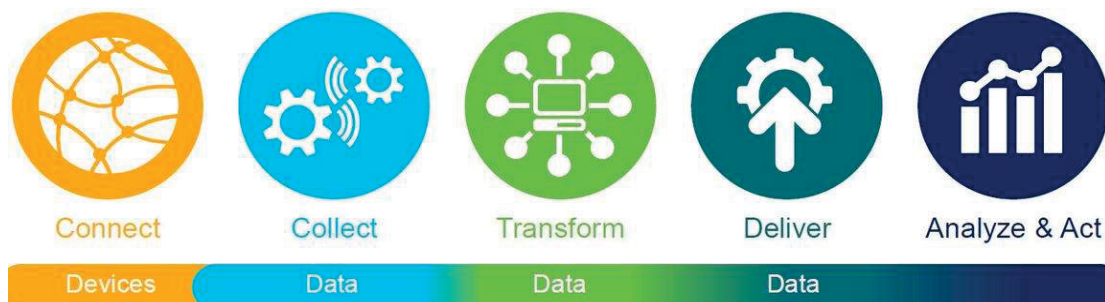
O IoT permite a coleta de dados confiáveis em tempo real, assim como transformá-los em informações para tomada de decisões. Como o objetivo global é a redução do consumo de recursos melhorando a eficiência, disponibilidade e produtividade, uma das maiores consequências da automatização é a redução das intervenções humanas, aumentando a produtividade. Isso acontece porque os comandos do sistema permitem às máquinas trabalharem de forma ininterrupta.

Ainda falando sobre eficiência de gestão, dentro dos benefícios da internet das coisas, a empresa poderá aproveitar as reduções de custo nas operações, bem como do tempo de inatividade. Também, há a diminuição do desperdício na cadeia, uma vez que a automação otimiza o processo de produção. Com os sensores inteligentes, a empresa monitora os aplicativos internos de forma que, com os dados específicos, a equipe de TI detecta, com antecedência, a possibilidade de alguma falha e toma medidas para evitar que ela aconteça.

Conforme a figura 10 abaixo sobre o fluxo de um projeto IoT, nosso produto segue:

- “*Connect*” – Inserção dos sensores;
- “*Collect*” – Coleta dos status dos sensores;
- “*Transform*” – Análise dos status pelo software de gerencia;
- “*Deliver*” – Apresentação dos status em nosso portal de gerencia;
- “*Analyze & Act*” – Análise dos status no local por nosso software através da tabela verdade e ação através da interação com as luzes de liberação no local;

Figura 10. Fluxo de projeto IOT.



Fonte: EGON & CESTARI (2019)

Neste trabalho utiliza-se o IoT como ferramenta da indústria 4.0, onde foi unida ao desenvolvimento do sensor mecânico, utilizando a metodologia de *Design Science Research*, cujo benefício é a digitalização de um processo antes da observação

humana. Como consequência, este método poderá ser usado para qualquer outro ativo ferroviário ou mesmo da indústria. A Internet das coisas (IoT) tem o melhor custo x benefício em relação a estrutura que se faria necessário com outra tecnologia, entendendo que os locais onde foram instalados os pontos não tem energia e nem mesmo fibra ótica ou qualquer outro recurso de rede que não seja telefonia móvel.

2.6. TECNOLOGIA ENVOLVIDA NO PRODUTO

Neste capítulo, explica-se brevemente as tecnologias envolvidas no produto. A base é IoT (internet das Coisas). O software que irá representar a tabela verdade é programado em Python, bem como a placa de I/O (entradas e saídas) a qual é de um fornecedor terceiro.

2.6.1. *Internet of things*

Atualmente a IoT se tornou um termo popular para descrever cenários nos quais a conectividade com a internet e a capacidade de computação se estendem a uma variedade de objetos, dispositivos, sensores e demais itens do dia-a-dia (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

Na Tabela (2) abaixo, são apresentadas as principais definições encontradas para o termo IoT, sendo relacionadas as respectivas fontes.

Tabela 2: Citações das definições da IoT

DEFINIÇÃO	FONTE
Uma infraestrutura de rede global e dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos padrões e interoperáveis de comunicação, onde “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos	Sundmaeker et al. (2010, p. 43)

<p>e personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes, e são perfeitamente integrados à rede de informações.</p>	
<p>IoT é simplesmente o ponto no tempo onde o número de “coisas ou objetos” conectados superou a quantidade da população mundial.</p>	<p>Evans (2011, p. 2)</p>
<p>Uma infraestrutura global para a sociedade da informação, possibilitando serviços avançados ao interconectar coisas (físicas e virtuais) com base em tecnologias de informação e comunicação interoperáveis existentes e em evolução.</p> <p>NOTA 1 – Através da exploração das capacidades de identificação, captura de dados, processamento e comunicação, a IoT faz uso total das coisas para oferecer serviços a todos os tipos de aplicações, assegurando ao mesmo tempo que os requisitos de segurança e privacidade sejam cumpridos.</p> <p>NOTA 2 – De uma perspectiva mais ampla, a IoT pode ser percebida como uma visão com implicações tecnológicas e sociais.</p>	<p>ITU-T Y. 2060 (2012, p. 4)</p>
<p>A Internet das Coisas se desenvolve a partir da Internet atual, criando uma rede abrangente e auto organizável de objetos físicos conectados, identificáveis e endereçáveis, permitindo o</p>	<p>Schindler et al. (2013, p. 17)</p>

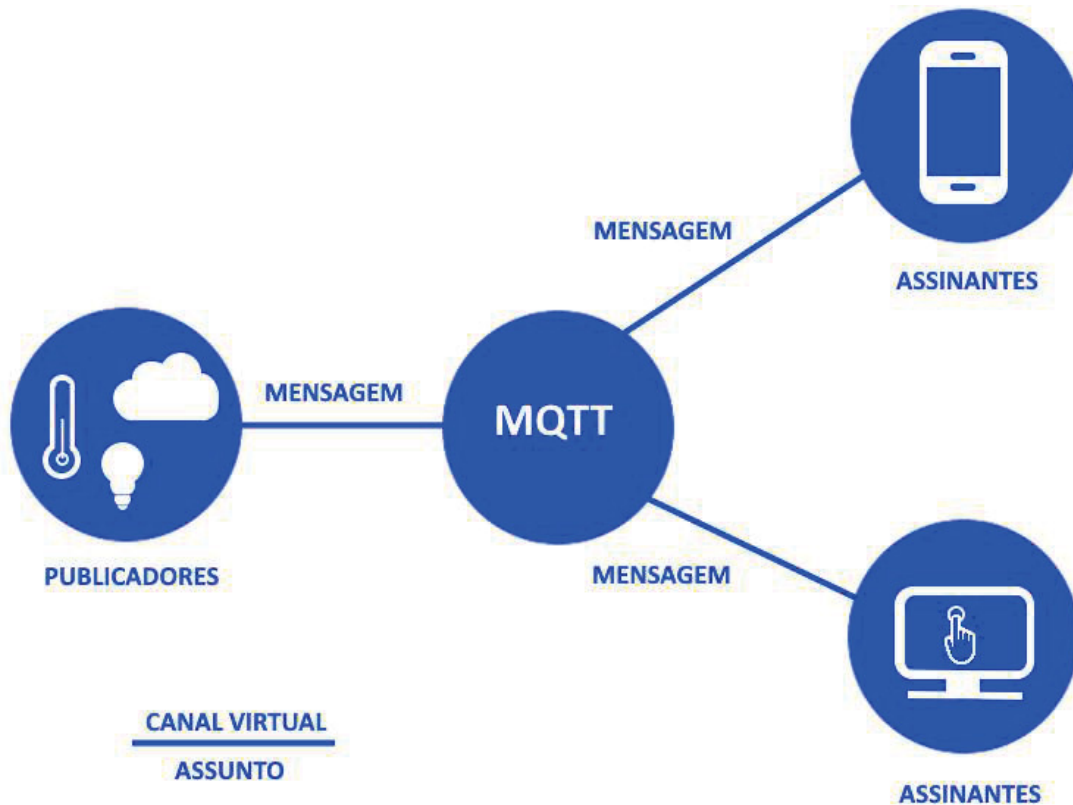
desenvolvimento de aplicativos em setores verticais-chave através do uso de chips incorporados.	
IoT: A interconexão, via Internet, de dispositivos computacionais embarcados em objetos do dia a dia, que possibilitam o envio e recebimento de dados.	Oxford (2018)

Fonte: QUINGERSKI (2019)

2.6.2. MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*)

Conforme publicado por Soni e Makwana (2017), a rápida revolução na área de tecnologia de comunicação da informação e coisas digitais, está forçando a rápida formação de IoT em todo o mundo. Na IoT, as comunicações de dispositivo para dispositivo são consideradas por meio do protocolo *Pushing* ou *Pulling*. O protocolo push é mais adequado para dispositivos IoT, devido à sua leveza e alta produtividade. Existem muitos protocolos Push disponíveis para IoT, como: XMPP (*Extensible Messaging and Presence Protocol*), MQTT, AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*), nos quais o MQTT (traduzindo para o português: Transporte de Filas de Mensagem de Telemetria) é mais amplamente usado. A principal característica do MQTT é sua leveza e eficiência de largura de banda. A escolha do MQTT foi a pedido do patrocinador do projeto, bem como por se adaptar facilmente ao PRTG que está descrito no capítulo abaixo. O MQTT é um protocolo de mensagens leve para sensores e pequenos dispositivos móveis otimizado para redes TCP/IP (conjunto de protocolos comunicação entre computadores em rede). O esquema de troca de mensagens (conforme figura 11) é fundamentado no modelo Publicador-Subscritor, extremamente simples e leve.

