

CATEGORIA 3

Prospecção de Aplicações de Inteligência Artificial na CPTM

INTRODUÇÃO

Histórico e Conquistas da Inteligência Artificial

O ramo de IA (Inteligência Artificial) vem crescendo significativamente ao longo das últimas décadas e está grandemente envolvido com a chamada quarta revolução industrial. Embora inicialmente seja relacionada ao futurismo e às histórias de ficção, cada vez mais ela se integra aos sistemas essenciais à infraestrutura moderna. Filtros de spam no e-mail, sugestões de filmes nos aplicativos de streaming, recomendações de livros, músicas, produtos, prevenção de fraudes, análise de perfil de crédito, entre outros.

A IA pode ser entendida como um ramo que estuda o comportamento de entidades inteligentes e tenta replicá-lo em máquinas. O início das pesquisas de IA como são conhecidas hoje remetem à década de 50, no período pós Segunda Guerra Mundial. O trabalho de (Mulloch & Pitts, 1943), foi importante no processo de um novo ramo de pesquisas que trazia

abordagens matemáticas para o âmbito das pesquisas cognitivas. O primeiro modelo matemático do neurônio biológico tratava-o como uma entidade lógica com um limiar de gatilho. Na prática, isto pode ser entendido como: caso o neurônio recebesse um estímulo nos seus axônios (entradas) superior a um certo limiar, então um pulso bioelétrico seria emitido por seu dendrito (saída), que por sua vez seria parte da entrada do neurônio seguinte. Embora a visão do neurônio biológico – com o avanço das descobertas da neurociência – tenha se sofisticado mais ao longo das décadas, o modelo de Mcculloch-Pitts foi a inspiração do perceptron de Rosenblatt.

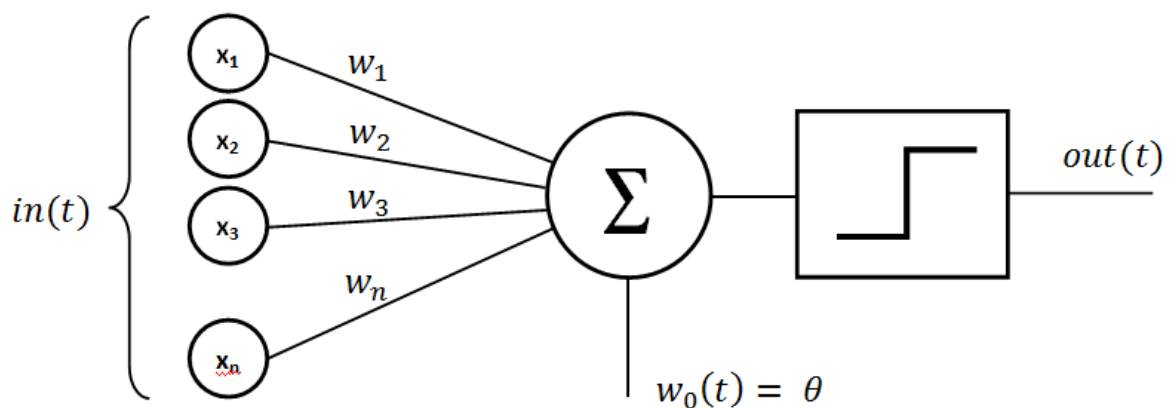


Figura 1 - Perceptron de Rosenblatt

Apresentado em (Rosenblatt, 1958), o perceptron continuou a ser aperfeiçoado até a década de 80, com as redes de Perceptrons Multi-Camadas (MLP – *Multi Layer Perceptrons*) que se tornaram possíveis devido a novas técnicas e algoritmos para construção de modelos mais sofisticados. Um grande avanço nesta jornada foi o trabalho de (Rumelhart D. E., 1986), com a técnica do *back-propagation* usada no processo de treinamento de redes MLP, e as arquiteturas que se tornaram possíveis, como as apresentadas no trabalho de (Rumelhart, 1986). Algumas destas arquiteturas, como as redes recorrentes, foram fundamentais para os estudos das décadas seguintes, como a criação das redes recorrentes e o ramo da

aprendizagem profunda (*Deep Learning*) que dominam as pesquisas de Inteligência Artificial hoje, especialmente nas aplicações de visão computacional e *Big Data*, relacionadas aos carros sem motoristas, análises de fraudes financeiras e perfis de risco, respectivamente.

