

**SISTEMA DE GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO  
EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS:  
um Estudo de Caso em Viçosa- MG**

**Laura Carine Pereira Ribeiro<sup>1</sup>**

**Laísa Cristina Carvalho<sup>2</sup>**

**RESUMO**

O estado de Minas Gerais, Brasil, possui aproximadamente 272063 km de malha rodoviária, e deste total, aproximadamente 90% são estradas não pavimentadas. As estradas pavimentadas se deterioram de condições excelentes a ruins, geralmente em cerca de 10 anos, e as estradas não pavimentadas se deterioram às vezes em menos de um ano. Essa taxa de deterioração precisa ser considerada no desenvolvimento de uma nova metodologia para gerenciá-los de forma eficiente, porque quando o orçamento é limitado, é importante identificar a melhor “combinação de estratégias de preservação de estradas” para otimizar o custo do ciclo de vida da rede rodoviária não pavimentada. Este estudo pretende desenvolver um sistema de gestão utilizando técnicas de otimização para a gestão de estradas não pavimentadas. Um modelo de deterioração probabilístico foi criado usando o processo Markoviano resultando em curvas precisas. Este sistema de otimização irá facilitar a implementação em todo o estado de um sistema de gestão de estradas não pavimentadas, além de que esta metodologia pode ser facilmente adotada por outras áreas interessadas na gestão de todos os tipos de estradas.

Palavras-chave: estradas não pavimentadas, sistema de gerência, avaliação de estradas.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Sul de Minas.

<sup>2</sup> Prof. Me. Laísa Cristina Carvalho. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Minas Gerais, mestre e doutoranda em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos.

## 1 INTRODUÇÃO

No estado de Minas Gerais, Brasil, as estradas não pavimentadas são gerenciadas por agências locais que efetuam mais trabalhos de manutenção e reabilitação do que trabalhos em gerenciamento. Além disso, essas agências têm recursos muito limitados e operam sem planos de longo prazo. No geral, não há diretrizes disponíveis ou estratégias consistentes seguidas no estado para gerenciar esses tipos de estradas.

Como resultado, este trabalho foi pensado no processo de desenvolvimento de um novo Sistema de Gerenciamento de Estradas Não Pavimentadas (SGENP). Esses sistemas de gerenciamento destinam-se a fornecer práticas viáveis para ajudar as agências locais a lidar com os vários desafios associados à manutenção de estradas não pavimentadas e pavimentadas.

De acordo com as atuais condições funcionais das estradas não pavimentadas, é possível gerar uma curva para prever como serão suas condições futuras controlando as principais variáveis do processo. Criadas essas curvas, será possível criar um sistema de gerenciamento de estradas não pavimentadas.

O esforço necessário para reabilitar as estradas regulares e ruins, transformando-as novamente em boas rodovias é enorme, exigindo grandes investimentos. O abandono dos trabalhos de recuperação da malha rodoviária brasileira eleva os custos uma vez que as estradas já deterioradas tornar-se-ão rapidamente piores enquanto que as estradas em boas condições tenderão a transformar-se em regulares e, posteriormente, ruins. Cada padrão de rodovia, cada categoria de usuário, exige um pavimento com características diferentes e, portanto, que deve ser avaliado de maneira compatível (NISHIYAMA e DOMINGUES, 1995). Assim, é importante que o órgão rodoviário, responsável por determinada malha de rodovias, tenha critérios próprios para avaliar os pavimentos de suas estradas, em função das solicitações dos usuários, do custo ótimo para a sociedade e, dos padrões técnicos pertinentes como o escoamento da produção.

Dessa forma, este trabalho teve como intuito guiar empresas, órgãos governamentais e/ou universidades na realização da manutenção em estradas não pavimentadas com o melhor custo-benefício, visto que o orçamento do governo para este fim não é suficiente para manter todas as estradas em excelentes condições.

Os objetivos específicos foram a análise da condição de uma via não pavimentada, a criação de modelos de deterioração destas estradas, a criação de um sistema de manutenção e a otimização da manutenção em estradas não pavimentadas.