Figura 11. Modelo de Comunicação MQTT



Fonte: Novus (2019)

Os princípios arquitetônicos foram desenvolvidos para minimizar o uso de banda de rede e uso de recursos dos equipamentos, enquanto garante confiabilidade e algum nível de entrega. Estes princípios tornam esse protocolo ideal para as comunicações emergentes (M2M) “*machine-to-machine*” e para as aplicações IoT, num mundo de equipamentos conectados, além das aplicações *mobile*, onde banda e potência da bateria são relevantes. O envio do padrão de mensagens é realizado do local até a nuvem através deste protocolo. Segundo Velenzuela (2021) o protocolo MQTT permite a utilização de ferramentas para a segurança da rede, como por exemplo designar dados de login e senha para cada cliente conectado à rede. Em adicional, os brokers que são parte do protocolo podem utilizar ferramentas de criptografia bem como baixo consumo de energia o que complementa essa dissertação.

2.7. MONITORAMENTO REMOTO

Com a instalação do sensor, torna-se possível o monitoramento remoto em tempo real através de um portal de gerenciamento. Assim como a geração de relatórios do período instalado.

2.7.1. Digitalização

Com a digitalização do acompanhamento do status do sensor, aplica-se a idéia apontada por PIERIEGUD J (2018), diretamente na linha férrea, “O uso do processamento digital de dados está revolucionando a manutenção da infraestrutura e da frota de trens. Com base em milhões de pontos de dados capturados de sensores em componentes críticos do trem, a análise pode detectar defeitos iminentes de peças, garantindo que a manutenção seja feita apenas quando necessário, mas antes que ocorra um defeito. O conhecimento confiável de quais peças provavelmente falharão em um futuro próximo permite uma disponibilidade próxima de 100%, pois as falhas são corrigidas quando as unidades não estão em serviço no momento, evitando quebras. Isso melhora a confiabilidade do sistema, pois as reservas operacionais típicas da frota de 5-15% mantidas como *backup* em caso de falhas podem agora ser reduzidas, aumentando assim a capacidade efetiva.”

2.7.2. Paessler Router Traffic Grapher

Os estados e dados coletados de cada local como: sensor 1 (ponta de agulha), sensor 2 (ponta de agulha), sensor 3 (controlador de circuito) e nível de tensão de bateria são enviados através de GPRS (2G ou 3G), utilizando protocolo MQTT, na arquitetura aqui proposta de conceito global IoT, a cada mudança de status ou programável conforme necessidade de cada local.

Estes dados são enviados para uma nuvem e podem ser acessados e devidamente monitorados por um software de monitoramento chamado de PRTG (em português Gráfico de Tráfego do Roteador Paessler).

Conforme citado por D. MISTRY, P MODI, K. DEOKULE, A. PATEL, H. PATKI (2016) o PRTG é uma ferramenta de monitoramento de rede que fundamentalmente identifica e previne problemas que ocorrem na rede devido ao tráfego intenso de rede. Ele fornece monitoramento de rede suficiente para profissionais, bem como usuários iniciantes. Um dos recursos avançados é a descoberta automática da rede do usuário, além de fornecer uma segurança robusta, pois alerta os usuários antes que ocorram emergências por e-mail ou SMS (*Short Message Service*).

Este sistema é compatível com interfaces baseadas em navegador, Windows GUI (*Graphical user interface*) e iPhone, onde a GUI do PRTG é acessível em qualquer dispositivo de qualquer local, ajudando no monitoramento da largura de banda. Os usuários podem descobrir quem está usando sua rede e também indica para qual finalidade sua rede está sendo usada. O PRTG é acessível, pois permite ao usuário comprar apenas o que o usuário precisa.

O PRTG *Network Monitor* possui mais de 200 tipos de sensores para todos os serviços de rede comuns, incluindo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), SMTP/POP3 (*Simple Mail Transfer Protocol / Post Office Protocol - e-mail*) e FTP (*File Transfer Protocol*). Ele suporta vários protocolos para coletar esses dados. Na interface web do PRTG, os sensores HTTP para PRTG, carregam uma página web e monitoram o tempo de resposta; se um sensor não receber uma resposta ou receber o código de status 404, o sensor entrará em estado desativado. O sensor HTTP avançado mostra o tempo de resposta, assim como os bytes recebidos, e o tempo de download, com velocidade e tempo do primeiro byte para cada canal no sensor. O usuário pode definir limites e alarmes individuais, com a ajuda de um sensor de conteúdo HTTP, podendo verificar até 50 resultados retornados por uma solicitação HTTP, com cada resultado entre colchetes.

2.7.3. Linguagem de programação

O desenvolvimento do sistema através da linguagem de programação Python, para inserção de uma lógica de análise através de uma tabela verdade interligada eletronicamente ao diagrama elétrico, foi realizado por uma empresa especializada terceirizada.

Escolhemos a linguagem Python, devido a algumas razões citadas em BORGES (2014):

- É uma linguagem de altíssimo nível orientada a objeto, de tipagem dinâmica e forte, interpretada e interativa.

- A linguagem é interpretada pela máquina virtual Python, tornando o código portátil. Com isso, é possível compilar aplicações em uma plataforma e rodar em outros sistemas ou executar direto do código fonte.

- Python é um software de código aberto, permitindo que seja inclusive incorporado em produtos proprietários.

2.7.4. Energia Fotovoltaica

Um dos pontos que afetou diretamente a criação do sensor, foi o fato que na ferrovia não temos energia disponível ao longo da linha, especialmente em locais remotos, o que nos fez optar por alimentação via energia fotovoltaica.

Abaixo uma breve explicação dos componentes básicos de um sistema fotovoltaico *off grid* (isolado), listados por SCHERER (2015):

Painéis solares – bombeiam a energia para o sistema. Podem ser um ou mais painéis, dimensionados de acordo com a energia necessária. São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade.

Controladores de carga – Funcionam como “válvulas” para o sistema. Servem para evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho.

Inversores – São responsáveis por transformar os 12 V de corrente contínua das baterias em 110 ou 220 V de corrente alternada (AC), ou outra tensão desejada. No caso de sistemas conectados ao grid, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica.

Baterias – Armazenam a energia elétrica para que o sistema possa ser utilizado quando não há sol.

Enquanto um sistema isolado necessita de baterias e controladores de carga, sistemas conectados à rede funcionam somente com painéis e inversores, já que não necessitam de armazenamento de energia.

3. METODOLOGIAS

Neste capítulo apresenta-se a metodologia proposta para a criação do produto tecnológico, aplicada no desenvolvimento. Para tanto, inicialmente será explicada sobre o método utilizado como base o *Design Science Research*. O DSR foi aplicado para desenvolvimento do sensor e o ProDip para desenvolvimento do produto.

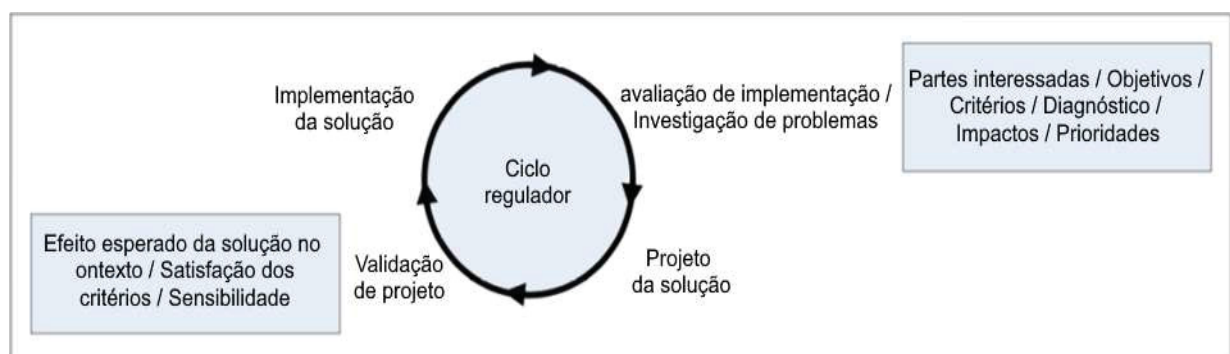
3.1. DESIGN SCIENCE RESEARCH

Conforme citado em MARCH, S.T. and STOREY, V.C. (2008), o *Design Science research* (DSR) é um paradigma de pesquisa que se concentra na solução de problemas. Que tem como objetivo criar e avaliar artefatos que são projetados para resolver problemas organizacionais identificados, possibilitando a transformação da “situação presente” para a “situação desejada”.

