



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

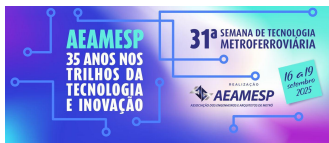
CATEGORIA 3

PROJETO CLIMA-TREM

SOBRE OS AUTORES

Marcelo Florencio Casanova Gimenes - Profissional com experiência em gestão de equipes, análise de dados e coordenação de operações, atuando em empresas dos setores de tecnologia, logística e meio ambiente. Atualmente, Assessor Executivo atuando na área BI com foco em Business Intelligence, Data Warehouse e ferramentas como Power BI, Microstrategy, SQL e Oracle. Formação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela FIAP, com especializações em Logística e Administração.

Jonathan Messias de Sousa - Profissional com experiência em engenharia de dados, atuando na implementação de fluxos ETL (Pentaho, iWay), orquestração com Apache Airflow e projetos de Machine Learning com MLflow. Experiência em gerenciamento de Data Lakes (Snowflake, Azure), pipelines em Python e KNIME, além de práticas de FINOPS e segurança da informação. Formação em Engenharia da Computação, com pós-graduação em Arquitetura de Dados pela PUC Minas.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Wagner Torres de Paula - Profissional com uma trajetória acadêmica e profissional diversificada, focada em dados, gestão e eletrotécnica. Bacharel em Ciências de Dados pela UNIVESP (2021-2025), obteve o título de Tecnólogo em Gestão Pública pela mesma instituição (2019-2021) e é Técnico em Eletrotécnica formado pela ETEC Getúlio Vargas (2012-2013). Com mais de uma década de experiência prática como Eletricista de Manutenção de Rede Aérea na CPTM, Wagner tem se destacado na manutenção de linhas de alta tensão, interpretação de diagramas técnicos e gestão de emergências e áreas de risco.



PROJETO CLIMA-TREM

INTRODUÇÃO

A eficiência e a confiabilidade do transporte público são vitais para a dinâmica de grandes centros urbanos. Na Região Metropolitana de São Paulo, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) representa um pilar fundamental neste ecossistema, sendo responsável pelo deslocamento diário de milhões de passageiros. A manutenção da regularidade e segurança de suas operações é, portanto, uma prioridade máxima.

Dentre os desafios operacionais, as falhas no setor de rede aérea, responsável pela alimentação elétrica, se destacam por seu impacto severo, capazes de comprometer parcial ou totalmente a circulação dos trens. Por ser um sistema majoritariamente exposto às intempéries, a rede aérea sofre interferência direta das condições climáticas, como chuvas intensas, ventos fortes, variação de temperatura e descargas atmosféricas. Diante deste cenário, a implementação de um sistema de previsão de falhas torna-se uma ferramenta estratégica, permitindo a adoção de medidas preventivas, preditivas e estratégicas para manutenção e a otimização da alocação de recursos.

Embora a interferência de eventos climáticos na operação seja uma percepção empírica consolidada, carece de estudos aprofundados que quantifiquem essa relação. Neste contexto, este trabalho, intitulado "Clima Trem", busca a comprovação formal, por meio de análise de dados, da correlação significativa entre as variações atmosféricas e a ocorrência dessas falhas, tendo como objetivo principal a análise de dados meteorológicos e de falhas para validar



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

essa relação, a fim de desenvolver modelos preditivos que permitam aumentar a resiliência e a segurança do sistema ferroviário.

DIAGNÓSTICO

O estudo foi fundamentado na análise de duas fontes primárias de dados: o registro histórico de falhas de rede aérea, extraído dos bancos de dados da CPTM, e o histórico meteorológico correspondente às áreas das estações. As falhas são classificadas em três escalas de gravidade, sendo a de Nível 1 a mais crítica, pois pode levar à interrupção total da circulação de trens. Devido ao seu alto impacto, as falhas de Nível 1 foram o foco principal para a análise de correlação com os eventos climáticos.

