

Indústria 4.0 na Redução de Filas de Trens para Carregamento de Minério de Ferro

Lucas Luz da Costa Vieira* Rone Ilídio da Silva**

*DTECH, Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João Del-Rei, Rod. 443, Km 7, Ouro Branco-MG
(Tel: (31) 3749-7300; e-mails: *lucasluzvieira2@gmail.com , **rone@ufsj.edu.br).*

Abstract: One of the biggest challenges of railway logistic companies is to predict load time and, consequently, to reduce the time spent in queues. We call the attention for the impact caused by these queues, such as fuel consumption, trains indisponibility and staff spending. This work describes a system to track trains during their loading of iron ore. The proposed system generates better load time and reduces the queues of empty trains. The system is composed of lasers and light sensors to count trains, a Mesh network to transmit data from places where there is no Internet access, microcontrollers to process data and a website to present real time collected data.

Resumo: Um dos maiores desafios atuais para empresas ferroviárias de logística é ter previsão do tempo de carga e a consequente redução da geração de filas. Dentre os impactos causados podemos destacar o consumo de combustível, a indisponibilidade da composição e gastos homem/hora. Este trabalho descreve um sistema para realizar a rastreabilidade de trens durante o carregamento de minério de ferro. O sistema proposto tem o intuito de gerar melhor previsibilidade de término de carga, o que permite a redução de filas de trens vazios. O estudo prevê a utilização de sensores a laser, rede Mesh para comunicação em locais sem acesso à rede, microcontroladores para processamento e um site para acesso às informações online em tempo real via Internet.

Keywords: Sensors; Mesh Networks; Trains tracking; Xbee Radios; Industry 4.0; Railroad.

Palavras-chaves: Sensores; Redes Mesh; Monitoramento de Trens; Rádio Xbee; Indústria 4.0; Ferrovia.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com o avanço tecnológico, as indústrias têm sido constantemente provocadas a inovar, pois os clientes buscam baixo custo, qualidade dos produtos/serviços, agilidade, flexibilidade, modernidade e previsibilidade. Uma grande aliada para suprir essas necessidades tem sido a chamada Quarta Revolução Industrial, mais conhecida como Indústria 4.0. Essa revolução utiliza sensores, microcontroladores, motores, redes de dados, inteligência artificial e diversos outros recursos para automatizar e otimizar processos nas indústrias (Coelho, 2016).

Indústrias modernas possuem processos que estão sendo cada vez mais digitalizados. Todos os passos que ocorrem em uma linha de produção são sensoriados, os dados obtidos são registrados em bancos de dados e os resultados são apresentados aos usuários por meio de interfaces gráficas de fácil interpretação. Com isso, é gerado um maior controle dos processos, aprendendo com o passado para evitar impactos no futuro, tudo isso em tempo real (Coelho, 2016).

Este trabalho descreve um protótipo de um sistema para solucionar um problema crônico dos terminais de carga de minério, que é a falta de previsibilidade de término de carga. Na ferrovia, existem pátios reguladores que funcionam como

“garagens” para os trens. Nesses locais, os trens ficam aguardando as demandas dos terminais de carga de minério para serem carregados. Basicamente, a logística dos trens que serão carregados de minério de ferro funciona como uma linha de produção. Nos pátios reguladores temos composições padrão, formadas por 136 vagões e duas locomotivas. Essas composições ficam paradas aguardando para serem carregadas. Enquanto paradas nesses pátios, as composições não geram gastos. Porém, a partir do momento que saíram para carregamento, a empresa tem diversos gastos. Logo, o modelo ideal é que uma composição C2 chegue ao terminal perto do horário em que a composição C1 estiver terminando o carregamento, para não gerar filas e nem ociosidade para o terminal.

Nos terminais de carregamento de minério de ferro com silo, as composições passam por debaixo do silo e são carregadas dinamicamente, ou seja, são carregadas em movimento (velocidade média de carregamento de 1 Km/h). O sistema aqui proposto prevê a instalação de sensores ópticos em pontos estratégicos nesses terminais, para realizar a contagem de vagões durante o carregamento. A medida que os vagões passam pelos sensores é realizada a contagem da quantidade de vagões que já foram carregados. A contagem é armazenada em um banco de dados remoto. Um website lê tais informações e as exibe em tempo real para o usuário, o

qual é um tomador de decisão que dá a ordem para preparar e conduzir a próxima composição para o carregamento em um instante mais apropriado.