O objetivo geral foi analisar as condições de uma estrada não pavimentada da cidade de Viçosa, Minas Gerais utilizando a metodologia do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Esta estrada foi dividida em 18 trechos de 200m representativos e homogêneos. Depois de efetuadas as avaliações funcionais, foi realizado uma análise econômica para otimizar a manutenção de estradas com um orçamento específico. Por fim, foi criado um sistema de gerenciamento de manutenção para estradas não pavimentadas reunindo todos os dados obtidos nas etapas anteriores.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Estradas não pavimentadas e o problema atual**

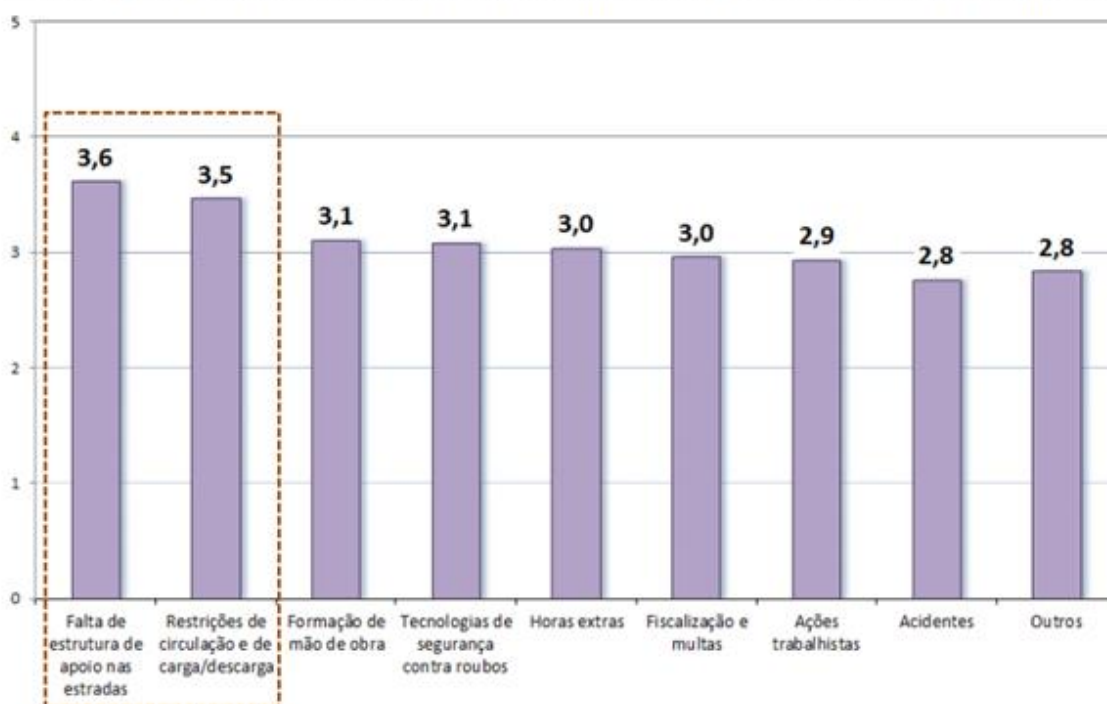
A consolidação do modal rodoviário como sistema preferencial de transporte no período de 1950 a 1970 no Brasil, teve como determinante o seu baixo custo de implantação por quilômetro em relação aos outros tipos de transportes e por ser o sistema que possibilita uma ampliação gradual de capacidade, atendendo a demanda conforme ela se apresenta (SCHMIDT, 2011).

Segundo a CNT (2017) o custo do transporte é parte importante na formação do preço dos bens. Na proporção em que os custos de transporte diminuem os preços dos bens também diminuem, aumentando rapidamente o comércio, a produção da indústria aumenta ocorrendo o crescimento econômico. Quando a infraestrutura de transporte é de baixa qualidade, com falta de manutenção e investimentos, ocasiona perdas aos produtores e também para a sociedade de forma geral. O faturamento bruto deste conjunto de empresas que depende do transporte rodoviário equivale a 15,4% do PIB brasileiro em 2017. Porém, o custo logístico total nos últimos anos dessas empresas, como percentual médio do faturamento bruto de 15,4%, cresceu de 11,52% em 2014 para 12,37% em 2017, representando um incremento de 7,4% (FDC, 2017).

Este crescimento no custo do transporte se deu principalmente pela falta de manutenção das estradas, que cada vez mais degradadas não conseguem suportar a carga que os caminhões transportam. Além deste fator principal, estão listados na Figura 1 os outros fatores que influenciam no custo do transporte brasileiro.