Já Van Aken (2004) e Romme (2003) citam que, dado seu foco na resolução de problemas, a DSR pode potencialmente reduzir a lacuna existente entre teoria e prática.

Na DSR, um problema prático é o responsável por guiar a pesquisa e a partir dele surgirão outros problemas práticos e questões sobre o conhecimento. Para Wieringa (2009), estes problemas e questões encadeiam um verdadeiro ciclo, que o autor chamou de “ciclo regulador” (Figura 12).

Figura 12. Ciclo Regulador.



Fonte: Wieringa (2009).

O ciclo se inicia com a investigação do problema, que é uma etapa considerada como uma questão acerca do conhecimento. Sua natureza teórica fica bastante evidenciada, pela busca de informação como um modo de entender o problema, sem ter ainda a capacidade de mudá-lo.

A etapa seguinte, desenvolvimento de solução, é caracterizada pelo enfrentamento de um problema prático. Em seguida, se tem a validação de projeto, que é uma etapa baseada na construção de conhecimento, onde o pesquisador analisa os potenciais resultados de uma implementação bem sucedida do projeto realizado.

O ciclo segue com a etapa de implementação, altamente prática e tem como última etapa a ser descrita: a avaliação de implementação, que também tem objetivo de gerar conhecimento científico sobre a pesquisa realizada.

A partir desse ciclo, Wieringa (2009) e Hevner et al. (2004) afirmam que a DSR pode ser descrita como o design e a validação de propostas de solução para problemas práticos. E para atingir os objetivos de pesquisa dessa natureza, é possível identificar algumas orientações.

Em suma, um resumo dessas orientações é detalhada resumidamente por Hevner et al. (2004) e exposta na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo do guia de Design Science Research.

Orientação	Descrição
Orientação 1: <i>Design</i> como um artefato	<i>Design Science Research</i> deve produzir um artefato viável em forma de uma construção, um modelo, um método ou uma instanciação.
Orientação 2: Relevância do problema	O objetivo da <i>Design Science Research</i> é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas importantes e relevantes para empresas e instituições.
Orientação 3: Avaliação do <i>design</i>	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato deve ser rigorosamente demonstrada através de métodos de avaliação bem executados.
Orientação 4: Contribuições da pesquisa	Uma DSR efetiva deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas do artefato de design, fundamentos de design e/ou metodologias de design.
Orientação 5: Rigor de pesquisa	<i>Design Science Research</i> é baseada na aplicação de métodos rigorosos tanto na construção como na avaliação do artefato de design.
Orientação 6: <i>Design</i> como processo de busca	A busca por um artefato efetivo requer a utilização de meios disponíveis para alcançar os objetivos desejados enquanto satisfaz leis no ambiente do problema.

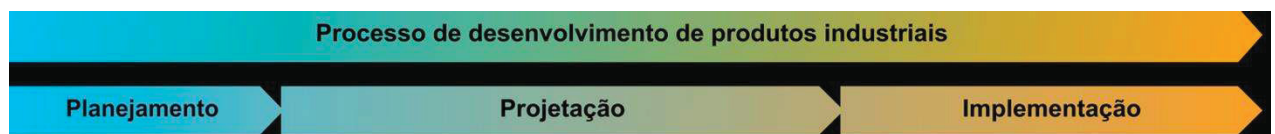
Orientação 7: Comunicação de pesquisa	Design Science Research deve ser apresentada efetivamente para públicos voltados para tecnologia e para públicos voltados para gestão.
---------------------------------------	--

Fonte: Hevner et al. (2004).

3.2. PRODIP – Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

O Modelo PRODIP foi desenvolvido, com base na experiência do NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) em projeto, construção e testes de protótipos de máquinas agrícolas. Considerou, ainda, a pesquisa de práticas em empresas do setor de máquinas agrícolas e o estudo de modelos propostos na literatura. A figura a seguir mostra a versão atual do modelo PRODIP, adaptada de Back et al., 2008, sendo as fases iniciais de planejamento e projeção.

Figura 13. Fases do ProDip.



Fonte: Back et al (2008)

Planejamento - O objetivo dessa fase é a definição de ideias de produtos a serem desenvolvidas. O processo de suporte prescrito é o de mapeamento tecnológico que conta com o apoio de métodos de criatividade para as seções de ideação.

Projeção - A busca de soluções conceituais para o problema é realizada nessa fase do processo. Caracteriza-se pela fase criativa onde alternativas são geradas e avaliadas técnica e economicamente, selecionadas as mais promissoras para o problema. O método empregado é o da síntese de funções. Essa fase estabelece a solução conceitual para o problema proposto.

Implementação - A preparação da produção é a fase do processo de implementação na qual se desenvolve o lote piloto. Elabora-se a documentação de montagem e de liberação de construção do ferramental; também ocorre a compra de

material, recebimento, teste, preparação de máquinas, dispositivos e ferramentas para a implementação da linha de produção. São testados os procedimentos de montagem para verificação de não conformidades, concluindo-se com a liberação do produto para o lote inicial. Nesta fase também acontece a validação que são monitorados no mercado e é feita uma avaliação junto aos usuários.

Segundo Back et al (2008) o modelo de referência PRODIP apresenta o processo de desenvolvimento do produto sob as seguintes dimensões: o processo é desdobrado em tarefas; definem-se as entradas para a execução das tarefas; são identificados os domínios de conhecimento para a realizar das tarefas; apresentam-se mecanismos (métodos e ferramentas) para a execução das tarefas e, finalmente, apresentam-se os resultados das tarefas com saídas.

Conceituadas as metodologias utilizadas, o autor criou um diagrama de tarefas conforme figura 14 que compreende as tarefas desenvolvidas na execução deste trabalho.

Figura 14. Diagrama de Tarefas



Fonte: Autor (2020), Adaptado de Back (2008).

4. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são descritos os passos embasados na metodologia proposta no capítulo anterior para o desenvolvimento do produto tecnológico.

4.1. PLANEJAMENTO PRODIP

No diagrama de tarefas (figura 14) no capítulo anterior, na fase de planejamento, o problema descrito está embasado no capítulo 1.4 desta dissertação. Foi feita uma pesquisa de mercado bem como revisão bibliográfica e não foi encontrado nenhuma solução específica para a proposta deste trabalho, neste sentido o produto é inovador conforme conceito no capítulo 2.4. A terceira tarefa do planejamento é entender as condições e a estrutura existente a fim de mapear possibilidades tecnológicas, diante da situação atual na ferrovia que não possui energia nem mesmo arquitetura de rede em cada local a ser monitorado e que o melhor custo x benefício é a tecnologia baseada em indústria 4.0, mais precisamente o IoT (internet das Coisas), tudo isto alimentado por energia fotovoltaica cuja literatura pertinente está descrita no capítulo 2.7.4. A quarta tarefa foi mapear a necessidade junto ao cliente, chegando aos 8 indicadores que também podem ser chamados de TAG's (etiquetas) da seguinte forma: ponta de agulha, controlador de circuito, tensão da bateria, RSSI, Rele 1, Rele 2, Corrente Rele e Corrente de Rele 2. Este trabalho foca nos dois primeiros indicadores que são relevantes no sentido de inovação tecnológica.

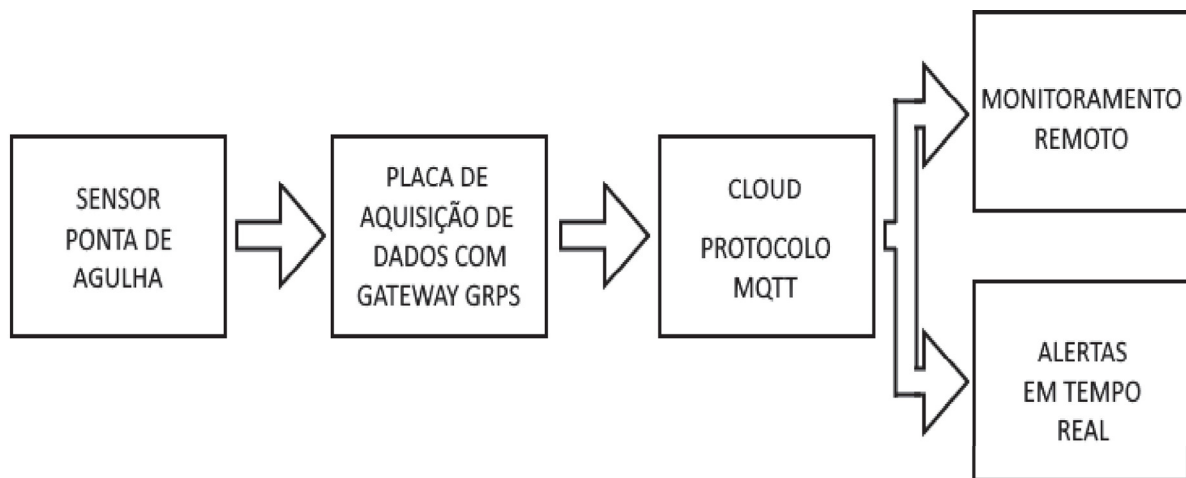
4.2. PROJETAÇÃO PRODIP

O foco da dissertação é sensorizar a AMV para digitalizar um dado inexistente até então, para ter como resultado desta digitalização um indicador coletado por um sensor, sobre o qual não localizamos nenhuma informação em buscas nas plataformas SCOPUS, GOOGLE ACADÊMICO.