Como já apresentado, as pesquisas de IA tentam replicar o comportamento inteligente. O primeiro problema que esta abordagem encontra é a própria definição de inteligência. Baseando-se na ideia de que a inteligência é um conceito que permite que as entidades possam interagir com o meio e resolver problemas práticos, Alan Turing um dos grandes nomes da ciência da computação, sugeriu a criação do denominado Teste de Turing, em (Turing, 1950). O teste de Turing foi uma proposta para identificar o nível de inteligência de uma máquina. Nele, caso um entrevistador humano não consiga distinguir se o objeto entrevistado é uma máquina ou outro ser humano, a máquina pode ser considerada inteligente. Certamente esta declaração deixa margem para muitas discussões, mas esta proposta formalizou um conceito de inteligência que passou a ser utilizado como bússola para a construção de sistemas inteligentes.

De acordo com (Russel & Norvig, 2016), para que uma máquina seja considerada aprovada no teste, é necessário que possua as seguintes competências:

- **Processamento de linguagem:** Para comunicação.
- **Representação de conhecimento:** Para armazenagem do que ela aprende ou ouve.
- **Raciocínio automatizado:** Para usar a informação armazenada para responder perguntas e encontrar novas conclusões.
- **Aprendizagem de máquina:** Para se adaptar às novas circunstâncias e extrapolar padrões de informações.

O teste original evita intencionalmente o contato físico entre entrevistado e entrevistador. Porém, o chamado Teste de Turing Total, uma versão ainda mais sofisticada, inclui um sinal de vídeo e uma escotilha, para intercâmbio de objetos e interação visual. Neste caso, pode-se acrescentar ainda outras duas competências:

- **Visão Computacional:** Para distinguir objetos e interações visuais.
- **Robótica:** Para movimentação e manipulação de objetos.

Estas seis áreas compreendem grande parte das pesquisas de Inteligência Artificial, e neste contexto o Teste de Turing ainda é relevante, mesmo após sete décadas. As conquistas dos sistemas de IA continuam surpreendendo a cada novo produto ou serviço lançado no mercado. Algumas aplicações recentes que merecem destaque são:

- **Veículos sem motorista:** Tecnologia que vem sendo desenvolvida há pelo menos 15 anos, sendo objetivo final de empresas como a Uber, com notáveis conquistas que permeiam o noticiário.
- **Reconhecimento de Fala:** Também com notável progresso nos últimos anos, com ferramentas como a Siri da Apple, e outros '*chat-bots*' como os bancos brasileiros vêm desenvolvendo.
- **Planejamento de programação de horários automática:** Os programas de IA da NASA analisam informações meteorológicas e logísticas para programar automaticamente a rotina de missões de expedição robóticas em marte e manutenção em órbita.
- **Jogos:** Em 1997, o DeepBlue da IBM ganhou do campeão mundial de xadrez, Garry Kasparov, em 2017 o AlphaGo da Google ganhou do campeão mundial de Go, Ke Jie.

- **Planejamento Logístico:** Durante a crise do Golfo Pérsico em 1991, as forças americanas utilizaram a ferramenta de análise dinâmica e reprogramação (*Dynamic Analysis and Replanning Tool - DART*) para planejamento automático de logística e programação. A operação envolveu 50 mil veículos, cargas e pessoas levando em consideração pontos de partida, destinos, rotas e resolução de conflitos entre os parâmetros. Técnicas de planejamento utilizando Inteligências Artificial geraram em horas o que levaria semanas utilizando outras abordagens tradicionais. A agência de defesa DARPA declarou que esta única aplicação justificou 30 anos de investimento em Inteligência Artificial.
- **Tradução por Máquina:** Um programa de computador que automaticamente traduz de árabe para inglês, permitindo que falantes da língua inglesa possam ler a seguinte manchete traduzida do árabe “Erdogan Confirms That Turkey Would Not Accept Any Pressure, Urging Them to Recognize Cyprus”. O programa utiliza um modelo estatístico utilizando exemplos de tradução árabe para inglês, e exemplos de textos em inglês totalizando mais de 2 trilhões de palavras (Brants, 2007) *apud* (Russel & Norvig, 2016). Nenhum dos cientistas envolvidos no time falava árabe, mas entendiam de estatística e algoritmos de aprendizado de máquina.