No sistema aqui proposto, foi utilizado o ESP8286 para controlar os sensores, processar as informações e enviá-las para um banco de dados na nuvem. Entretanto, a maioria dos terminais não é coberta por acesso a uma rede de computadores. Por isso, a esses sensores foram acoplados rádios do modelo Xbee (Ramos, 2012), de forma que um conjunto de rádios forma uma rede Mesh, por onde a informação da contagem é encaminhada até um microcontrolador central com acesso à Internet. Essas informações são então mostradas em tempo real por um site criado em PHP, JavaScript (AJAX) e HTML.

Foi criada uma maquete como caso de uso de implantação do sistema proposto. A partir da análise dos resultados deste caso de uso, verifica-se a robustez da proposta, uma vez que não foram detectadas falhas na leitura e exibição dos dados que informam a passagem de composições e da contagem de vagões. O sistema também mostrou um pequeno atraso na exibição dos resultados. Porém, tal atraso é desprezível em relação a todo o tempo necessário para deslocamento e carregamento das composições.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Para exemplificar o problema em questão, vamos tomar uma situação hipotética em que temos duas composições nos terminais de carga: uma denominada C1 (Composição 1) e outra denominada C2 (Composição 2). Tal cenário é exemplificado pelas Figuras de 1 a 3. Os seguintes passos ocorrem durante o carregamento:

1- C1 realiza o deslocamento do pátio regulador até o terminal de carga e inicia o carregamento. Nos pátios reguladores, as composições ficam estacionadas aguardando a demanda para entrarem no fluxo da produção. Essas composições são paradas nesses pátios, porque são monitoradas por câmeras de vigilância. Nessa situação as composições não geram nenhum custo para companhia, pois elas ficam desligadas e sem maquinista (Figura 1).

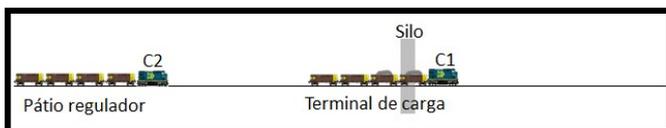


Figura 1: Composição C1 em carga e C2 no pátio regulador sem gerar custos.

2 - Se C2 é liberada muito antes da composição C1 terminar o carregamento, gera-se fila com a composição C2, o que é prejudicial para companhia, pois quando as composições ficam em filas, é necessário estar alocado um maquinista, a

composição deve estar ligada consumindo diesel e vários outros fatores que geram custo para a empresa (Figura 2).

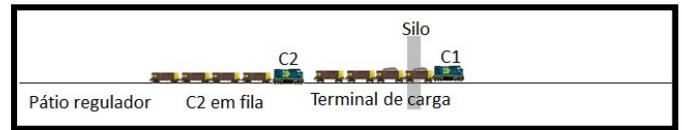


Figura 2: Composição C1 em carga e C2 em fila gerando custos.

3 – Porém se C2 não é liberada e a composição C1 termina o carregamento, deixa-se o terminal de carga ocioso, o que reduz a produtividade (Figura 3).

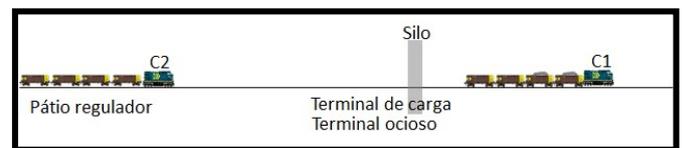


Figura 3: Composição C1 sai do terminal e C2 no pátio regulador, terminal ocioso.

Uma possibilidade para redução desse problema seria a utilização de rádios por funcionários em circulação pelo pátio. Também seria possível a criação de um aplicativo, em que o responsável pelo carregamento no terminal realizaria a entrada dos dados. Porém, tais métodos geram imprecisão no envio devido ao fato humano, o que gera incerteza para o tomador de decisão no momento da retirada ou não de um trem do pátio regulador.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar dos esforços, não foi encontrada nenhuma solução que realizasse a contagem dos vagões de forma autônoma e fosse capaz de enviar os dados de contagem a partir em uma área em que não há acesso à Internet. Abaixo vamos citar alguns trabalhos relacionados com Indústria 4.0 e a utilização de sensores para coletas de dados e tratamento dos mesmos.