**Figura 1:** Impacto de fatores diversos no aumento extra dos custos logísticos.

Média geral ponderada, entre 1 (sem impacto) e 5 (extremamente impactante)



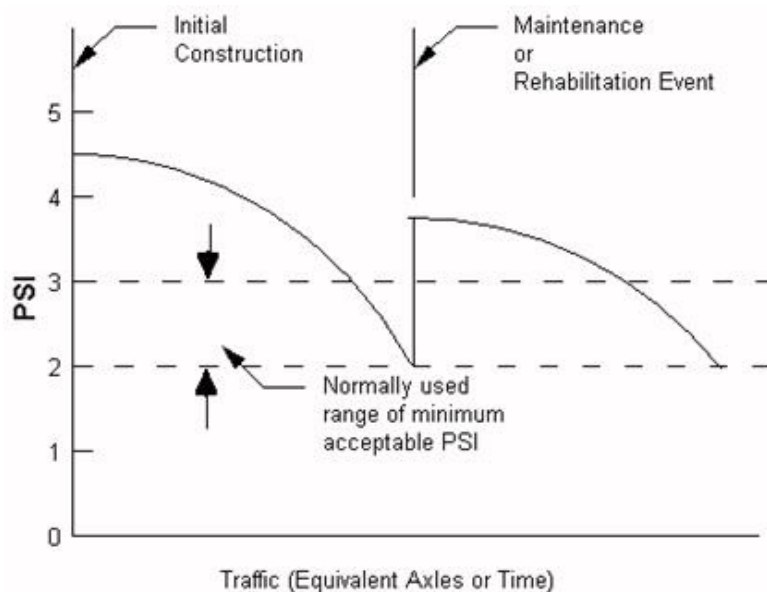
Fonte: FDC, 2017.

A degradação das estradas está intimamente ligada com o tráfego que nela existe, e com as manutenções realizadas ao longo da sua vida útil. Ao se construir uma estrada, pavimentada ou não, são utilizados índices e variáveis que dimensionam a superfície de rolamento a uma vida útil de x anos. Dentro desta vida útil, o DNER (DNER-PRO 007/94) apresenta o Índice de Serventia Atual (ISA) ou *Present Serviceability Index (PSI)* que consiste na capacidade de um trecho específico de pavimentos de proporcionar, na opinião do usuário, um rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego. Este valor representa o limite de boa trafegabilidade da estrada, ou seja, a partir deste valor de PSI a estrada não estará apta a suportar as cargas a que estão sendo solicitadas (DNIT, 2015).

Normalmente, neste valor de PSI os órgãos competentes fazem a manutenção que chamamos de “*worst-first pavement strategy*”, que consiste na reabilitação da estrada de uma condição ruim a uma boa. Contudo, por esta prática de manutenção ter um alto custo econômico e de tempo de manutenção, começaram a aparecer estudos sobre práticas com melhores custo-benefício. De acordo com o Departamento de Transporte do Estado de Washington, EUA, aplicando uma série de “*low-cost*” tratamentos de manutenção preventiva a cada poucos anos, a vida útil do pavimento é estendida, e o custo total da manutenção fica em torno de seis vezes menor que o custo da manutenção tradicional de reabilitação (WSDOT, 2016).

A Figura 2 representa o “*worst-first pavement strategy*”, como ele funciona e quando é acionado.

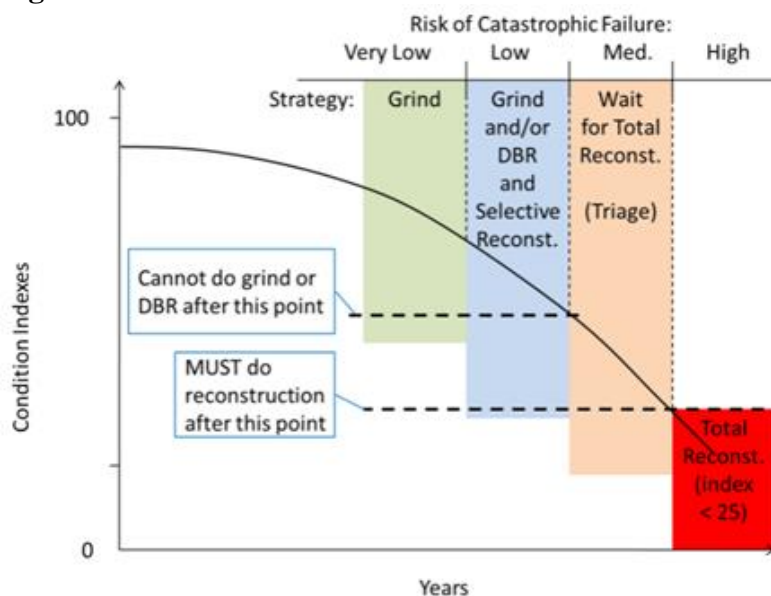
**Figura 2:** Conceito de performance do pavimento usando o PSI.