O processo metodológico consistiu na integração dessas duas fontes de dados, alinhando temporalmente as ocorrências de falhas com as variáveis climáticas do período, como chuvas intensas, variações de temperatura e umidade. A partir dessa base de dados consolidada, foram aplicadas técnicas de aprendizado de máquina (Machine Learning) para identificar padrões e desenvolver um modelo de classificação. O conjunto de dados foi dividido para o treinamento do modelo e, subsequentemente, para a realização de testes, permitindo assim verificar a acurácia e a capacidade de generalização do modelo em prever a ocorrência de falhas com base nas condições climáticas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A etapa inicial da análise consistiu em compreender a relação entre as próprias variáveis climáticas. Para isso, foi gerada uma matriz de correlação, visualizada através de um mapa de calor (Figura 1). Esta análise permite identificar redundâncias e selecionar as variáveis mais independentes e potencialmente informativas para a modelagem. Observou-se, por exemplo, uma forte correlação negativa (-0.89) entre a umidade relativa mínima e a variação de temperatura, indicando que essas variáveis se comportam de maneira inversamente proporcional.

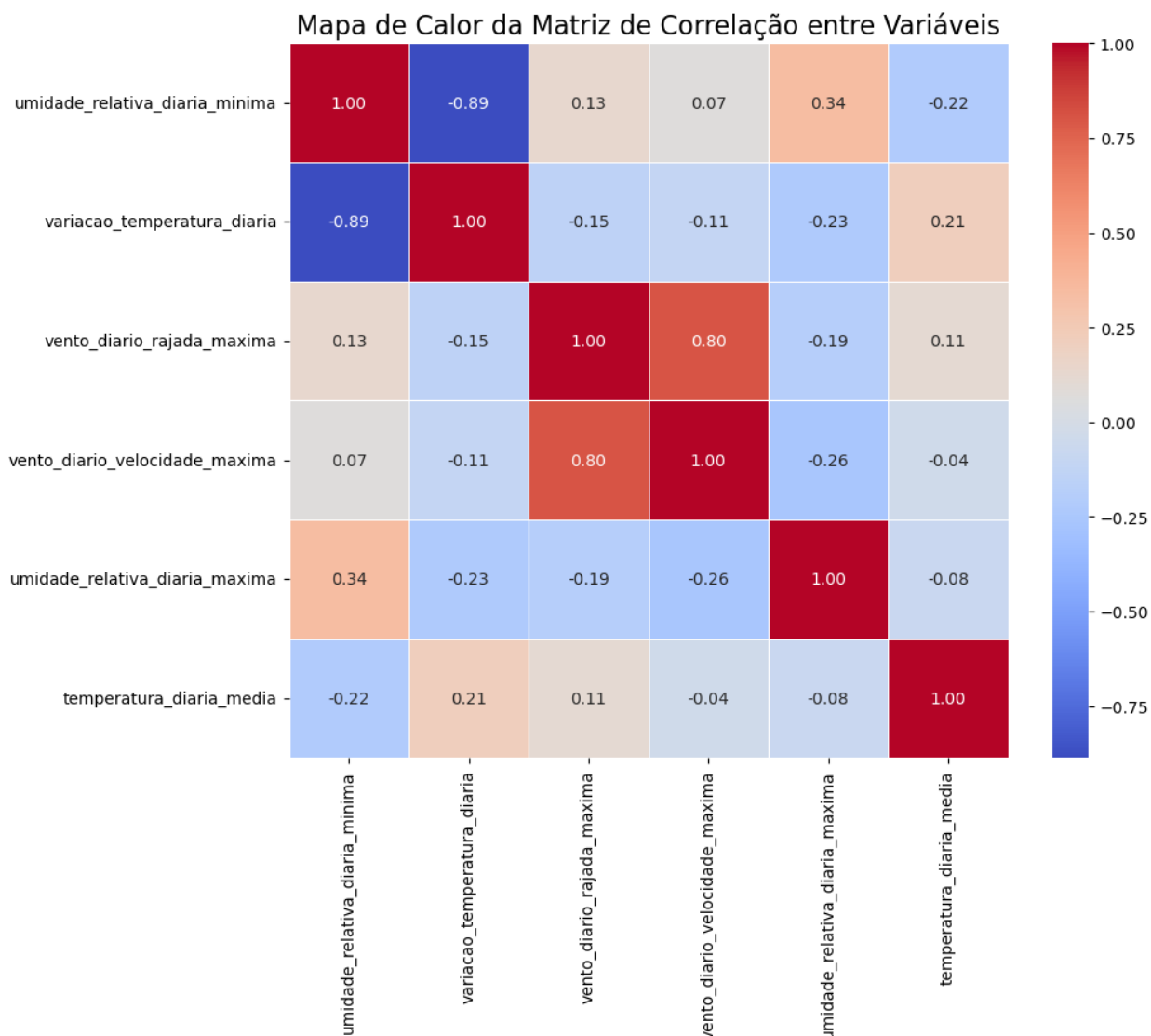


Figura 1 – Mapa de Calor da Matriz de Correlação entre Variáveis Climáticas
 Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a seleção das variáveis potenciais, a análise foi aprofundada ao cruzar os dados climáticos com os registros de falhas de Nível 1. O gráfico de densidade 2D (Figura 2) revelou um padrão notável, apontando as limitações operacionais sob condições específicas. Há uma concentração significativa de falhas quando **a variação de temperatura diária se situa entre 7°C e 12°C**, simultaneamente a uma **umidade relativa máxima entre 90% e 100%**. Esta faixa de condições representa, portanto, um fator de maior potencial para a

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ocorrência de falhas, servindo como um importante filtro e um forte indicador para os modelos de previsão.

Densidade 2D: Variação de Temperatura vs. Umidade Máxima (Com Falhas)

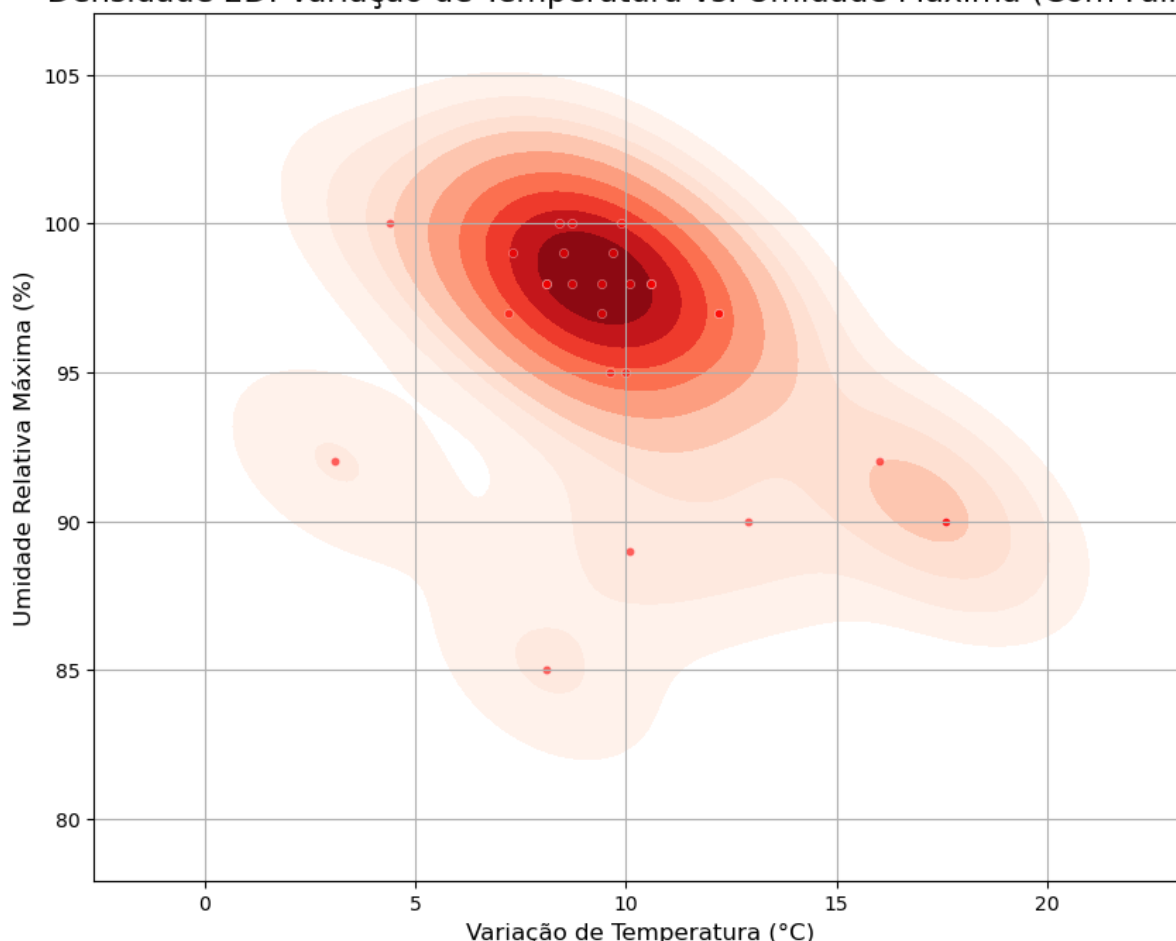
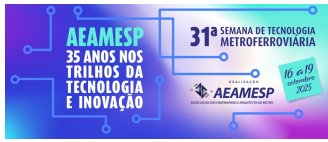