Santos e Lopes (2017) descrevem um sistema para coleta e utilização de dados para auxiliar a manutenção de ativos e a operação ferroviária. Eles utilizam o conceito de Big Data para desenvolver um algoritmo que auxilia a tomada de decisão. O trabalho utiliza dados coletados por câmeras e sensores. Com tais dados, o sistema tenta encontrar o momento ótimo para se realizar a manutenção de diversos equipamentos, de forma que não seja necessária uma manutenção corretiva e que a manutenção preditiva não cause impacto na operação ferroviária.

Nunes (2019) propõem a utilização de inteligência artificial para identificar anomalias na via, gerando uma manutenção corretiva ou identificando o momento ótimo para intervenção de uma manutenção preditiva. Essa proposta é muito importante, pois a via permanente é um ativo crítico para manutenção ferroviária, o que diz respeito à manutenção dos trilhos por onde circulam os trens. Essa manutenção é crítica, porque sustenta diversos pilares da operação ferroviária como segurança, produtividade, confiabilidade. O trabalho visa, através de dados coletados por câmeras analíticas instaladas em veículos de via, verificar de forma autônoma a necessidade de intervenção da manutenção.

Guedes et al. (2020) propõe um sistema para prover rastreabilidade de todas as peças produzidas por uma indústria. Através de um robô com câmeras acopladas em suas garras, são realizadas inspeções nas peças. Os dados gerados no processo de inspeção são enviados para um banco de dados alocado na Internet. Esses dados, podem ser consultados posteriormente, através de computadores ou dispositivos móveis, fazendo a leitura do QRCode que é utilizado como identificador de cada produto.

Junior et al., (2020) propõem um sistema para controle de luminosidade, temperatura e presença. Tal sistema utiliza sensores de luminosidade, temperatura e presença controlados por microcontroladores (Arduíno). São utilizados rádios Xbee para transmissão dos dados coletados por cada sensor. Tais dados são recebidos por um atuador que, de acordo com parâmetros pré-definidos, liga ou desliga o ar condicionado, ajusta a intensidade ou apaga e acende uma luz.

Lima et al., (2019) descrevem a utilização do ESP8286, interligado a sensores de umidade e temperatura, para monitorar um ambiente em tempo real. Os dados coletados pelos sensores são enviados para Internet, para serem consultados por um usuário em um website, em tempo real. Além da consulta dos dados em tempo real, pela Internet, o microcontrolador está ligado a um atuador, que aciona o sistema de refrigeração de forma autônoma, caso necessário.

Martins e Fabro (2020) utilizam sensores para realizar medições em um motor de uma extrusora, com a finalidade de obter dados precisos para a intervenção de manutenção preditiva no momento adequado. Uma extrusora é um equipamento utilizado na indústria do plástico, para fabricação de produtos como perfis, tubos, monofilamentos, etc. O sistema é composto por sensores, interligados ao motor da extrusora, que medem vibração, temperatura e tempo em funcionamento. Os dados coletados pelos sensores são enviados para um smartphone via Bluetooth, que transmite posteriormente para Internet. Isso permite que o usuário tenha acesso aos dados para tomar a decisão da manutenção preditiva, no momento oportuno.

Lopes (2019) propõe a criação de um sistema que é constituído de sensores que realizam a rastreabilidade de grãos e envia os dados em tempo real para Internet. O sistema proposto possibilita que o usuário realize consultas para ajudar na tomada de decisão da logística e também para realizar o gerenciamento de estoques. O rastreamento dos grãos é

feito através de sensores que verificam a quantidade de produto nos locais de armazenamento. Esses sensores têm acesso à Internet e enviam os dados coletados para um banco de dados em tempo real. Isso possibilita fazer o gerenciamento de estoques, logística de compra e venda, entre diversos outros fatores, de forma ótima.