**Fonte:** Hveem and Carmany, 1948.

Enquanto a Figura 2 apresentou o “*worst-first pavement strategy*”, a Figura 3 abaixo apresenta as práticas de manutenção preventivas disponíveis a serem executadas antes do PSI.

**Figura 3:** Possibilidades de manutenção.



**Fonte:** WSDOT, 2016.

## 2.2 Cadeias de Markov

Para fazer um diagnóstico confiável da atual situação da estrada, primeiro é necessário aplicar modelos determinísticos ou probabilísticos para prever as condições futuras de cada trecho da estrada. (HASSAN, LIN, THANANJEYAN, 2015). Informações confiáveis sobre a idade da estrada e a história do tráfego envolvido são cruciais para o sucesso dessa comparação. O resultado dessa análise será o esclarecimento dos mecanismos predominantes de degradação e a seleção do modelo de desempenho mais adequado à realidade das estradas para prever a necessidade futura (LETHANH and ADEY, 2013).

Os métodos comumente usados no Brasil são os determinísticos, elaborados a partir de extrapolações teóricas e racionais de modelos observacionais obtidos pelo acúmulo de dados e experiências (BALBO, 2007). No entanto, este método é limitado e deve ser usado apenas quando nenhuma outra técnica avançada estiver disponível.

Por outro lado, existem métodos probabilísticos de projeto que utilizam teorias para prever tensões e deformações de cargas de tráfego e mudanças climáticas, que podem ser comparadas às tensões resistentes dos materiais (NETO, 2004). O uso desses métodos probabilísticos resulta em vantagens consideráveis, incluindo melhor projeto, confiabilidade, previsão de defeitos específicos, possibilidade de extrapolação dos resultados de campo e compatibilidade entre custo e benefício (AASHTO, 2001). Atualmente, o processo markoviano é a técnica probabilística mais popular usada para desenvolver um modelo de deterioração.

O processo markoviano é baseado na premissa de que a evolução futura depende exclusivamente do estado atual da estrada. Os dados históricos podem ajudar a melhorar a previsão de condição futura, mas não é obrigatório. Em outras palavras, o estado atual da condição sempre influenciará o próximo estado da condição (LETHANH and ADEY, 2013).

Deve-se notar que a transição de estado de um processo estocástico pode ou não depender do período decorrido. Quando essa transição depende da variável tempo ( $t$ ), diz-se que o processo não é homogêneo, caso contrário, é chamado de homogêneo (STEWART, 2009). O processo markoviano usado neste trabalho foi não homogêneo. Para prever a evolução da deterioração de uma estrada de cascalho através do processo Markoviano, é necessário primeiro definir o número de condições ( $k$ ) a serem consideradas para a avaliação. A matriz de transição com a dimensão  $k \times k$  com a seguinte forma é usada para avaliar a probabilidade de transição dos estados (ORTIZ-GARCIA, COSTELLO, SNAITH, 2006):

$$P_{\Delta t} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1k} \\ 0 & p_{22} & \dots & p_{2k} \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

O valor unitário apresentado nesta matriz ( $P_{\Delta t}$ ) corresponde ao valor máximo de entrada, para cada evento. A razão para o valor de probabilidade  $p_{kk}$  se deve ao fato de não haver mais estado de condição após o estado  $k$ , pois é um valor limitado. A probabilidade de transição de um estado  $i$  para um estado  $j$ , para um intervalo de tempo genérico ( $\Delta t$ ), é representada por  $p_{ij}$ , com  $i = j = 1, \dots, k$ , e determinada da seguinte forma (YANG, 2004):

$$p(\Delta t)_{ij} = \text{Prob}(X_{t+\Delta t} = j \mid X_t = i) \quad (2)$$

Através desta equação, é possível demonstrar que o estado do pavimento no momento da avaliação ( $t + \Delta t$ ) depende exclusivamente do estado anterior no momento inicial ( $t$ ).

### 2.3 Sistema de Gerenciamento de Estradas Não Pavimentadas (SGENP)

O termo Sistema de Gerenciamento de Estradas Não Pavimentadas (SGENP) pode ser entendido como a coordenação eficiente e integrada das várias atividades envolvidas no projeto, construção e manutenção de estradas de gravilha que fazem parte de uma infraestrutura viária (rodoviária, aeroporto ou urbana), para permitir que eles forneçam condições aceitáveis ao usuário a um custo mínimo. Essencialmente, o SGENP é um conjunto de ferramentas ou métodos para ajudar os tomadores de decisão a encontrar estratégias ideais para construir, avaliar e manter as superfícies em uma condição funcional aceitável durante um período com um orçamento selecionado (MISHRA, et. al., 2015).