Figura 2 – Densidade 2D: Variação de Temperatura vs. Umidade Máxima (Com Falhas)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com base nestes filtros, o modelo de aprendizado de máquina foi treinado e testado, e seus resultados são sintetizados na matriz de confusão (Figura 3). A análise da matriz demonstra um avanço notável na capacidade preditiva. O modelo foi capaz de prever corretamente a maioria dos eventos de falha (7 "Verdadeiros Positivos"), um marco que valida a abordagem e o potencial do projeto. O número extremamente baixo de "Falsos Negativos" (5) é o resultado mais significativo, indicando que o modelo possui alta confiabilidade em não



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ignorar um dia com real potencial de falha, o que é crucial para um sistema de missão crítica. Embora o número de "Falsos Positivos" sugira a necessidade de refinar o modelo com mais variáveis para reduzir "alarmes falsos", ele também revela o caráter conservador e seguro do sistema, que prioriza a prevenção.

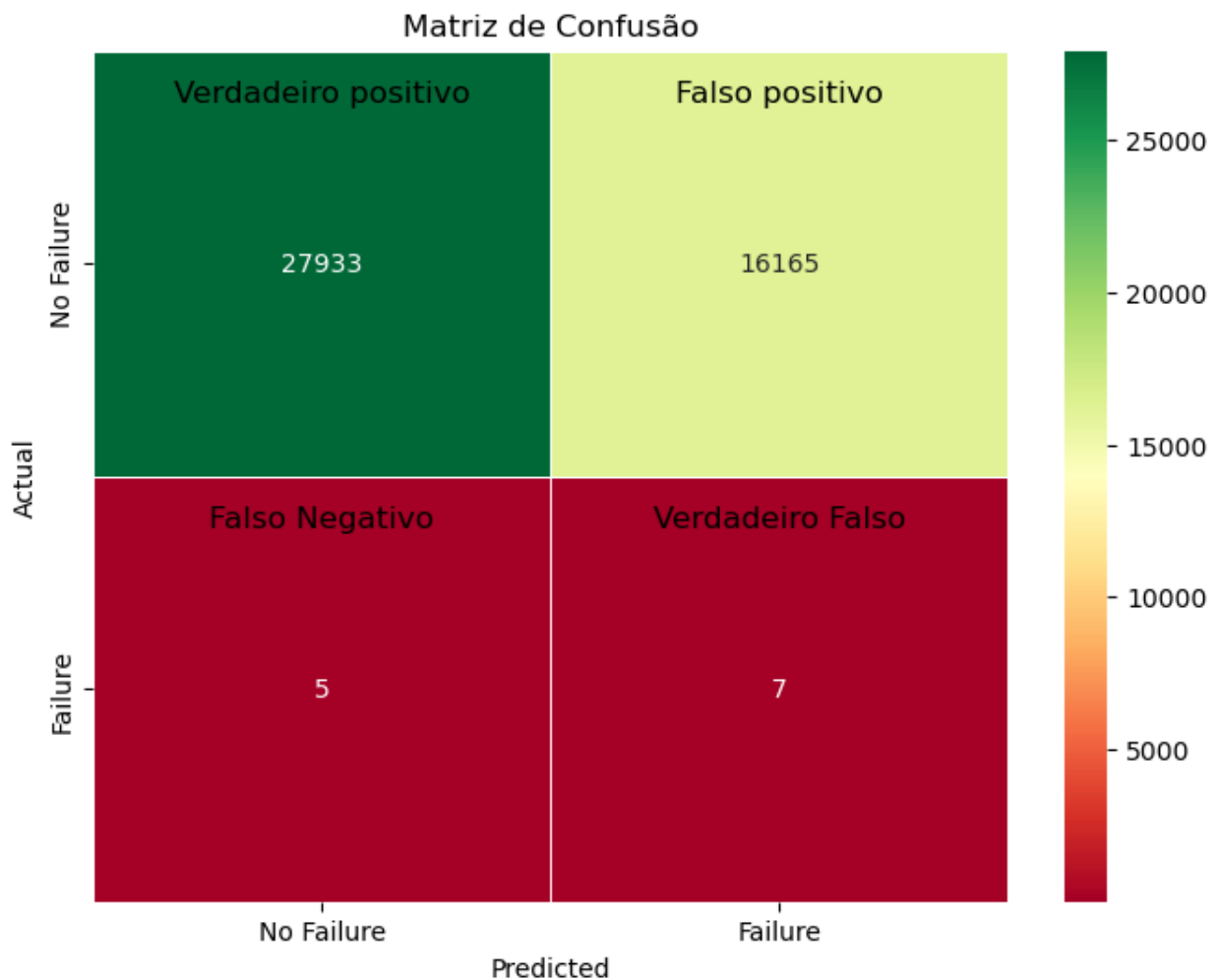


Figura 3 – Matriz de Confusão

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

CONCLUSÕES

Este trabalho não apenas comprova a forte correlação entre eventos climáticos específicos e falhas críticas na rede aérea, mas também apresenta um caminho viável e inovador para a mitigação proativa desses eventos. A capacidade do modelo em identificar a maioria dos dias com falha real,



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