4.2.2 Esboço de Monitoramento

Boslooper e Schultz (2021) desenvolveram um esboço de um formato macro de monitoramento remoto, que está sendo apresentado na Figura 16. A ideia é adaptável para esta aplicação nesta presente dissertação, bem como qualquer outra aplicação. Os alertas (indicadores) são definidos conforme o desejo do cliente, porém a tabela verdade é inegociável.

Figura 16. Esboço da Arquitetura Tecnológica do Monitoramento Remoto



Fonte: Boslooper e Schultz (2021).

4.2.3 Produto Tecnológico

O autor desenvolve um produto tecnológico agregando as tecnologias e suas particularidades através da figura 17 abaixo, onde os itens em cinza representam os equipamentos já existentes, todos analógicos e mecânicos que plotam no sinaleiro ferroviário a direção do trem e os retângulos laranjas que representam os novos equipamentos integrados aos iniciais e que formam um conjunto cujo objetivo é a digitalização destes dados assim como a verificação de conformidade dos equipamentos mecânicos.

Figura 17. Esboço da Arquitetura Tecnológica do Monitoramento Remoto



Fonte: O autor

4.3. IMPLEMENTAÇÃO

Esta é a terceira fase da metodologia ProDip do projeto MPA que compreende três sub-fases sendo o desenvolvimento do software (item 4.3.1) e a integração de hardware e software (item 4.3.2), sendo que a terceira sub-fase chamada de testes deveria seguir a lógica do nosso desenvolvimento, porém, separamos nos capítulos posteriores que são viabilidade financeira e equipamentos instalados uma vez que o cliente aprovou o sistema devido a urgência na necessidade de atuar no aumento de segurança ferroviária.

4.3.1 Desenvolvimento de Software

Tabela verdade é uma lógica matemática usada para determinar se uma fórmula é verdadeira, através da análise de cada uma das variáveis. Utilizando-se de

Algebra de Boole, mencionada por SANTOS 2016 “Devido ao fato das variáveis de entrada ou em análise serem finitas, o número de condições possíveis que uma função Booleana irá assumir também será finita, assim pode-se construir a tabela verdade que expressa as possíveis saídas frente às possíveis entradas (0 ou 1) diante da condição exposta ou característica lógica da operação algébrica existente”, desta forma Tocci, Widmer e MOSS (2011, p. 49), afirma que “pode-se dizer que a álgebra booleana é uma ferramenta matemática, assim como as tabelas verdades são de organização de dados.” Desta maneira, pode-se definir a resposta de saída para o motorista, através de uma análise dos resultados de todos os dados de entrada de acordo com critérios pré estabelecidos.

Nesta dissertação a indicação é saber se a ponta de agulha está ou não encostada (*on / off*) e fazer comparação com outro sinal *on / off* já existente que comanda o sinal mecanicamente.

Definiu-se que se os resultados recebidos sejam V V V, a resposta será VERDADEIRO (pode-se definir que caso a análise final seja VERDADEIRO, um sinal luminoso irá reportar como VERDE), e para caso a resposta final seja diferente de V V V (no caso uma ou mais variáveis geraram uma resposta de FALSO), pode-se definir que o sinal luminoso reporte como VERMELHO.

Essa tabela foi definida junto ao cliente para que possa definir parâmetros dos dois principais indicadores citados no mapeamento desses que são ponta de agulha e controlador de circuito. Esta tabela define o funcionamento local e nela contem o principal indicador para que não aconteça um descarrilamento. O desenvolvimento do software bem como o fornecimento da placa I/O foi terceirizado conforme já mencionado no mapeamento da tecnologia e registrado no capítulo 2 deste trabalho.

A Tabela 4 demonstra as informações inseridas no software.

Tabela 4. Tabela verdade

Sensor Controle Circuito	Sensor Agulha Vedada	Saida Sinal Principal / Desviada (AM/VD) / (VM)	
		DIGOUT #1	DIGOUT #2
DIGINP Canal #1	DIGINP Canal #4		
CLOSED	OPEN	OFF	OFF
CLOSED	CLOSED	ON	ON
OPEN	X	OFF	OFF

Fonte: O Autor (2021)

4.3.2 Integrar Software e Hardware

Originalmente, em um conjunto de AMV sinalizada com chave de mola, não há processamento de informação, nem mesmo qualquer automação. O processo de acionamento do controlador de circuito, posicionado do lado direito da Figura 18, é mecânico.

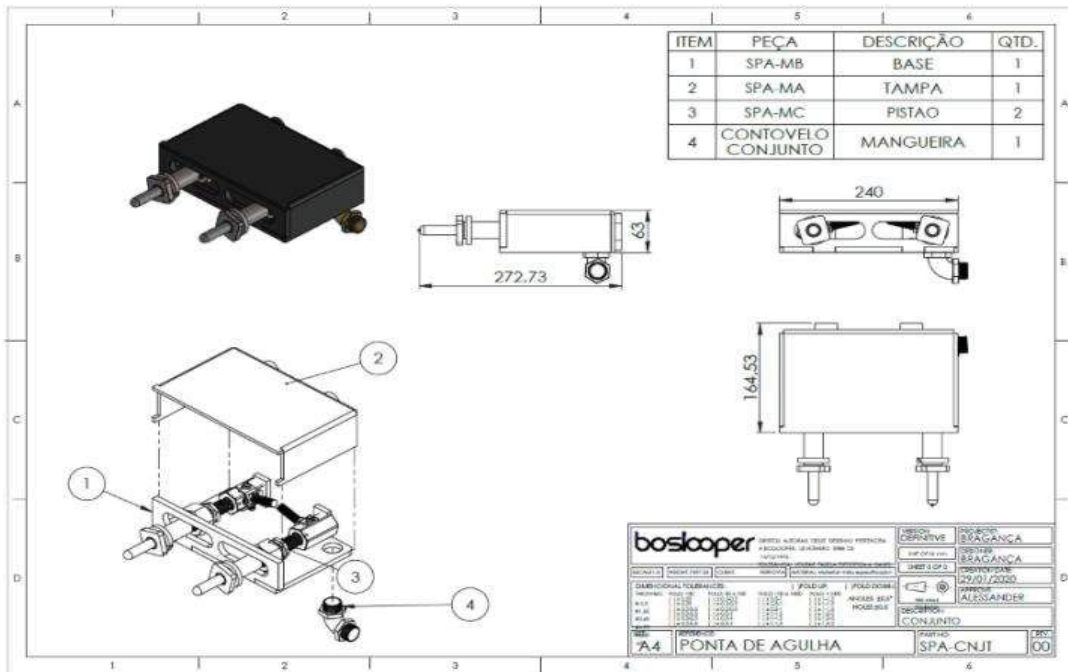
Figura 18. Aparelho de Mudança de Via



Fonte: Autor (2021).

O objetivo principal é criar um produto para digitalizar e confirmar o posicionamento da ponta de agulha, aumentando um nível de segurança. Após a criação deste sensor, com uma placa IO (*input & output*) customizada por uma empresa terceirizada, a etapa seguinte era fixar o mesmo na ponta de agulha e protegê-lo. Ainda com a ideia fixa de aumentar a condição de segurança e de proteger o equipamento de um eventual vandalismo, foi sugerido a inserção de dois sensores para cada lado, tornando o sistema redundante; desta forma, a fixação ficou definida conforme apresentada na Figura 19.