Ao considerar a infraestrutura, onde a rede rodoviária possui extensão significativa e sujeita ao tráfego de carga é comum, o SGENP tende a operar no nível da rede e do projeto de maneira associada. No nível da rede, há um planejamento adequado do orçamento, a alocação de recursos e a seleção do projeto. Por outro lado, no nível do projeto, é possível encontrar a manutenção de reparo mais econômica para cada trecho da estrada (RAGNOLI, BLASIIS and BENEDETTO, 2018).

O estabelecimento de um SGENP se torna ainda mais importante quando as condições da estrada são ruins e os recursos são limitados. O objetivo principal é usar dados históricos confiáveis para tomar uma decisão cuidadosa de executar um programa de manutenção com uma metodologia organizada. Assim, um bom SGENP procura definir estratégias de manutenção buscando minimizar o custo e obter um amplo retorno sobre os recursos aplicados, aumentando a vida útil (NISHIYAMA and DOMINGUES, 1995).

Um SGENP de qualidade deve procurar aumentar a eficiência da tomada de decisões enquanto informa os usuários das conseqüências das decisões tomadas em vários níveis. Além disso, o SGENP deve garantir consistência entre as decisões tomadas, definir a estratégia de manutenção que minimiza o custo do transporte rodoviário, obter o melhor retorno dos recursos aplicados por meio de um transporte seguro, confortável e econômico, além de otimizar o uso dos atributos destinados à manutenção da infraestrutura viária. Para atingir todos esses objetivos, um SGENP deve ter a capacidade de atualizar-se constantemente considerando estratégias alternativas, ser capaz de determinar a opção ideal e usar o feedback para melhorar a tomada de decisão geral (ALEADELAT, WRIGHT and KSAIBATI, 2018).

O projeto, o banco de dados e a análise são as três partes consideradas para a implementação de um SGENP. Ao considerar o projeto, os métodos e procedimentos para criar um sistema são revisados e o plano de implementação é desenvolvido. Nesta fase, são necessários impactos sociais para obter apoio político. Durante o segundo estágio, a coleta de dados é implementada, estabelecendo os procedimentos de coleta, desenvolvendo o banco de dados e relatando os resultados. Na terceira etapa, a análise é implementada usando modelos de deterioração e árvores de decisão, a fim de gerar programas de reabilitação prioritários, verificando os efeitos de diferentes níveis orçamentários e atendendo aos requisitos padrão especificados para cada caso. Atualmente, para implementar um SGENP, os únicos problemas são a limitação de profissionais qualificados e a disponibilidade de recursos materiais (DOMINGUES, 1995).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a construção do sistema de gerência, inicialmente foram escolhidos os trechos piloto. Os trechos de interesse foram visitados na região de Viçosa - MG para observar suas condições de serventia. Em seguida, foram feitos os levantamentos dos principais defeitos e foram coletadas também informações do tráfego de caminhões que utilizam a via (volume médio diário de veículos nos dois sentidos, tipos de veículo e carga dos mesmos) com a prefeitura de



Viçosa, MG. Ainda em conformidade com a prefeitura, foram fixados o número e a extensão dos trechos experimentais em função, dentre outros, dos tipos de tratamentos a serem empregados.

Foi providenciado o levantamento topográfico planialtimétrico georreferenciado da área onde os trechos escolhidos foram projetados e adjacências, para facilitar o entendimento da geometria da via e para o estudo da drenagem. Este levantamento topográfico foi cedido pelo Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa.

Posteriormente, foram identificados e avaliados todos os defeitos encontrados nos trechos experimentais por uma equipe de cinco pessoas e usar todo o banco de dados disponível e comparar as avaliações. A equipe foi formada pelo autor do trabalho acrescido de mais quatro (4) estudantes.

