

MODELAGEM DE DEFEITOS EM TRATAMENTO SUPERFICIAL COM USO DE *MACHINE LEARNING* E ESTATÍSTICA DE SOBREVIDA

Antonia Fabiana Marques Almeida
Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Suely Helena de Araújo Barroso

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A maior parte das rodovias estaduais do Ceará é de baixo volume de tráfego que permitem uma estrutura mais econômica, como o uso de tratamento superficial, entretanto, não existe um sistema de monitoramento dos trechos que seja capaz de prever as suas falhas. Esses revestimentos apresentam especificidades e demandam uma análise das condições de superfície diferente do concreto asfáltico. Assim, este trabalho busca modelar a previsão de defeitos em rodovias do Estado do Ceará revestidas em tratamentos superficiais com base em informações de projeto, construção e monitoramento de trechos. Para tanto, será necessária a construção e gerenciamento de um banco de dados, reconhecimento dos padrões que levam à ocorrência dos defeitos com uso de mineração de dados, previsão da ocorrência do defeito com estatística de sobrevivência e desenvolvimento de um método de apoio à decisão, para fornecer subsídios em estratégias de manutenção e reabilitação.

1. PROBLEMÁTICA

No Brasil, a maior parte das rodovias não são pavimentadas e, dentre essas, muitas são rodovias de baixo volume de tráfego (RBVT) (Cabral e Barroso, 2018). Dentre as pavimentadas, 52,4% (CNT, 2020) demandam alguma estratégia de manutenção e reabilitação (M&R) devido à condição. Para as RBVT e atividades de M&R, uma das possibilidades é o uso de tratamento superficial (TS), a depender da condição estrutural em que se encontra a rodovia.

No Estado do Ceará, 58% das rodovias estaduais pavimentadas tem o TS como revestimento (SOP, 2019). Apesar dessa predominância, ainda não existe um sistema de monitoramento dos trechos que seja capaz de prever a ocorrência de defeitos em TS. Dada a particularidade desse tipo de revestimento, os defeitos diferem, quando comparados aos pavimentos em concreto asfáltico (Pierce e Kebede, 2015).

De acordo com Kim e Lee (2005) os defeitos mais críticos dos TS são a perda de agregados e a exsudação, seguidos, de acordo com Loiola (2009), por: desagregação longitudinal, desgaste do agregado, desgaste da borda, superposição, juntas de construção defeituosas, corrugações e rugosidade geométrica inadequada. A compreensão da ocorrência dos defeitos pode ser complexa, já que os materiais empregados e sua interação, execução, condições climáticas, compactação e outros fatores podem interferir de diversas formas (Boz *et al.*, 2019).

Como no Ceará, não existe um sistema de previsão da ocorrência de falhas nos pavimentos com TS a partir de padrões definidos por modelos de aprendizagem de máquina e estatística de sobrevivência, a tese apresentada neste relatório tem como foco preencher essa lacuna. Assim, o objetivo geral é desenvolver uma metodologia de previsão de ocorrência de defeitos em pavimentos com TS como camada de revestimento principal para tornar mais efetiva a tomada de decisão de gerência da malha viária. Para tanto, foram definidos também os seguintes objetivos específicos:

- a. Investigar e discutir o TS para compreender o surgimento de falhas decorrentes da dosagem, execução e exposição às condições climáticas e de tráfego com base em

- dados oriundos de órgãos rodoviários;
- Estruturar um banco de dados de revestimentos com TS para o estado do Ceará que contenha informações executivas e de falhas existentes, por meio de obtenção de informações, análise de imagens e levantamentos de campo com uso de processamento digital de imagem (PDI);
 - Identificar os padrões entre as informações dos revestimentos com TS e os defeitos coletados em rodovias no estado do Ceará para estimar falhas futuras;
 - Definir um modelo de apoio à decisão que utilize os dados coletados de levantamentos em campo e obtidos da ferramenta de previsão para auxiliar a otimização de recursos materiais e financeiros para melhoria da malha viária.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O desempenho de um tratamento superficial é dado pelos seus componentes (agregados e ligante), construção e condições da rodovia (Buss *et al.*, 2018). De acordo com Adams *et al.* (2019), as taxas de ligante e agregados indicadas em projeto não são as aplicadas em campo, e essas diferenças e variações, bem como a ineficiência dos métodos de dosagem são as prováveis causas dos defeitos citados.