Pilar et al. (2019) descrevem a criação de um sistema que utiliza RFID e aplicativos para dispositivos móveis para fazer o gerenciamento de estoque de produtos utilizados na construção civil. As ferramentas utilizadas para digitalização dos dados são as etiquetas RFID e o registro de dados em smartphones. Isso possibilita o gerenciamento de todo o material em tempo real. Com esse sistema, é possível ter a tomada de decisão em tempo ótimo sobre a reposição ou não de determinado produto. Dessa forma, evita-se a probabilidade de se ter uma parada momentânea da construção por falta de material.

Cavalcanti et al. (2020) desenvolveram um trabalho para reduzir o consumo de água na irrigação. Foram utilizados sensores de umidade para o monitoramento do solo, de forma que o mesmo seja irrigado no momento correto. Evita-se, dessa forma, o desperdício de recursos, pois com o monitoramento do solo, a irrigação ocorre de forma precisa, no momento adequado.

4. O SISTEMA PROPOSTO

Conforme ilustrado na Figura 4, o sistema é constituído por Pontos de Verificação, Central de Coleta de Dados, banco de dados e Website. O ponto de verificação é formado por: dois lasers, dois sensores de luminosidade, um microcontrolador (Arduíno) e um rádio Xbee, para transmissão da informação. A Central de Coleta de Dados é constituída por rádio Xbee para receber as informações coletadas pelos Pontos de Verificação e um microcontrolador (ESP8286) conectado a uma rede WIFI para envio de dados para o banco de dados remoto. O banco de dados foi criado em MYSQL e é utilizado para armazenar as informações coletadas em cada Ponto de Verificação. Foi criado um Website que lê as informações deste banco e exibe na tela em tempo real. A seguir estão as descrições detalhadas dos itens citados.

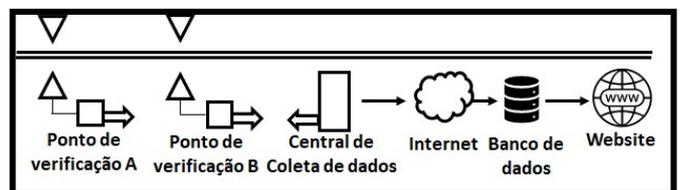


Figura 4: Arquitetura do sistema proposto.

4.1 Ponto de Verificação

O ponto de verificação corresponde ao equipamento criado para realizar a contagem de vagões em locais predefinidos dentro do terminal de carga. O Ponto de Verificação é constituído por dois lasers posicionados lado a lado, dois

sensores de luminosidade (cada um posicionado à frente de um laser), um microcontrolador (Arduino) e um rádio Xbee.

Os dois lasers foram utilizados para realizar o monitoramento da quantidade de vagões que passam pelos locais. Eles devem ser posicionados a uma distância de cerca de 4 metros um do outro, de forma que quando o engate de um vagão passar, somente um dos lasers será obstruído de cada vez. Sensores de luminosidade são posicionados do outro lado ferroviária, de modo que a luz emitida por um laser irradie a zona de recepção de um sensor. A Figura 5 ilustra a distância entre os lasers, a posição dos sensores e obstrução de apenas um deles quando o engate passa pelo Ponto de Verificação. O funcionamento desse tipo de sensor é binário. Ele sinaliza 1 quando o sensor recebe a luz do laser e 0 caso contrário. Dessa forma, a contagem de um vagão é realizada quando ambos sensores indicam 0 (o vagão obstrui os dois lasers) e ocorre a mudança para 0 e 1 (primeiro laser obstruído e o segundo livre).

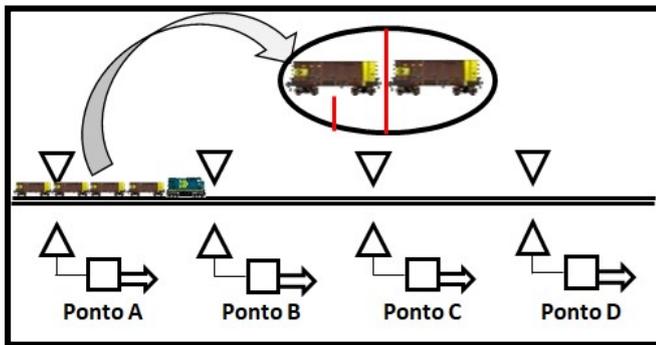


Fig. 5: Pontos de Verificação; contagem de mais um vagão.