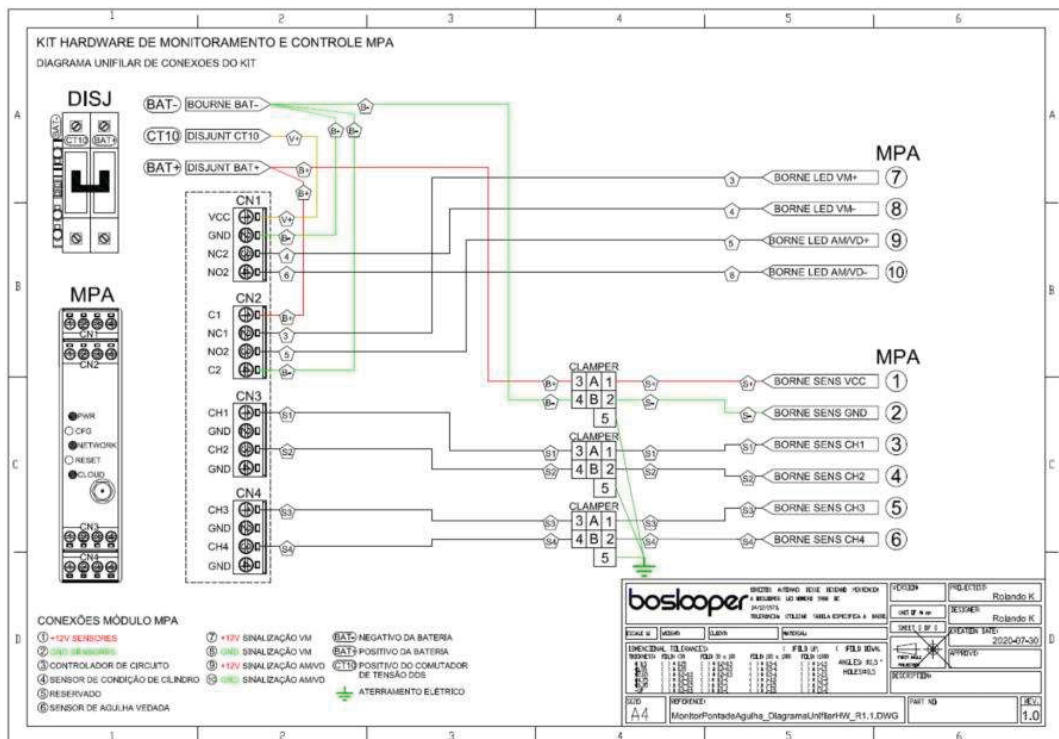
Figura 19. Fixação do Sensor



Fonte. Autor (2021).

A Placa de Aquisição de dados foi customizada através de um software que considera a tabela verdade (Tabela 4); desta forma, considera-se que as entradas e saídas devem trabalhar conforme diagrama elétrico técnico apresentado na Figura 20.

Figura 20. Esquema do Kit Hardware de Monitoramento e Controle MPA



Fonte. O Autor (2022)

Na Figura 21 é possível visualizar o Kit Hardware de Monitoramento e Controle (Kit MPA).

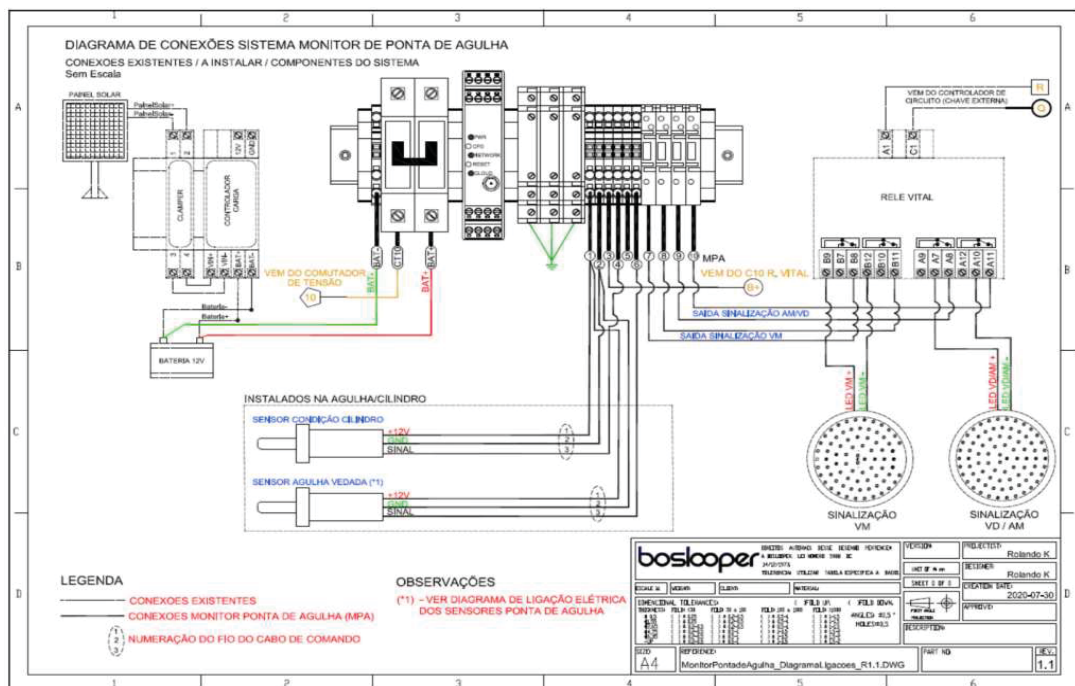
Figura 21. Kit Hardware de Monitoramento e Controle (Kit MPA)



Fonte. O Autor (2022)

Através dos conceitos de DSR aplicados, foi criado o sensor de ponta de agulha, que unido a arquitetura tecnológica nos conceitos de monitoramento e IoT, foi desenvolvido o diagrama elétrico da solução, apresentado na Figura 22. Este sistema integra todos equipamentos físicos: semáforos de led, relês, controlador de circuito, sensor de ponta de agulha, bateria e placa de aquisição de dados da seguinte forma.

Figura 22. Diagrama de Conexões Sistema Monitor de ponta de Agulha



Fonte. O Autor (2022)

Desenvolvidas as etapas de criação, um equipamento foi confeccionado e instalado em campo para a realização de testes, conforme as Figuras 23 e 24.

Figura 23. Vista Geral do Sistema MPA instalado



Fonte. O Autor (2022)

Figura 24. Sensores de Ponta de Agulha



Fonte. O Autor (2022)

4.3.2.1 Aprendizados da Integração

Como no começo de qualquer novo projeto, aconteceram alguns problemas técnicos, que foram superados com as devidas correções técnicas, apresentadas a seguir:

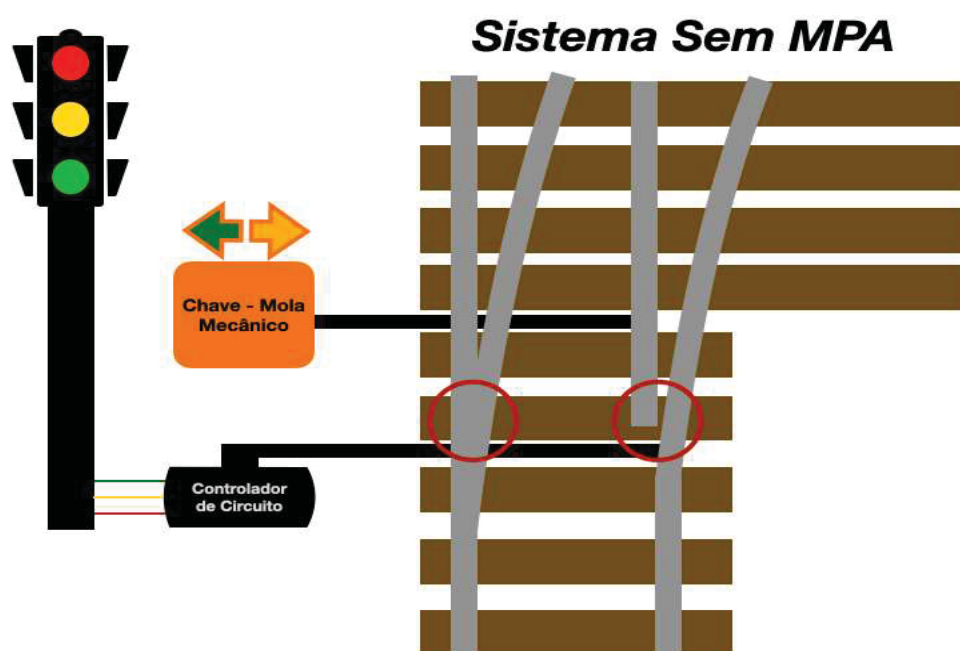
- Torque de Aperto do Conjunto de Sensores: O torque recomendado é de 200Nm a 250 Nm, pois acima disto compromete a parede do sensor bem como a mola interna;
- Teste de Esforço / Fadiga do Pistão: Segundo o teste da LACTEC de 1×10^6 , não houve desgaste do considerável do sensor, havendo possibilidade de utilização em sua operação normal superior a 10 anos de uso.

4.3.2.2 Comparativo Sistema Sem Integração X Com Integração.

Os desenhos a seguir mostram resumidamente o sistema integrado de forma global com o estado da arte sem a proposta da dissertação e depois com a proposta do sistema já integrado.