Alguns estudos já foram conduzidos com o objetivo de estimar o tempo para ocorrência de falhas nos pavimentos, inclusive em estruturas com TS. Essa preocupação é antiga como pode ser vista em Barksdale e Leonards (1967), por exemplo. No Brasil, poucos trabalhos foram desenvolvidos nesse sentido, como o estudo conduzido por Soncim *et al.* (2013) para rodovias da Bahia que analisaram o Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) com base nos fatores: idade do pavimento, tráfego e pluviometria, e obtiveram um coeficiente de correlação $R=0,83$. Soncim *et al.* (2014) também buscaram desenvolver um modelo de previsão de área de desgaste utilizando os mesmos fatores do estudo anterior e obtiveram um $R=0,74$.

Dong e Huang (2015) analisaram a vida útil em pavimentos que receberam TS (*fog seal*, tratamento superficial simples, lama asfáltica e uma sobreposição de camada esbelta) como atividade de manutenção, com o uso de modelo de análise de sobrevida e testes estatísticos de hipóteses, estimando a ocorrência de falhas. Os indicadores de desempenho foram: IRI, afundamento de trilha de roda, trincas e atrito. Outros dados utilizados foram: tráfego, clima, idade e dados estruturais do pavimento. Os autores encontraram correlação, porém, indicaram que outros parâmetros devem influenciar na ocorrência de defeitos e que poderiam ser incorporados, tais como: taxa de aplicação do ligante e do agregado, preparo da superfície, tipo de tratamento, tipo de material e etapas construtivas.

Para identificar um padrão, pode-se utilizar *data mining*, que é um processo adequado para esse fim, pois ajuda a localizar e descrever padrões estruturais nos dados (Abdallh *et al.*, 2016). Já a estatística de sobrevida (ou sobrevivência) é muito utilizada na área de saúde para prever doenças e estimativa de vida de pacientes. A análise de sobrevida permite calcular, com base nos modelos de taxa de risco, o tempo em que determinado evento irá ocorrer (Washington *et al.*, 2011) baseando-se em variáveis que podem interferir nesses resultados.

3. METODOLOGIA

3.1. Etapa 1

Essa etapa corresponde à identificação de correlação entre os parâmetros de pavimentos com

tratamento superficial e a vida útil, através da investigação e discussão acerca de pavimentos que usam TS como camada principal e de reforço. Sendo assim, serão levantadas as seguintes informações: (i) dimensionamento das camadas e dosagem do revestimento; (ii) materiais utilizados e suas propriedades físicas, químicas e mecânicas; (iii) dados acerca da execução das camadas do pavimento; (iv) dados de levantamento funcional e estrutural, coletados por meio de imagens fotográficas e identificados através de processamento digital de imagens (PDI); (v) outros dados que possam ser demandados no decorrer da pesquisa e auxiliem na compreensão dos defeitos. Esses dados serão obtidos em teses, dissertações e artigos, bem como no órgão gestor de rodovias no estado do Ceará (Superintendência de Obras Públicas - SOP). Quando necessário, também serão realizados levantamentos de campo para complementação das informações.

3.2. Etapa 2

Essa etapa prevê o uso de *machine learning* para reconhecimento de padrões entre as características do pavimento com tratamento superficial e a ocorrência dos defeitos. Para tanto, serão necessários dados inerentes à condição atual dos pavimentos da rede rodoviária do Ceará, bem como informações acerca da etapa construtiva. Assim, será definido um sistema de gerenciamento dos dados obtidos na etapa anterior, para aplicação da técnica de *data mining*. Essa etapa busca a obtenção de um modelo matemático que servirá de apoio para os cálculos da Etapa 3.

3.3. Etapa 3

Essa é a etapa onde ocorrerá a análise da estimativa de tempo de vida de pavimentos com tratamento superficial. As previsões ocorrerão com base no modelo de análise de sobrevivência que permite calcular, em função dos modelos de taxa de risco, o tempo em que determinado evento irá ocorrer, baseando-se em variáveis que podem interferir nesses resultados. No caso deste estudo, as variáveis que possuem padrões identificados na etapa correlata serão utilizadas para estimar em quanto tempo um determinado defeito pode surgir.