Cada Ponto de Verificação possui, além dos lasers e sensores, um microcontrolador Arduino, responsável em receber a informação e processar a contagem. Entretanto, os microcontroladores foram configurados para enviar informações somente quando ocorresse mudança de estado. Ou seja, quando os dados coletados pelos sensores forem diferentes do último dado enviado. As informações transmitidas por esses microcontroladores locais são duas:

- 1) Ponto livre ou ocupado;
- 2) Em caso do ponto ocupado, a quantidade de vagões que passou por aquele ponto.

A Figura 6 exibe um esquemático da ligação entre esses três componentes, os sensores, os microcontroladores locais (Arduino) e rádios de transmissão de dados (Xbee).

O sistema aqui proposto teve, além do desafio de realizar a contagem dos vagões de forma autônoma e em tempo real, o desafio de transmitir os dados coletados pelos sensores que estão em áreas sem acesso à Internet. Para esse tipo de transmissão de dados, foi criada uma rede Mesh. Neste tipo de rede, um nó envia seus dados para outro nó, que os encaminha para outro, até alcançar o destino. No sistema proposto, cada nó é um Ponto de Verificação, de forma que rádios Xbee são utilizados para fazer esse encaminhamento de informações até um nó especial chamado Central de Coleta de Dados, a qual possui acesso à Internet.

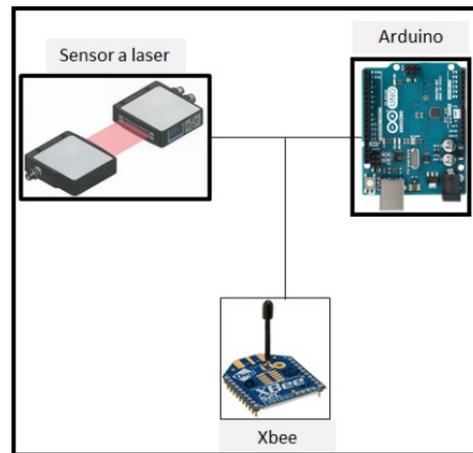


Figura 6: Componentes do ponto de verificação.

A rede Mesh é ideal esse tipo de cenário, pois cada ponto pode ser transmissor e repetidor de informações para a Central de Coleta de Dados. Além disso, é possível adicionar ou retirar pontos sem a necessidade de configuração manual da rede, pois ela se ajusta de forma automática, desde que o alcance dos rádios seja respeitado.

4.2 Central de Coleta de Dados

Na central de coleta de dados foi utilizado o microcontrolador com módulo Wifi embutido (ESP8286), acoplado a um rádio Xbee. Os dados recebidos via rádio pelo microcontrolador são enviados via Internet para um banco de dados remoto criado em MYSQL. Esse nó precisa, necessariamente, estar dentro da área de cobertura de um roteador Wifi que provê acesso à Internet. O microcontrolador envia os dados a serem salvos por meio de requisições HTTP do tipo POST, realizadas a uma API criada em PHP que recebe tais dados e salva no banco de dados.

4.3 Banco de Dados e Website

Com os dados salvos no banco de dados, foi criado o Website como a interface gráfica para visualização em tempo real das informações de passagem de composições nos pontos de verificação. Utilizou-se HTML, CSS, JavaScript (Ajax) e PHP. Essa interface amigável propicia que o usuário tenha condições de consultar as informações de forma rápida e ágil, e assim realizar a tomada de decisão da retirada do trem do pátio regulador ou não. Para que os dados sejam atualizados de forma automática, foi utilizado uma função JavaScript (Ajax) para que o banco de dados seja verificado a cada segundo. Também foi utilizado CSS para definir o estilo do site e o HTML para criação das páginas. PHP foi utilizado para fazer o acesso ao banco de dados pelo Website. O banco de dados possui uma estrutura simples, ele é formado por apenas uma tabela que registra o estado de cada ponto de verificação: livre ou ocupado. No caso de ocupado, a contagem do número de vagões também é salva.