Desde sua concepção, a área de IA vem aumentando de maneira natural, com períodos de crescimento alternados com períodos de desinteresse. Conforme a capacidade de computação torna-se suficiente para as aplicações de Aprendizagem de Máquina – junto a algoritmos cada vez mais eficientes – as maiores limitações encontram-se na quantidade de dados disponíveis para treinamento. Porém, conforme a indústria e a sociedade avançam para a era do *Big Data* e da *Internet of Things - IOT*, a quantidade de informação disponível tende

a continuar crescendo. Diante deste novo paradigma, ao mesmo tempo que a capacidade humana de processamento de dados torna-se limitada, estes sistemas automatizados tornam-se superiores, conferindo um poder de disrupção muito grande a estas tecnologias. Assim, estes sistemas trazem um potencial de remodelar toda a sociedade e as formas de trabalho, no que está sendo chamado de quarta revolução industrial.

A importância e o Potencial da CPTM no Cenário de Big Data

Analisando a inteligência artificial como uma maneira de programar máquinas para determinadas funções a partir do uso de exemplos, pode-se destacar especialmente dois fatores que mais limitam o seu crescimento e aplicabilidade: quantidade de exemplos disponíveis e capacidade – ou eficiência – de processamento dos exemplos apresentados à máquina. Grande parte do avanço das tecnologias de Inteligência Artificial acompanhou a evolução e miniaturização dos processadores, sendo que existe uma via disponível para quem tem os dados necessários a construção destes sistemas.

A CPTM, sendo a maior empresa ferroviária de transporte de passageiros da América do Sul, possui um potencial latente de produção de dados muito significativo, que pode ser transformado em diversos serviços baseados nas tecnologias de IA. Cerca de 3 milhões de passageiros são transportados diariamente por um sistema ferroviário composto de milhares de componentes e subsistemas. Cada escada rolante, elevador, isolador, porta ou rodeiro possui potencial de geração de dados se for instrumentalizado. Esta quantidade de dados, quando bem utilizada, tende a criar sistemas de IA que se tornam mais robustos conforme o tempo, criando valor em escalas exponenciais.

Pesquisas de mercado têm apontado reflexos positivos para a imagem das empresas que adotam serviços inovadores. O relatório global (Salesforce Research, 2018) aponta que 80% dos clientes dizem que a experiência fornecida por uma empresa é tão importante quanto seus produtos e serviços, e 56% dos clientes procuram comprar sempre das empresas inovadoras.

Sempre respeitando a ética e transparência em relação aos passageiros, pode-se utilizar as informações disponíveis de fluxo, origem e destino ou perfis sociais para melhorar as atividades e criar cada vez mais opções de serviços disponíveis. As possibilidades são diversas.

A Indústria Tecnológica Nacional e a Necessidade de Estímulo

Com a popularização destas soluções, é crescente o surgimento de empresas e startups oferecendo aplicações, o que traz redução de custos e criação de ferramentas cada vez mais acessíveis. Naturalmente, a maior parte destas soluções pertencem às indústrias que mais contribuem para o crescimento do PIB mundial, como petróleo e gás ou a agroindústria. É papel fundamental da indústria ferroviária o estímulo às empresas e startups e a adaptação destas tecnologias para novas aplicações.

Assim, o trabalho de prospecção de tecnologias precisa necessariamente estar alinhado com iniciativas de fomentação da tecnologia nacional, bem como com práticas transparentes de contratação e de uma aproximação junto ao bioma de startups e novas empresas de tecnologia. A aproximação do ambiente de inovação das universidades também pode se mostrar uma grande estratégia para fomentar a criação de novas empresas criando um ambiente competitivo e saudável para o mercado de tecnologias ferroviárias.