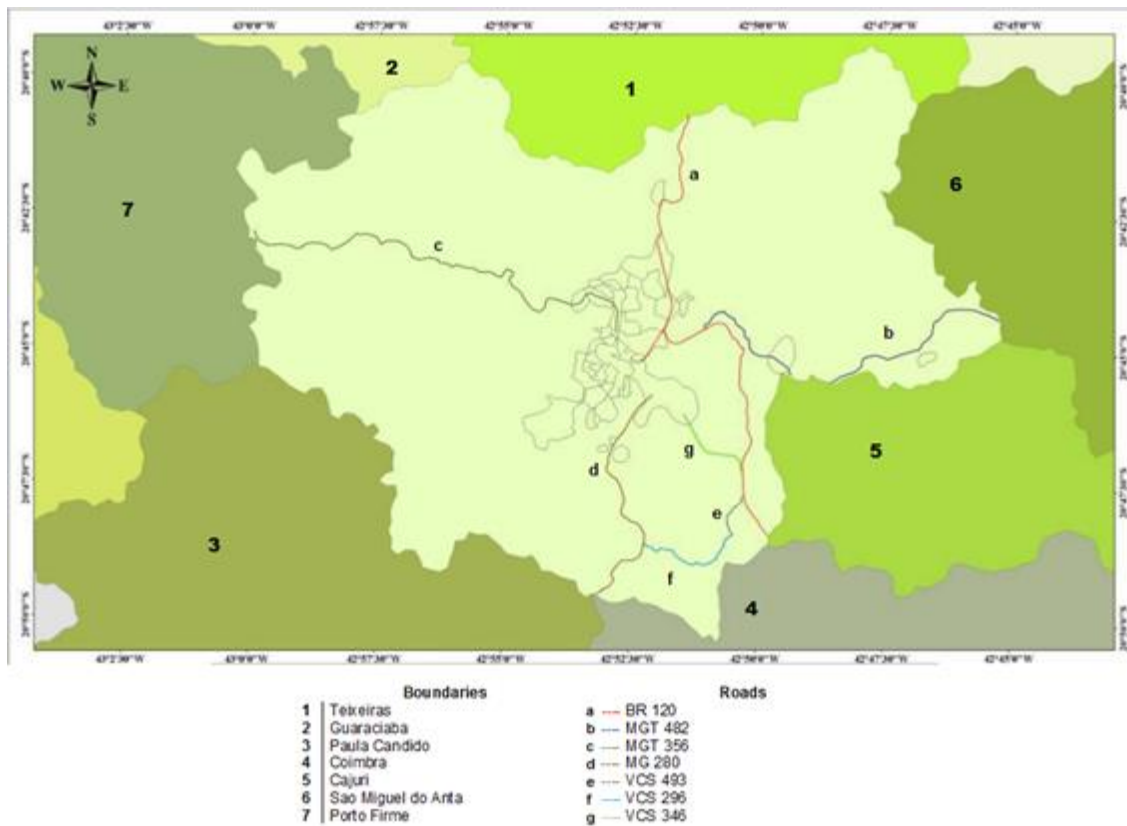
Depois de comparadas as avaliações atuais com o banco de dados, foi utilizado o método estatístico chamado processo de Markov para, de acordo com as informações geradas, criar uma curva de deterioração do pavimento capaz de prever as condições futuras dos trechos selecionados.

Por fim, foi desenvolvido a partir dos dados coletados, um sistema de gerenciamento de manutenção dos trechos representativos da malha rodoviária da cidade de Viçosa- MG.

## RESULTADOS

A cidade de Viçosa tem 300,5 km<sup>2</sup> e está localizada na Zona da Mata Norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. Viçosa fica a 229 km da capital Belo Horizonte com latitude entre 20 ° 41 '20 "S e 20 ° 49' 35" S, longitude entre 42 ° 49 '36 "W e 42 ° 54' 27" W, e cota de 650 metros. A norte faz fronteira com as cidades de Teixeira e Guaraciaba, a sul Paula Cândido e Coimbra, a leste Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste a cidade confina com Porto Firme. O estudo baseou-se na estrada VCS 296 com 4,1 km de extensão e fácil acesso à cidade, conforme ilustrado na Figura 4. A coleta de dados foi feita em dois anos distintos, 2019 e 2020.

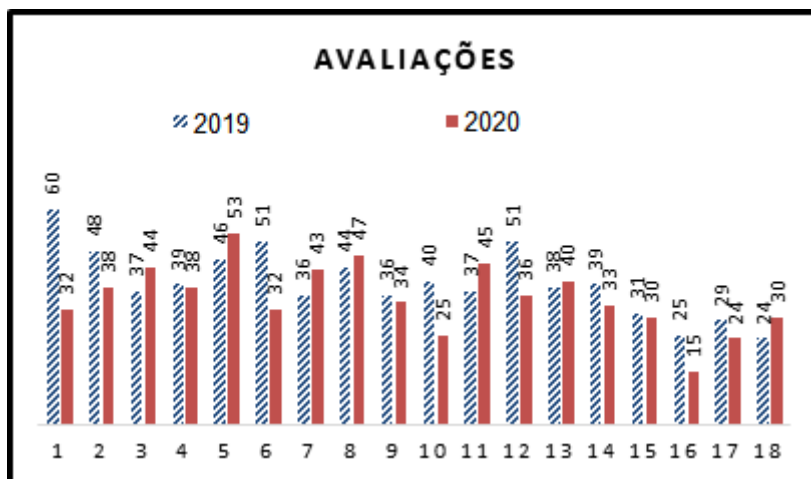
**Figura 4:** Localização geográfica da área de estudo.