demonstrada na análise de resultados, representa um salto qualitativo da manutenção reativa para uma gestão preditiva e inteligente.

Os resultados obtidos são extremamente promissores e estabelecem a base para um sistema robusto de alerta antecipado. A metodologia desenvolvida e os insights gerados posicionam o projeto "Clima Trem" como uma iniciativa de alto impacto e digna de reconhecimento, com potencial para se tornar uma referência em inovação no setor de transporte ferroviário. A futura inclusão de novas variáveis, como dados de poluição e de descargas atmosféricas, permitirá refinar ainda mais a precisão do modelo, transformando-o em uma ferramenta indispensável para a segurança e a eficiência operacional da CPTM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADI, M. et al. **TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems**. 2015. Disponível em: [tensorflow.org](https://www.tensorflow.org).

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3. ed. Waltham: Morgan Kaufmann, 2011.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction**. 2. ed. New York: Springer, 2009.

MCKINNEY, W. Data Structures for Statistical Computing in Python. In: *PROCEEDINGS OF THE 9TH PYTHON IN SCIENCE CONFERENCE*, 2010, Austin. **Anais...** Austin: SciPy, 2010. p. 56-61.

PEDREGOSA, F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. **Journal of Machine Learning Research**, v. 12, p. 2825-2830, 2011.

POWERS, D. M. W. Evaluation: From Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness and Markedness. **Journal of Machine Learning Technologies**, v. 2, n. 1, p. 37–63, 2011.