DIAGNÓSTICO

Os estudos iniciais têm levantado algumas possibilidades para aplicações de tecnologias de Inteligência Artificial na ferrovia. Dentre as oportunidades observadas, foram mapeadas as seguintes:

- **Monitoramento de invasão de faixa de domínio:** As tecnologias de visão computacional têm se mostrado uma grande ferramenta para monitoramento. Trabalhos iniciais apontam a possibilidade de monitoramento contínuo com câmeras posicionadas ao longo do trecho e / ou com câmeras acopladas nos trens que hoje, em algumas linhas, passam com um intervalo de 6 minutos entre trens, propiciando um excelente serviço de vigilância. A relação custo/benefício tende a se tornar cada vez mais interessante conforme o mercado se aquece e mais empresas desenvolvam as aplicações necessárias. O monitoramento contínuo da faixa de domínio pode ser uma ótima ferramenta para prevenção de furtos de cabos metálicos, bem como prevenção de acidentes e atropelamentos, ficando ainda mais potencializadas suas benesses quando interligados com o monitoramento dos circuitos de via pelo CCO e avisos sonoros para auxiliar a operação dos trens.
- **Monitoramento de gabarito dinâmico:** Com a mesma aplicação de visão computacional, e ainda utilizando o mesmo equipamento do monitoramento de invasão de faixa, pode-se fazer o auxílio da manutenção preventiva e preditiva do gabarito dinâmico. Entende-se como gabarito a seção transversal reta necessária à passagem livre de trem ou veículo, referida ao boleto do trilho, e o monitoramento abrange também os sistemas pertencentes ao gabarito dinâmico, como via

permanente e rede aérea. Assim, o monitoramento pode detectar suspensórios da rede aérea caídos, abaulamentos da catenária, anormalidades em isoladores e contrapesos, bem como obstruções da via permanente como árvores caídas, pessoas, animais, etc.

- **Chatbots para atendimento ao usuário:** É crescente a quantidade de empresas que recorrem a sistemas automáticos para serviços de atendimento ao usuário, os chamados 'chatbots'. A CPTM poderia utilizar serviços de chatbots para atendimento aos passageiros via aplicativo de celular, ou em totens nas estações e sistemas de aviso ao público (APs).
- **Manutenção preditiva e preventiva:** Sistemas de manutenção preventiva ou preditiva ferroviários, ou ainda o monitoramento contínuo, costumam exigir um grande investimento em equipamentos ou causar um grande impacto operacional, como o uso de carros controle. A utilização de conjuntos de sensores de baixo custo, como acelerômetros industriais, instalados em posições estratégicas nos trens que circulam durante o horário operacional, com a aplicação de softwares de IA para análise de sinais, podem resultar em um monitoramento contínuo com custo muito reduzido em comparação com os métodos de medições tradicionais e com praticamente nenhum impacto operacional.
- **Vigilância:** Vigilância utilizando visão computacional já vem produzindo diversos casos que estão se tornando comuns no noticiário, através do reconhecimento facial. Em estações com grande fluxo de passageiros, estes sistemas podem se tornar ferramentas da secretaria de segurança pública para busca de fugitivos ou para

detecção de vandalismos e depredação de estações ou composições, agilizando o acionamento da força policial.

- **Pagamento de passagens:** hoje já existem aplicativos de celulares que utilizam o reconhecimento facial para efetuar pagamentos através dos smartphones. Esta mesma tecnologia poderia ser empregada nos bloqueios de tal sorte que os passageiros pudessem acessar as estações e pagar a passagem diretamente no bloqueio da estação utilizando o reconhecimento facial.

Comprovação da Teoria

O Decreto Nº 61.492, de 17 de setembro de 2015 alterado pelo Decreto nº 62.711, de 20 de julho de 2017 proporciona uma grande ferramenta para prospecção de tecnologias inovadoras. Através da publicação de Chamamento Público, a CPTM pode atrair empresas interessadas em demonstrar as ferramentas disponíveis e sistemas, e juntamente com as ambições mapeadas em estudos próprios, criar o ambiente necessário para o desenvolvimento da inovação. Esta ferramenta pode ser utilizada na aquisição de informações técnicas para melhorar a qualidade e a assertividade na elaboração de especificações e termos de referência para licitação pública, considerando o estudo de aplicações e custos envolvidos, otimizando os recursos públicos e promovendo transparência e a isonomia.