Fonte: A Autora.

No início do mês de abril dos anos 2019 e 2020, após o período de chuvas, foram coletadas as avaliações funcionais dos 18 trechos selecionados. A Figura 5 mostra os resultado da avaliação subjetiva realizada pela equipe.

Figura 5: Resultado das avaliações funcionais nos trechos selecionados nos anos de 2019 e 2020.

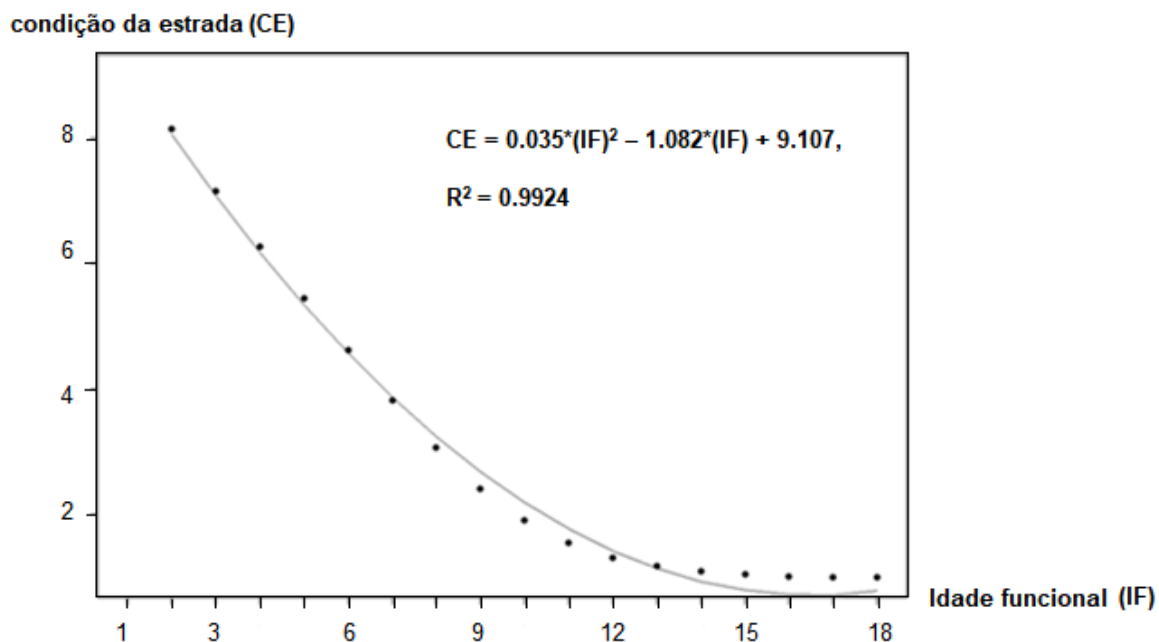


Fonte: A autora.

De posse desses dados, foram usadas as cadeias de Markov para descobrir a idade funcional da estrada e prever a condição funcional das estradas em anos futuros. A partir da

matriz de probabilidade, foram usadas técnicas de regressões para transformar a matriz em uma equação que será apresentada na Figura 6.

**Figura 6:** Curva de deterioração representativa aos trechos selecionados.



**Fonte:** A autora.

Por fim, foi criado o sistema de gerência de estradas não pavimentadas para a região de Viçosa- MG. O sistema foi criado no software Excel com o uso das funções estatísticas do próprio programa.

A metodologia foi aplicada como um estudo de caso na malha rodoviária não pavimentada composta por 18 segmentos rodoviários em Viçosa, município da Zona da Mata, Minas Gerais. Esta metodologia incluiu uma otimização multinível maximizando a condição geral da estrada e minimizando o custo do ciclo de vida. Como as estradas não pavimentadas exigem o próximo nível de manutenção a cada 3 meses, a metodologia foi aplicada para identificar a melhor combinação de projetos de preservação de estradas em um período de tempo semelhante. O orçamento de 3 meses foi determinado pelo custo de um único projeto aplicando o tratamento mais caro.

Primeiro foram colocados os “inputs” ou dados de entrada na planilha gerencial como mostra a Figura 7.