O Website para visualização dos resultados consiste em uma tela com os pontos do pátio de carregamento, indicando através da simbologia de cores se o ponto está ocupado ou livre, sendo vermelho ocupado e verde livre. Caso o ponto esteja ocupado, o Website exibe a contagem dos vagões ou locomotivas. A Figura 7 ilustra o resultado obtido quando uma composição passava pelo Ponto A e os demais pontos estavam livres.



Fig. 7: Website com exibição a contagem do número de vagões no Ponto A (ocupado) e os outros três os pontos livres.

5. CASO DE USO

Para verificar o funcionamento do sistema, foi criada uma maquete, de acordo com a foto exibida pela Figura 8. Nesta maquete foram instalados quatro Pontos de Verificação. Também foi instalada uma Central de Coleta de Dados. Por questões de simplicidade, o banco de dados, a API e o Website fora instalados em servidor web na mesma rede da Central de Coleta de Dados. Essa simplificação não altera o funcionamento do sistema, pois para que os dados sejam salvos em um banco de dados remoto basta informar à Central de Coleta de Dados o endereço IP do servidor onde a API foi instalada. O servidor foi criado em um Raspberry PI 3, o qual executa o servidor web WampServer.



Fig. 8: Maquete criada para testes.

Na maquete, as distâncias entre a Central de Coleta de Dados e os Pontos de Verificação eram curtas e permitiam comunicação direta. No entanto, para verificar o funcionamento da rede Mesh, fixou-se em cada Ponto de Verificação o próximo ponto a receber os dados. Foram utilizadas duas miniaturas de vagões e uma de locomotiva em escala reduzida para verificar o funcionamento do sistema em um ambiente o mais próximo possível da realidade, conforme ilustrado pela Figura 9.

Nos testes, as miniaturas permaneceram em movimento pela maquete, a qual tinha formato circular. Durante todo o experimento, os quatro pontos de verificação permaneceram continuamente coletando informações da passagem da composição e enviado tais dados para a Central de coleta de

dados que, ao recebê-los, atualizava o banco de dados. O Website de visualização foi acessado via smartphone e exibiu exatamente o que era observado. Durante cerca de vinte minutos de experimentos não foram registradas falhas, ou seja, em todas as vezes que a composição passou por um ponto de verificação o Website exibiu a contagem e todas as vezes que os pontos estavam livres o Website exibiu corretamente a informação.



Fig. 9: Miniaturas de locomotiva e de vagão utilizados para os testes.

Um único ponto merece destaque, como o Website acessa o banco de dados a cada um segundo, verificou-se esse atraso na exibição da ocupação dos Pontos de Verificação. Entretanto, um segundo de atraso é irrelevante em uma situação real na qual um operador humano precisa saber onde uma composição se encontra para dar a ordem de saída do pátio regulador para outra composição. As composições gastam vários minutos no carregamento e o deslocamento entre o pátio regulador e o terminal de carregamento também leva alguns minutos.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propôs a criação de um sistema que ajuda a reduzir o tempo de espera de composições ferroviárias em filas de carregamento de minério de ferro. O sistema proposto detecta a passagem de composições em determinados pontos do pátio de carregamento, conta o número de vagões e por meio de um site exibe em tempo real as informações coletadas. A partir destas informações, o funcionário da empresa de logística, que é encarregado de liberar as composições para carregamento, pode evitar que uma composição fique parada e gerando custo, enquanto outra está em carregamento. Pode também reduzir o tempo que o terminal de carregamento fica ocioso.

O sistema proposto é composto por lasers e sensores de luminosidade para detectar a passagem dos trens, microcontroladores (Arduíno) para controlar tais sensores e lasers, rádios Xbee para transmissão dos dados coletados, um banco de dados para armazená-los e um website para exibição de todas as informações online em tempo real. Os Pontos de Verificação formam entre si uma rede mesh, de forma que todas as comunicações são encaminhadas por cada um desses pontos até alcançar a Central de Coleta de Dados,

que corresponde a um microcontrolador (ESP8286) com acesso a uma rede Wifi, a qual lhe possibilita enviar as informações coletadas para serem salvas no banco de dados. Essa característica possibilita a utilização do sistema proposto em locais onde o acesso à Internet é limitado a uma pequena região. O website busca as informações do banco de dados e as exibe em tempo real. O controlador de tráfego ferroviário pode então tomar a decisão de envio ou não de um trem para o terminal de carga.