Aproveitando deste recurso legal, materializado na forma da Prova de Conceito, prosseguimos com a comprovação da teoria apresentada buscando focar e desenvolver três das oportunidades mapeadas com apenas a utilização de um mesmo equipamento de captura de imagem. Foi escolhida a aplicação de Visão Computacional, voltada ao:

- Monitoramento de interferências no gabarito dinâmico;
- Invasão de faixa, e
- Manutenção preditiva da Rede Aérea.

Materialização da Prova de Conceito

Para a execução da prova de conceito envolvendo visão computacional, prospectou-se a utilização da câmera modelo ESOS Standard 2.3.1 da empresa MVisia. A prova de conceito (“POC – Proof of Concept”) busca provar, de maneira prática, um conceito teórico. A solução prospectada pela CPTM é oferecida pela empresa MVisia para monitoramento de linhas de produção para otimização de processos e manutenção preventiva, consistindo de uma câmera com grau de proteção IP 67 equipada com processadores embarcados e um ambiente de desenvolvimento para análise das imagens coletadas.

A prova de conceito foi dividida em duas etapas. A etapa de coleta de dados foi realizada em uma tarde, a etapa de análise de dados foi feita ao longo de uma semana. As figuras 2 a 4 apresentam as imagens da etapa de coleta de dados da prova de conceito.



Figura 2 Câmera da empresa MVisia



Figura 3 Câmera posicionada para POC

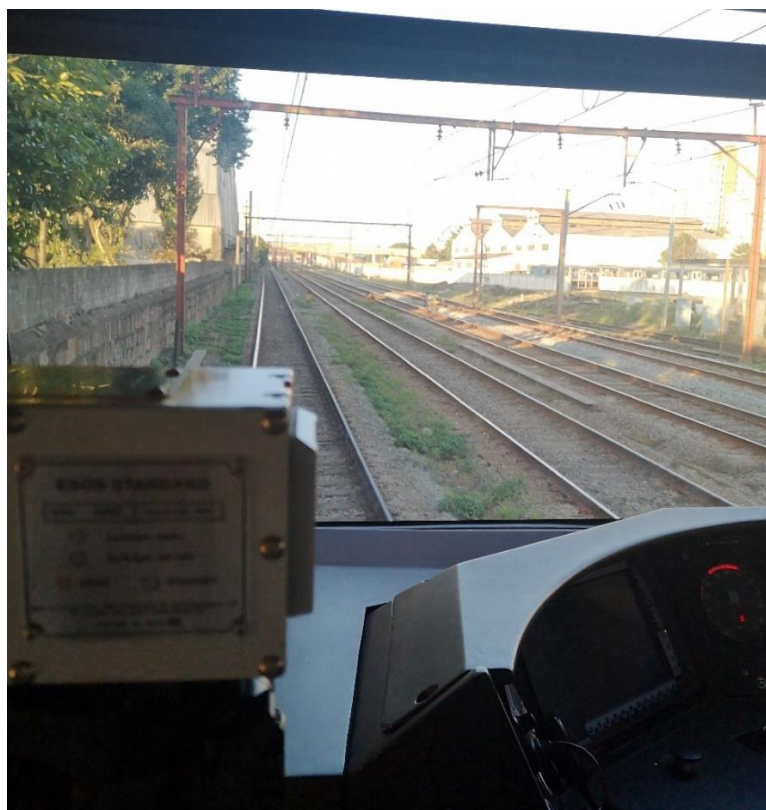


Figura 4 Coleta de dados

1ª Prova – Monitoramento de Gabarito Dinâmico

O primeiro caso estudado foi uma das possibilidades levantadas no estudo inicial de possíveis aplicações de Inteligência Artificial. Foi escolhida a abordagem de Visão Computacional aplicada ao Monitoramento de Gabarito Dinâmico. A demanda surgiu da necessidade da manutenção da CPTM em buscar novas maneiras mais eficientes de realizar manutenção preventiva e estudos para futuras ferramentas de manutenção preditiva.

Entende-se como gabarito dinâmico a seção transversal reta necessária à passagem livre de trem ou veículo, referida ao boleto do trilho. O monitoramento da seção reta do gabarito apresenta algumas possibilidades como: monitoramento de obstruções na via, identificação de árvores que necessitam de poda, irregularidade nos trilhos, abaulamento (barriga) na rede aérea, suspensórios caídos, isoladores quebrados, etc.