3.4. Etapa 4

Nessa etapa será utilizada a *Multicriteria Decision Aid* (MCDA) na análise de estratégias de manutenção e reabilitação em pavimentos com TS. De posse das informações dos trechos analisados, dos levantamentos executados, e dos padrões existentes, será necessário definir um método para que órgãos e gestores possam realizar a gerência dos seus pavimentos. Esse programa conterà os dados de levantamento dos pavimentos com TS, indicando a necessidade e prioridade de conservação e manutenção para as vias que apresentem problemas. O MCDA permite a identificação dos parâmetros mais importantes a serem considerados, possibilita o peso diferenciado para esses e, por meio de uma equação, gera um sistema de pontuação que resulta na classificação dos trechos. Para a aplicação dessa metodologia, serão consultados (para *brainstorming* e atribuição de pesos) especialistas em transportes que trabalham em órgãos gestores e empresas terceirizadas, docentes e pesquisadores da área.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

No momento, o banco de dados está sendo alimentado com informações obtidas de trabalhos acadêmicos e estudos já finalizados. Será iniciada a coleta de informações do órgão gestor da malha rodoviária estadual do Ceará, através da consulta aos dados de projetos rodoviários já desenvolvidos.

Também serão consideradas as imagens dos levantamentos de condição do pavimento, realizados sob demanda do órgão gestor rodoviário estadual de forma terceirizada. Para tanto, está sendo utilizado o processamento digital de imagem (PDI), com aplicação de Inteligência Artificial, com intuito de aumentar a produtividade das análises e eliminar algum viés decorrente da análise de um técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallh, M. M. A.; Bilal, K. H.; Babiker, A. (2016) Machine Learning (Pattern Recognition) Review. *International Journal of Engineering, Applied and Management Sciences Paradigms*, Vol. 36, Issue 01. Publishing Month: June 2016.
- Adams, J.; Castorena, C.; Kim, Y. R. (2019) Construction quality acceptance performance-related specifications for chip seals. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 6, n. 4, p. 337–348, 8 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.255.
- Barksdale, R. D.; Leonards, G. A. (1967) *Predicting performance of bituminous surfaced pavements*. Proceedings, Second International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Boz, I.; Kumbarger, Y. S.; Kutay, M. E. (2019) Performance-based percent embedment limits for chip seals. *Transportation Research Record*, v. 2673, n. 1, p. 182–192, 1 2019. DOI: 10.1177/0361198118821370.
- Buss, A.; Guirgui, M.; Gransberg, D. (2018) Chip seal aggregate evaluation and successful roads preservation. *Construction and Building Materials*, v. 180, n. 1, p. 396–404, 8 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.255.
- Cabral, W. S.; Barroso, S. H. A. (2018) *Avaliação da deformação permanente do subleito de vias não pavimentadas da microrregião de Mossoró/RN*. In: 32 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Gramado: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte - ANPET, 2018.
- CNT (2020) *Pesquisa CNT de Rodovias 2019 – Relatório Gerencial*. Confederação Nacional do Transporte - CNT. SEST/SENAT. Brasília, 2020.
- Dong, Q.; Huang, B. (2015) Failure Probability of Resurfaced Preventive Maintenance Treatments - Investigation into Long-term Pavement Performance Program. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2481, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2015, pp. 65–74. DOI: 10.3141/2481-09.
- Kim, Y. R.; Lee, J. (2005) *Optimizing Gradations for Surface Treatments*. Final Report to North Carolina Department of Transportation. NCSU, North Carolina.
- Loiola, P. R. R. (2009) *Estudo de Agregados e Ligantes Alternativos para Emprego em Tratamentos Superficiais de Rodovias*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Pierce, L. M.; Kebede, N. (2015) *Chip Seal Performance Measures - Best Practices*. Washington, DC, 2015.
- Soncim, S. P.; Fernandes Jr., J. L.; Campos, L. E. P. (2013) Modelo de desempenho de irregularidade longitudinal desenvolvido com base em dados da rede de rodovias em tratamento superficial duplo do Estado da Bahia. *Transportes*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, pp. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v22i2.763>.
- Soncim, S. P.; Fernandes Jr., J. L.; Campos, L. E. P. (2014) Modelo de previsão da área de desgaste em pavimentos rodoviários com revestimento em tratamento superficial. *Transportes*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, pp. 51-61. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v22i2.763>.
- SOP (2019) *Informativo Gerencial 2018*. Superintendência de Obras Públicas - SOP. Fortaleza, 2019. Secretaria de Infraestrutura do Governo do Estado do Ceará.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G.; Mannering, F. L. (2011) *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Second Edition, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.

Antonia Fabiana Marques Almeida (fabiana@det.ufc.br)
Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)
Suely Helena de Araújo Barroso (suely@det.ufc.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
R. Prof. Armando Farias, Bloco 703 – Campus do Pici, Fortaleza, CE, Brasil