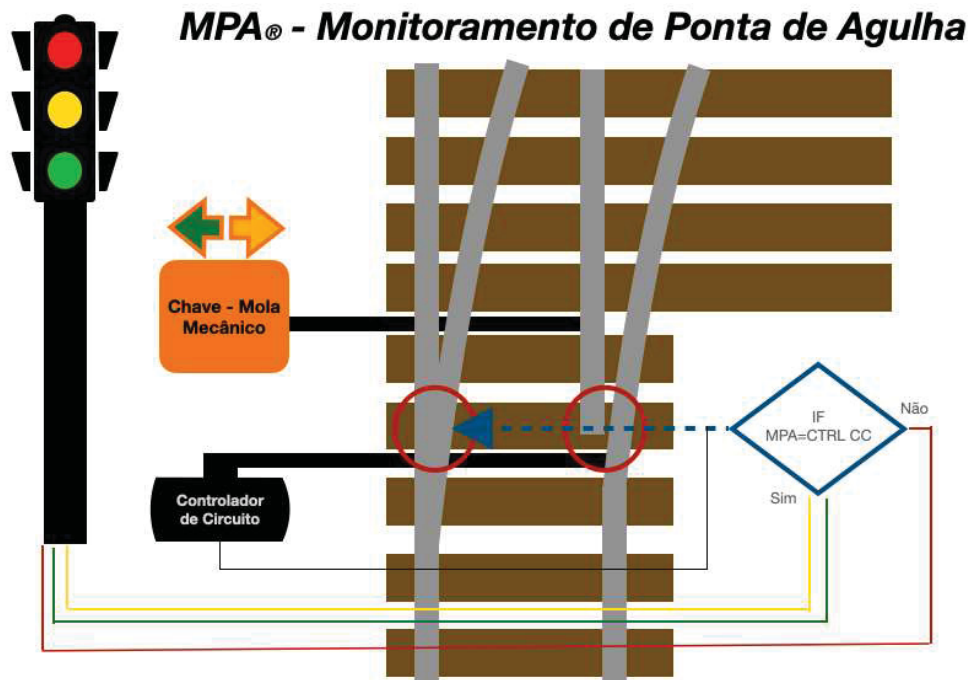
Sem MPA (Figura 25): Manutenção Visual, ou seja, por observação humana, Risco de Vandalismo, Segurança mecânica, Sem lógica de Processamento, Sem Monitoramento Remoto.

Figura 25. Sistema sem MPA



Com MPA (Figura 26): Digitalização e sensorização ativa, monitoramento supervisionado, geração de log's e pré-diagnóstico de alerta, sistema anti-vandalismo, segurança com nível de processamento lógico.

Figura 26. Sistema com MPA



Fonte. O Autor (2022)

O trabalho foi desenvolvido principalmente na customização do sensor onde foi utilizado a metodologia DSR. O software utilizou a tabela verdade para validação da conformidade dos componentes ponta de agulha x controlador de circuito, ou seja, algo especificado pelo cliente para isso, especialmente quando se integra tecnologia com segurança de equipamento. Sempre se salienta que deve haver uma preocupação no processamento lógico da informação a ser entregue, desta forma se justifica a customização de um software próprio para a aplicação neste estudo de caso.

5. APRESENTAÇÃO DE PROJETO

Neste capítulo serão tratadas informações que comprovam a viabilidade financeira do produto criado, lista de equipamentos instalados, contribuição para trabalhos futuros e resultados obtidos.

5.1. VIABILIDADE FINANCEIRA

Com o aumento de circulação de trens na via permanente, qualquer sinal apagado gera um aumento de transit-time consolidado em um custo, que embora não explicitada por questões de confidencialidade, certamente viabiliza todo projeto num retorno de investimento a curto prazo.

Com um acidente ferroviário isso se potencializa, pois, além de atrasos, carga perdida, danos nos ativos como locomotiva, vagões e via permanente, bem como prejuízos com a comunidade e ambiental, e sobre tudo a de vidas humanas, no caso de trens de passageiros ou ainda maquinistas e trabalhadores ferroviários. Segundo um dos patrocinadores do projeto que foi a empresa Rumo Logística de 2018 até a implantação piloto deste projeto existiram 3 (três) acidentes, cujo custo de apenas um acidente paga todo projeto.

Na tabela 5 foram tabulados dados de custos com descarrilamento no período de janeiro a maio de 2016 somente no território dos Estados Unidos, dados estes retirados do site da FRA (Federal Railroad Administration) organismo regulador do governo dos Estados Unidos para o setor Ferroviário, que atualiza periodicamente diferentes sumários dos acidentes / incidentes reportados pelas ferrovias norte-americanas. Outro detalhe a se considerar é que a FRA considera somente custos diretos, desconsiderando aspectos como a receita cessante, avaria de carga, limpeza de destroços após a liberação da linha e outros.

Tabela 5 – Quantidade de descarrilamentos e custos diretos no período de janeiro a maio de 2016

Número de descarrilamentos	430
Custo direto (US\$) por evento	US\$ 135.116,28
Custo total do período	US\$ 58.100.000,40

FONTE – Site da FRA Safety Data: <https://safetydata.fra.dot.gov/OfficeofSafety/Default.aspx>

5.2. EQUIPAMENTOS INSTALADOS

Nesta seção são apresentadas informações acerca dos equipamentos instalados bem como a consolidação dos testes propostos.

5.2.1 Locais de Instalação

Na Tabela 6, estão listados todos equipamentos que foram instalados e estão em funcionamento, estando listados na coluna DESCRIÇÃO PORTAL o local onde estão instalados e como são identificados em nossa plataforma supervisória, na segunda coluna MAC PLACA é a identificação MAC (Media Access Control ou Controle de Acesso de Mídia), o endereço físico da placa dentro de nossa rede.

Tabela 6 – Relação dos pontos em teste

DESCRIÇÃO PORTAL	MAC PLACA	DESCRIÇÃO PORTAL	MAC PLACA
MPA ZVI Norte	98F4AB207F7C	MPA ZGI Sul	4C11AEE8A72C
(São José do Rio Preto)	807D3A0FE70D	MPA ZHO Norte	98F4AB206D60
(Sebastianópolis)	807D3A0FF5F1	MPA ZHO Sul	98F4AB206060
(Prado Velho)	AC67B2753524	MPA ZIQ Sul	4C11AEE8A784
MPA Valentim Gentil	98F4AB211F50	MPA ZMA Norte	98F4AB221390
MPA Prado Velho	98F4AB2225D8	MPA ZMO Norte	98F4AB20C53C
MPA ZAC Norte	98F4AB227030	MPA ZMO Sul	98F4AB235B04
MPA ZBM Norte	807D3A0FC3C1	MPA ZPN Norte	4C11AEE8A76C
MPA ZCT Sul	4C11AEE8A77C	MPA ZSD Sul	98F4AB205FF4
MPA ZCV Norte	98F4AB211780	MPA ZST Sul	807D3A0FE8ED
MPA ZCV Sul	4C11AEE89C60	MPA ZSU Norte	AC67B2755DEC
MPA ZCZ Sul	807D3A0FEAD1	MPA ZSU Sul	AC67B27542C0
MPA ZDZ Norte	807D3A0FBF61	MPA ZUC Sul	98F4AB206ADC
MPA ZEC Norte	4C11AEE8C848	MPA ZVI Sul	98F4AB22A724
MPA ZED Norte	807D3A0FD355	MPA ZVU Norte	4C11AEE89730
MPA ZED Sul	AC67B275487C	MPA ZXH Sul	4C11AEE89768
MPA ZFR Norte	807D3A0FE9B1	MPA ZYU Norte	98F4AB24FFA8
MPA ZFR Sul	98F4AB207BAC	MPA ZZM Norte	4C11AEE8A728
MPA ZFY Sul	807D3A0FE029		

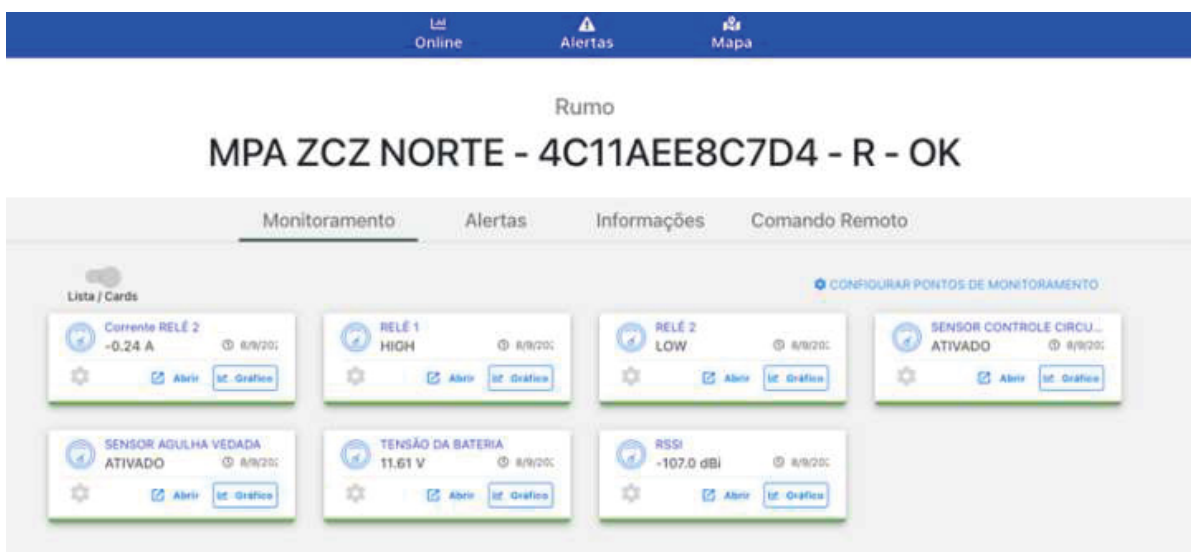
Na figura 27, está uma tela de exemplo da plataforma, onde constam o status supervisionados e logo abaixo na figura 28 é um exemplo da outra tela onde contam os indicadores dos sensores de cada equipamento.