Na Figura 5 o gabarito dinâmico foi dividido em três regiões de interesse. Como está representado na figura, a região vermelha é monitorada para detectar obstruções ou objetos na via permanente, a região verde pode ser monitorada para árvores que necessitam de poda, abaulamentos na rede aérea ou ainda qualquer objeto estranho e defeitos em postes da rede aérea, e a região amarela fiscaliza suspensórios caídos, isoladores quebrados e outras possíveis falhas nos componentes mais sensíveis da rede aérea.

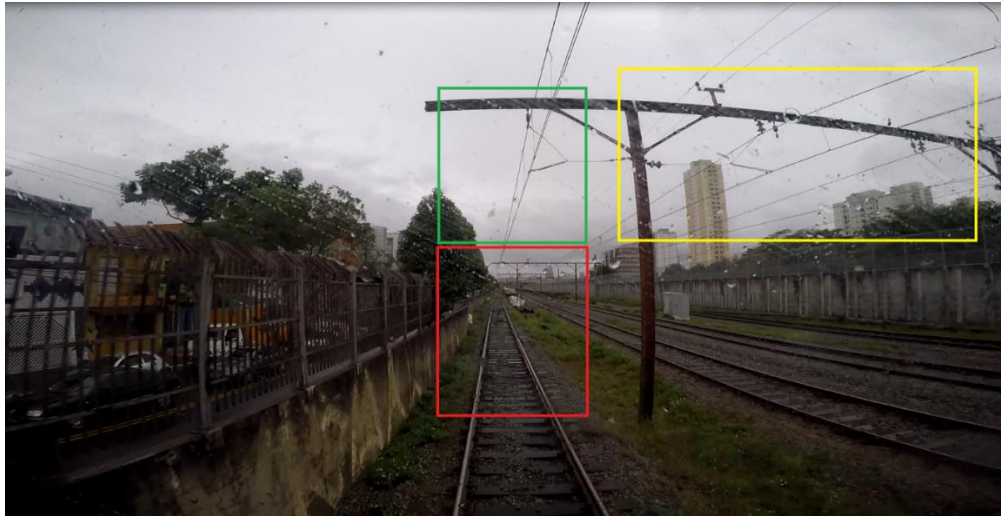


Figura 5 Seções do gabarito dinâmico

2ª Prova – Invasão de faixa

A Figura 6 mostra a detecção de funcionários trabalhando em áreas operacionais, esta imagem poderia ser de qualquer outra pessoa que estivesse em atitude suspeita com objetivos de, por exemplo, furtar cabos do sistema de sinalização. O sistema consegue detectar a quantidade de pessoas e a informação pode ser georreferenciada para comparação com os dados de Solicitação de Acesso (SA), tornando-se uma ferramenta importante para prevenção de acidentes, bem como o acionamento da segurança patrimonial ou ainda a polícia militar para atuação imediata para proteção do patrimônio público. A câmera utilizada possui um processador embarcado e uma saída analógica, que pode ser utilizada para acionar alarmes ou enviar sinais ao Centro de Controle Operacional (CCO). Assim, caso seja detectada alguma irregularidade, não é necessária a transmissão integral da imagem capturada e sim apenas um sinal de controle que pode ser interpretado no CCO, economizando a banda de transmissão de dados terra-trem.



Figura 6 Detecção de funcionários no trecho

A mesma tecnologia possui uma segunda aplicação, na detecção e contagem de passageiros na plataforma, como ilustra a figura 7.



Figura 7 Detecção e contagem de passageiros nas plataformas

Esta contagem pode ser utilizada para monitoramento operacional, e o sinal de saída da câmera pode ser utilizado para acionar o sistema de aviso ao público (AP) caso necessário. Esta contagem pode ser utilizada também para indicadores em tempo real de usuários na plataforma, medindo a qualidade do serviço e proporcionando indicadores em tempo real das condições das estações.