O sistema proposto foi implantado em uma maquete com miniaturas de vagões e locomotivas, com o intuito de validá-lo. Nos testes realizados, verificou-se a eficácia do sistema. Não foram percebidas perda de informação a respeito da contagem dos vagões. Também foi testada a rede mesh formada pelos rádios contidos em cada ponto de verificação. Mesmo sendo pequena a distância entre tais pontos e a central de coleta de dados, a rede mesh foi fixada manualmente com o intuito de validação de sua operação.

Por último, foi analisado o tempo entre a passagem física dos vagões pelos pontos de verificação e a exibição dessas informações de contagem no Website. Verificou-se que um atraso de no máximo 1 segundo, atraso este causado pelo temporizados de leitura do banco de dados criado no Website. Entretanto, tal atraso não atrapalha o funcionamento do sistema e se torna irrisório para o funcionário responsável em fazer a liberação de composições para carregamento.

Para trabalhos futuros, pretende-se criar um algoritmo capaz de definir qual o tipo de veículo (locomotiva ou vagão) está passando pelos pontos de verificação. Para isso, pretende-se utilizar a distância entre os eixos dos veículos. Também se pretende verificar a velocidade das composições. O presente trabalho não analisou a possibilidade de detecção de falhas de indicação de ocupação causadas agentes externos, como animais que trafegam pela via. Essa análise também pode ser incorporada a trabalhos futuros. Por último, tal sistema pode trabalhar em conjunto de um sistema de câmeras, o qual pode coletar informações para detecção de anomalias nos trens, como problemas mecânicos.

7. REFERÊNCIAS

Cavalcanti, A. J.; Coreia, F. P.; Brito, J. A. (2020). Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do São Francisco. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 5, doi: 10.34115/basrv4n5-002

Coelho, P. (2016). Rumo à indústria 4.0. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 15. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316/36992>>. Acessado em: 12 de maio de 2021.

Guedes, N.; Leitão, P.; Lima, J. (2020). Sistema de rastreabilidade em ambiente industrial. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/22927>>. Acessado em: 12 de maio de 2021.

Júnior, G. M. ; Filho, R. M.; Vieira, S. L.; Macedo, S. O.; Furriel, G. P.; Silva, B. C. (2020). Desenvolvimento de uma rede de sensores wireless utilizando protocolo ZigBee para monitoramento de dados e acionamento de atuadores. *Research, Society and Development*, v. 9, n.10, doi: 10.33448/rsd-v9i10.8651

Martins, F.J; Fabro, E.F. (2020). Uso de sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora. *Scientia cum Industria*, v. 8, n. 2, *Scientia cum Industria*, v. 8, n. 2, doi: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p1>

Lima, M. S.; Alves, F. I.; Jucá, S. C. S. (2019). Aplicação IoT Multiplataforma para Monitorar Temperatura e Umidade e Acionar Cargas em Ambientes Remotos. VII Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde (ERCAS), Teresina/PI, p. 324-329.

Lopes, L. A. (2019). Qualidade de dados e internet das coisas no framework de rastreabilidade de grãos. (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2923>>. Acessado em: 12 de maio de 2021.

Nunes, G. S. (2019). Inteligência artificial aplicada aos processos de manutenção de via permanente ferroviária. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camburiú - SC, de 10 a 14 de novembro de 2019.

Pilar, F.L; Alves, G.S; Dutra, J.R; Silva, M.C; Dias, J.N. (2019). A IoT (Internet of Things) relacionada ao gerenciamento de estoques de empresas voltadas à construção civil. Disponível em: <<http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/8298> >. Acessado em: 12 de maio de 2021.

RAMOS, J. S. B. (2012). Instrumentação eletrônica sem fio: transmitindo dados com módulos XBee Zigbee e PIC16F877A, Editora ÉRICA Ltda., 1ª edição.

Santos, S. S.; Lopes, L. A. (2017). Decisão orientada por dados (DOD) em um contexto ferroviário (Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso) - Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar Brasileiro. Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON112.pdf> >. Acessado em: 12 de maio de 2021.