Figura 27. Tela gerada pela plataforma supervisória com os status do ponto



Fonte. O Autor (2022)

Figura 28. Tela gerada pela plataforma supervisória com as TAGS do ponto



Fonte. O Autor (2022)

6. APRESENTAÇÃO DE PROJETO

6.1. TRABALHOS FUTUROS

A metodologia proposta nesta dissertação e a consolidação do produto tecnológico direciona a possibilidade de outros equipamentos ainda não digitalizados, ou melhor não monitorados remotamente. Na mesma linha de pensamento as tecnologias aqui exemplificadas como o IoT, juntaram-se à energia fotovoltaica e tecnologia de internet móvel, criando novas possibilidades para equipamentos cuja banda larga e energia são restritas. Academicamente, o presente trabalho contribui como uma obra de referência para o setor ferroviário ainda com poucas ocorrências das palavras chaves indicadas no trabalho. Por fim, o produto aqui descrito permite melhorias de versão no âmbito do sensor eletromecânico que pode ser melhorado continuamente.

6.2. RESULTADOS

O objetivo principal foi atendido de acordo com a demanda. Ou seja, existia um equipamento totalmente analógico, sem sensorização e com nível de segurança apenas mecânico. Com este trabalho, pode-se concluir que, além de monitorado, o nível de segurança ferroviário aumentou em todos os pontos instalados.

Outros requisitos foram devidamente atendidos nos pontos instalados citados nos capítulos anteriores, que é o monitoramento das variáveis descritas na Tabela 7, cujos resultados de análise serão apresentados posteriormente na defesa desta qualificação.

Tabela 7. TAGs geradas e resultados recebidos

TAG	RESULTADOS RECEBIDOS	
Ponta de Agulha Selada	Ativo	Inativo
Controlador de Circuito	Ativo	Inativo
Tensão da Bateria	Variável Analógica	
RSSI	Sinal Analógico	
Rele 1	Acionado	Desacionado
Rele 2	Acionado	Desacionado
Corrente Rele 1	Variável Analógica	
Corrente Rele 2	Variável Analógica	

Fonte: O autor

Segundo a Rumo Logística entre 2017 e 2020 houve dois acidentes graves em chave de mola com grandes prejuízos, além de uma média mensal de 7 chamados por mês, totalizando 336 chamados de problemas de conformidade nestes cruzamento.

Desde a primeira instalação dia 01/09/2021 até março de 2023, não houve nenhum acidente e nenhum incidente ferroviário ou descarrilamento em AMV, onde foram instalados o projeto MPA - Monitoramento de Ponta de Agulha.

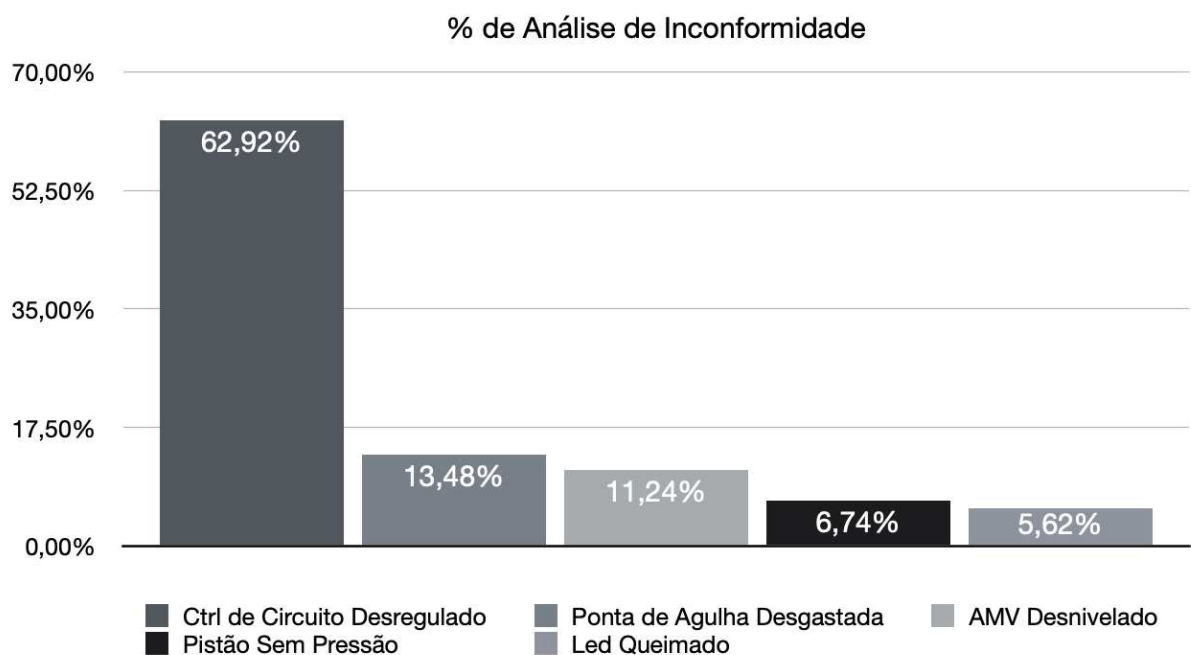
Através do monitoramento remoto do sistema e dados retirados do portal (<https://portal.tudoremoto.com/>) onde são armazenados os dados enviados dos 37 pontos dos sensores instalados, no período de 01/09/2021 até 31/03/2023 foram extratificadas as seguintes informações:

- Redução de 33% em número de alertas, que abaixou de 7 para 4,69 alertas mês. Totalizou 89 alertas após o início de projeto contra 336 nos anos anteriores.

- Foram gerados 89 alertas de não conformidade, ou seja, 89 vezes encontrado a ponta da agulha desencostada, assim podendo efetivamente ocorrer um incidente ou acidente ferroviário.

Destes 89 alertas, geramos algumas análises de conclusão conforme gráfico abaixo:

Gráfico 2. Análise dos resultados dos equipamentos



TOTAL DE INCONFORMIDADES

Total de Alertas
89

Resultados

	% de Alertas	Qtde de Alertas
Ctrl de Circuito Desregulado	62,92%	56
Ponta de Agulha Desgastada	13,48%	12
AMV Desnivelado	11,24%	10
Pistão Sem Pressão	6,74%	6
Led Queimado	5,62%	5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTF 2019. **Índice de Acidentes Ferroviários de 2006 a 2019**. Disponível em: <https://dados.antt.gov.br/dataset/relatorio-de-acompanhamento-de-acidentes-ferroviarios-raaf/resource/3fe01e4d-6114-4053-8960-216614e0ebd2?inner_span=True>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2022.

Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2020). **Resolução 5.902**, de 21/07/2020.

Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT. **Ferrovias**. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias>.

BACK N, OGLIARI A, DIAS A, SILVA J C da. **Projeto Integrado de Produtos – Planejamento, Concepção e Modelagem**. Editora Manole Ltda, 2008.

BBC News - 2020. Escócia. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/av/uk-scotland-53766686>

BORGES, Luiz Eduardo. **Python para desenvolvedores: aborda Python 3.3**. Novatec Editora, 2014.

BOSLOOPER A., Shultz A., (2021) **Tecnologias de Indústria 4.0 Aplicadas em Segurança Ferroviária - Projeto DVG - Detector de Violação de Gabarito**. Monografia de Pós-Graduação em Indústria 4.0 UFPR.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. **How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective**. International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

CANADIAN PACIFIC RAILWAY, **Railway Investigation Report R13C0087 – Main-track derailment**. Calgary, Alberta, 2013. Disponível em: <http://www.bsttsb.gc.ca/eng/rapports-reports/rail/2013/r13c0087/r13c0087.asp>.