3ª Prova – Manutenção Preditiva da Rede Aérea

A figura 8 apresenta o monitoramento de suspensórios da Rede Aérea. O algoritmo consegue detectar, pela diferença de contraste, as estruturas de suporte da rede aérea. Pode-se criar uma segunda área de interesse, abaixo da caixa ilustrada na figura, para detectar suspensórios caídos. Este tipo de abordagem de manutenção preditiva pode evitar o enroscamento do pantógrafo na rede aérea, um tipo específico de falha que pode causar grave impacto operacional.



Figura 8 Monitoramento de suspensórios da Rede Aérea

RESULTADOS

Foram coletadas e analisadas imagens da Linha 12 – Safira da CPTM. Parte das imagens foram coletada com a câmera da MVisia, parte coletada com uma câmera GoPro da CPTM. As imagens coletadas foram analisadas utilizando o ambiente de desenvolvimento cedido pela MVisia, e foram aplicados algoritmos de detecção e contagem de organismos vivos e de monitoramento de contrastes dentro de uma região de interesse (ROI – *Region of Interest*) para monitoramento dos suspensórios.

É evidente que as imagens demonstradas nas figuras apresentadas acima extraídas da prova e conceito, já representam as potencialidades desta ferramenta para o setor metroferroviário. Porém, cabe dizer que estes resultados representam ainda timidamente tudo o que se pode obter com a aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos superaram as ambições iniciais, demonstrando que realmente existe muito potencial a ser explorado na análise de dados pela CPTM utilizando IA. As informações obtidas já no processo de prova de conceito se mostraram muito valiosas para futuros processos licitatórios.

A CPTM preza, dentre seus valores, pelo foco na inovação e no empreendedorismo, como uma condição essencial para garantia de sua continuidade. As prospecções técnicas realizadas visam identificar novas tecnologias, que devem ser estudadas a fim de instruir futuros processos de chamamento público, mecanismo pelo qual a empresa pública, em conformidade com seu Regulamento, pode receber contribuições do mercado ou processos

licitatórios. Especificamente para novas tecnologias, envolvendo Inteligência Artificial e soluções da Quarta Revolução Industrial, é fundamental a realização de testes e experiências, a fim de se buscar extrair o máximo de retorno destas tecnologias.

Uma possibilidade futura é a construção de laboratórios de inovação, onde a própria equipe da CPTM possa receber amostras de equipamentos de empresas interessadas em disponibilizá-los temporariamente, através de Chamamento Público, aumentando ainda mais o valor das informações de termos de referência e especificações técnicas.

Talvez a parte mais importante dos processos de inovação seja encontrar pessoas interessadas e motivadas neste fim. A CPTM vem focando em processos de gestão da inovação, e encontrar estas pessoas é essencial para iniciar estudos mais aprofundados com novas tecnologias. Ferramentas como Inovatonas e workshops institucionais podem trazer resultados inesperados, agregando ainda mais valor aos serviços prestados pela CPTM no setor metroferroviário.

O trabalho junto à academia e à comunidade de código aberto pode revelar grandes aliados em potencial. Através de dados coletados com instrumentação própria, ou instrumentação de provas de conceito, pode-se disponibilizá-los através de Hackatonas dentro das universidades para a produção de valor. Esta aproximação eventualmente pode produzir trabalhos acadêmicos de qualidade, valorizando a indústria ferroviária nacional e a produção de *know-how* nacional.

Serendipidades

Importante destacar que a mesma câmera, em tempo real, tem potencial de realizar diversas aplicações simultaneamente, cabendo às áreas técnicas aprender a tirar o máximo

proveito dos dados disponíveis. A tecnologia tem crescido tão rapidamente que se apresenta como um convite para divagar sobre outras possíveis aplicações. Juntamente com a tecnologia de visão computacional, pode-se utilizar transdutores, como acelerômetros, ultrassom e termovisores, para instrumentalizar o material rodante e oferecer uma nova gama de serviços de manutenção preditiva e otimização de processos. Podemos destacar também:

- **Prevenção de suicídios:** Monitorando a região além da faixa amarela e regiões da plataforma conhecidamente procuradas por suicidas, é possível detectar comportamentos suspeitos e agir com antecedência, preservando a vida humana, prevenindo riscos para a equipe operacional e diminuindo impactos operacionais recorrentes neste tipo de situação.
- **Indicação de melhores locais para embarque:** Contagem de passageiros pela câmera embarcada utilizada para detecção de pontos de agrupamento de passageiros na plataforma. Se utilizado junto com câmeras internas também com contagem de passageiros ou ainda conjugada com sensores de carga dispostos nos carros dos trens, esta indicação tem potencial para oferecer um serviço de indicação de melhor local de embarque e na produção automática de Avisos aos Passageiros (APs) indicando estes locais.
- **Feedback da eficiência de loops operacionais:** A mesma tecnologia de contagem pode ser utilizada para medir o impacto que loops operacionais causam no acúmulo de pessoas nas plataformas. Em um nível mais avançado, a métrica de passageiros nas plataformas pode alimentar um sistema de otimização de gráficos horários, adequando a oferta de viagem à situação observada nas estações.

- **Desgastes da via permanente:** Com a utilização de câmeras de boa resolução voltadas diretamente para a via ao fazer uma varredura, para detecção de falhas e desgastes no trilho e dormentes, diminuindo o impacto operacional causado por rotinas de manutenção preventiva e possibilitando um monitoramento quase contínuo destas estruturas.
- **Defeitos superficiais em AMVs:** De maneira semelhante à anterior, ao usar as câmeras para monitoramento de aparelhos de mudança de via (AMVs) e ainda se conjugada as imagens com acelerômetros que medem o impacto produzido nas rodas por eventuais defeitos nos AMVs pode-se estabelecer prazos ótimos de manutenção preventiva individualizada para cada AMV instalado na via principal.
- **Medição da geometria da via:** Utilizando acelerômetros e câmeras para fiscalização e monitoramento de mudanças na geometria de via, prevenindo descarrilamentos e evitando grandes interferências operacionais. Ainda, pode-se ter uma economia substancial evitando-se a compra de veículos de via específicos para este fim.
- **Desgaste do condutor da Rede Aérea:** Com o conjunto de termovisores e câmeras, verificando desgastes e pontos de calor em todo o trecho, prevenindo impactos operacionais.
- **Zig Zag da rede aérea:** Com câmeras instaladas no pantógrafo, detectando anomalias e prevenindo falhas nos pantógrafos.
- **Visibilidade de placas e sinais:** Utilizando as câmeras para medir a visibilidade de placas de sinalização, otimizando equipes de poda e de comunicação visual.

- **Monitoramento com Visão Térmica:** Analisando padrões de temperatura de condutores, transformadores, isoladores e castanhas da rede aérea, facilitando a manutenção preventiva e possibilitando manutenção preditiva.
- **Mapeamento 3D:** Utilizando-se duas câmeras em perspectivas diferentes, é possível fazer um mapeamento 3D de estruturas metálicas e civis. Este tipo de mapeamento é utilizado para fiscalização de toda a faixa de domínio, detectando por exemplo construções irregulares ou anormalidades em estruturas próprias. Em outro nível de aplicação, este mapeamento 3D pode ser utilizado para treinamentos em realidade virtual. Também, em um nível ainda mais alto com câmeras de altíssima resolução, estas imagens podem ser utilizadas para detectar pontos de ferrugem ou trincas em estruturas civis, como é realizado hoje por câmeras instaladas em drones na indústria de construção civil.
- **Fiscalização de SAs ou utilização de EPIs:** Pela comparação de informações coletadas em campo com informações do banco de dados do sistema de solicitação de acesso (SSA), implementa-se a fiscalização ou a automatização de abertura e fechamento de SAs, monitoramento de equipes em campo, fiscalização de uso de equipamentos de proteção individuais (EPIs), etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brants, T. a. (2007). Large language models in machine translation. *Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning (EMNLP-CoNLL)*, pp. 858-867.
- Mulloch, W., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, pp. 115-133.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, p. 386.
- Rumelhart, D. E. (1986, October 9). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, pp. 533–536.
- Rumelhart, D. E. (1986). Sequential thought processes in PDP models. *Parallel distributed processing: explorations in the microstructures of cognition*, 2, pp. 3-57.
- Russel, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson Education Limited.
- Salesforce Research. (2018). *State of the connected customer*.
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, p. 433.