CASTELO BRANCO, J.E.S. e FERREIRA, R, **Tratado de Estradas de Ferro” Prevenção e Investigação de Descarrilamento Vol. II**. Rio de Janeiro. Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, 2002.

Chehri, A., Zimmermann, A., Schmidt, R., & Masuda, Y. (2021). **Theory and practice of implementing a successful enterprise IoT strategy in the industry 4.0 era**. Procedia computer science, 192, 4609-4618.

D. MISTRY, P MODI, K. DEOKULE, A. PATEL, H. PATKI and O. ABUZAGHLEH, **"Network traffic measurement and analysis," 2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/LISAT.2016.7494141.**

DA SILVA, Elcio Brito et al. **Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil**. Brasport, 2018.

EGON Walter Wildauer Prof. Dr., CESTARI Prof. Dr. José Marcelo Almeida Prado – **Industria 4.0 – Internet das coisas** – XXVI Congresso Brasileiro de Custos (2019)

EVANS, Dave. **The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything**. CISCO white paper, v. 1, n. 2011, p. 1- 11, 2011.

FRA (Federal Railroad Administration) Safety Data. Available at: <<https://safetydata.fra.dot.gov/OfficeofSafety/Default.aspx>>

GALETIĆ, V. et al. **Basic principles of Machine-to-Machine communication and its impact on telecommunications industry**. In: MIPRO, 2011 Proceedings of the 34th International convention. IEEE, 2011. p. 380-385.

GE (2015) **Industrial Internet Insights Report** for 2015. [online] Available at: <https://www.ge.com/digital/sites/default/files/industrial-internet-insights-report.pdf>

HEVNER, A.R., MARCH, S.T., PARK, J. and RAM, S. (2004). “**Design science in information systems research**,” MIS Quarterly, 28(1), pp.75-105.

HEWITT EQUIPAMENTOS LTDA. 2017. Disponível em: http://www.hewittequipamentos.com.br/OLD_2010-03/produtos/prod01_01.php

HONG, W. **Aplicação do método de análise de risco ao estudo do descarrilamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2011

IEEE **2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)** took place 7-9 September 2016 in Bologna, Italy. (2016). ISBN: 978-1-5090-1131-5.

ITU-T Y.4000/Y.2060, **Overview of the Internet of things**, 2012. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-l>>. Acessado em: agosto de 2018.

KANS, Mirka; GALAR, Diego; THADURI, Adithya. Maintenance 4.0 in railway transportation industry. In: **Proceedings of the 10th world congress on engineering asset management (WCEAM 2015)**. Springer, Cham, 2016. p. 317-331.

MAGALHÃES, P.C.B. (1991). **A Origem dos Impactos Anormais em AMV's Padrão AREA**. Anais do III ENTRI – ABNT, Ouro Branco, Minas Ferais, Brasil.

MALTEZ, C.R.B. **Aparelhos de Mudança de Via** in CASTELO BRANCO, J.E.S. e FERREIRA, R, **Tratado de Estradas de Ferro” Prevenção e Investigação de Descarrilamento Vol. II**. Rio de Janeiro. Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, 2002.

MARCH, S.T. and STOREY, V.C. (2008). “**Design science in the information systems discipline: An introduction to the special issue on design science research**,” MIS Quarterly, 32(4), pp.725-730.

MARQUES, F. P. G., WESTON, P. and ROBERTS, C. (2008) "**Failure Analysis and diagnostics for railway trackside equipment**".

MÁXIMO, R.M. & LORENCETTE, D.G. **Análise de Acidentes ferroviários no trecho Cariacica (ES) - Conselheiro Pena (MG) da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM)**. Trabalho de Conclusão de curso - Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico Colegiado de Engenharia Civil, Espírito Santo/ES 2006.

MRS 2016, Iago Figueiredo de Almeida, Luiz Antônio Silveira Lopes, João Bosco de Lima. **Desenvolvimento de Uma Base de Dados Georreferenciada Para Análise e Prevenção de Descarrilamentos**, 23ª Semana de Tecnologia Metro ferroviária, 2017.

NABAIS, R.J.S. **Manual Básico de Engenharia Ferroviária**. São Paulo – SP. Oficina de Textos, 2014.

NOVUS, Artigo: **Modelo Cliente-Servidor do Modbus TCP e Publish-Subscribe do MQTT: quando utilizar cada um deles e quais suas vantagens e desvantagens?**. Disponível em: https://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=053663&SecaoID=0&SubsecaoID=0&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=618088&idioma=55. Acesso em 30 set 2019.

OLIVEIRA, F. T. de; SIMÕES, W. L. **A Indústria 4.0 e a produção no contexto dos Estudantes de Engenharia**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2017. Goiás. Anais eletrônicos. Goiás, 2017. Disponível em: <https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Fernanda_Tha%C3%ADs_de_Oliveira.pdf>.

OXFORD **Dictionaries**. Disponível em <https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet_of_things>: Acesso em: setembro de 2018.

PAIVA, C.E.L. **Super e infraestruturas ferroviárias**: Critérios para projetos. 1ª ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2016.

PIERIEGUD J, (Department of Transport SGH Warsaw School of Economics) em cooperação com a Siemens Sp. z o.o. – Mobility Division Pro Kolej. **Digital Transformation of Railways**. ISBN 978-83-950826-0-3, página 29, 2018

QUINGERSKI, Leandro et al. **KE-IoT: Uma proposta de modelo baseado em conhecimento para ambientes de internet das coisas (IoT)**. 2019.

RAIL INDUSTRY SAFETY AND STANDARDS BOARD - **National Rail Turnouts Workshop**, Sydney. 2015. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/ppt-download/0910-graemetempler-rissbsydneyfailuresatturnoutsgjt16-4-1512-150528004814-lva1-app6892.pdf?response-content133disposition=attachment&Signature=3PU9IvkHO7Hg4KLZe8H8%2BY4gPrk%3D&Expires=1497021118&AWSAccessKeyId=AKIAJ6D6SEMXSASXHDAQ>

Resolução N° 5.902. **Estabelece procedimentos para comunicação pelas concessionárias e subconcessionárias da ocorrência de acidentes ferroviários e**

de interrupções temporárias de tráfego em infraestrutura ferroviária federal concedida. Brasília, 21 de Julho de 2020.

RIEG, D. L; ALVES FILHO, A. G. **Esforço tecnológico e desempenho inovador das empresas do setor médico-hospitalar localizadas em São Carlos, SP.** Revista Gestão & Produção, 2003, v.10, n.3, p.293-310.

ROMME, A.G.L. (2003). "**Making a difference: Organization as design,**" Organization Science, 14(5), pp.558-573.

ROSE, Karen; ELDRIDGE, Scott; CHAPIN, Lyman. **The internet of things: An overview. The internet society (ISOC),** v. 80, p. 1-50, 2015.

SANTOS, S. **Transporte Ferroviário.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

SANTOS, Vilton Ricardo et al. **A álgebra booleana presente nos circuitos lógicos.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 3, n. 3, p. 63-63, 2016.

SCHERER, Lara Almeida et al. **Fonte Alternativa de Energia: energia solar. XX Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão.** Universidade de Cruz Alta/RS, 2015.

SCHINDLER, Helen Rebecca et al. **Europe's policy options for a dynamic and trustworthy development of the Internet of Things.** 2013

SCHWAB K. **A Quarta Revolução Industrial.** 1ª edição. São Paulo/SP. Edipro. 2016

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo.** Citisystems. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 10 jun. 2018

SONI, D., & MAKWANA, A. (2017, April). **A survey on mqtt: a protocol of internet of things (iot).** In International conference on telecommunication, power analysis and computing techniques (ICTPACT-2017) (Vol. 20, pp. 173-177).

STEFFLER, F. **Via Permanente Aplicada: Guia Teórico e Prático** Rio de Janeiro – Brasil: LTC 2013.

SUNDMAEKER, Harald et al. **Vision and challenges for realising the Internet of Things. Cluster of European research projects on the internet of things,** European Commission, v. 3, n. 3, p. 34-36, 2010.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações.** 11.ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2011.

VAN AKEN, J.E. (2004). "**Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field - Tested and grounded technological rules,**" Journal of Management Studies, 41(2), pp.219-246.

Valenzuela W., Valenzuela, V. Coelho, V. Santos I., Pereira, L. Almeida T., Dinardi P., (2021) **Uma abordagem teórica e prática em um protocolo para IoT**, Brazilian Journal of Development, ISSN:2525-8761 (2021)

VIDON, W., Magalhães, P., Daniel, V. Sonja, L. (2017). **Determinação da Causa do Descarrilamento de Trens e Prevenção. Apostila do Curso de Capacitação de Investigadores Plenos**, concebido e ministrado pela empresa Technicontrol para várias ferrovias brasileiras, Belo Horizonte, Brasil.

WIERINGA, R. **Design science as nested problem solving**, Proceedings of the 4th int. conf. on design science research in information systems and technology, ACM, p.8, 2009.