**Figura 7:** Exemplo de arquivo CSV para executar a ferramenta de manutenção.

Entrar com os dados

Segment	PSI	Length	Type of Soil	PSI%	Treatment Type	Cost per treatment	Total Cost
1	3	1	1,94	3	1,94	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 6.128,460,00
3	2	1,8	0,91	2	1,638	3-R \$ 112.387,00	\$ 302.272,17
4	3	2,81	0,62	1	1,7422	1-R \$ 20,000,00	\$ 12,400,00
5	4	2,51	0,65	3	1,6315	GM \$ 1,600,00	\$ 1,040,00
6	5	1,5	1,02	2	1,53	3-R \$ 112.387,00	\$ 314.634,74
7	6	0,88	0,13	1	0,1144	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 410,670,00
8	7	1,63	0,27	2	0,4401	3-R \$ 112.387,00	\$ 30.344,49
9	8	0,89	1,52	2	1,3528	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 4.801,680,00
10	9	1,8	0,57	3	1,026	2-R \$ 518,000,00	\$ 295,260,00
11	10	1,03	1,18	2	1,2154	3-R \$ 112.387,00	\$ 332,616,66
12	11	1,19	1	1	1,19	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 3.159,000,00
13	12	3,06	2,65	2	8,109	GM \$ 1,600,00	\$ 4,240,00
14	13	1,22	0,26	2	0,3172	3-R \$ 112.387,00	\$ 29,220,62
15	14	1,63	0,56	1	0,9128	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 1.769,040,00
16	15	0,9	0,13	1	0,117	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 410,670,00
17	16	0,93	0,9	3	0,837	4-R \$ 3.159,000,00	\$ 2.843,100,00
18	17	1,22	0,6	3	0,732	2-R \$ 518,000,00	\$ 310,800,00
19	18	2,34	1,3	2	3,042	2-R \$ 518,000,00	\$ 673,400,00
20		Sum		Sum			
21		14,91		34,8454			

Number	Type of Soil
1	clay
2	silt
3	sand

**Fonte:** A autora.

Acesse a planilha “DO NOTHING” e selecione a opção “GOAL SEEK” na guia de dados. O resultado, conforme mostra a Figura 8, será a idade de acordo com o modelo de deterioração.

**Figura 8:** Exemplo executando a planilha “DO NOTHING”.

Goal Seek para encontrar a idade (x) de acordo com o modelo de deterioração.

Segment	PSI	Length	Type of Soil	PSI%	Treatment Type	Age(x)	PSI(x)	PSI(x)	PSI(x)
1	3	1	1,94	3	1,94	11,77179007	1,000000000	0,331	1,781549999
3	2	1,8	0,91	2	1,638	8,888487878	1,800000000	1,72	1,643992000
4	3	2,81	0,62	1	1,7422	7,7748822	2,810000000	2,73	1,891543500
5	4	2,51	0,65	3	1,6315	8,955194308	2,510000000	2,40	1,578208800
6	5	1,5	1,02	2	1,53	10,81194818	1,500000000	1,40	1,44800720
7	6	0,88	0,13	1	0,1144	11,8899944	0,880000000	0,80	0,10175840
8	7	1,63	0,27	2	0,4401	10,4242982	1,630000000	1,50	0,41810780
9	8	0,89	1,52	2	1,3528	13,4187528	0,890000000	0,81	1,17830180
10	9	1,8	0,57	3	1,026	8,888487878	1,800000000	1,72	0,87982780
11	10	1,03	1,18	2	1,2154	11,5889990	1,030000000	0,95	1,12938750
12	11	1,19	1	1	1,19	11,8899944	1,190000000	1,11	1,10812520
13	12	3,06	2,65	2	8,109	1,83861588	3,060000000	1,88	7,80138050
14	13	1,22	0,26	2	0,3172	11,77179007	1,220000000	1,14	0,29980420
15	14	1,63	0,56	1	0,9128	10,4242982	1,630000000	1,50	0,86178830
16	15	0,9	0,13	1	0,117	17,38882214	0,900000000	0,82	0,10845380
17	16	0,93	0,9	3	0,837	12,1584088	0,930000000	0,85	0,76324080
18	17	1,22	0,6	3	0,732	11,77179007	1,220000000	1,14	0,68185050
19	18	2,34	1,3	2	3,042	10,77163274	2,340000000	0,82	1,58909720
20		Sum		Sum					
21		14,91		34,8454					23,83
22				Overall PSI				Overall PSI	1,14

PSI depois de 1 ano se decidir DO NOTHING

**Fonte:** A autora.

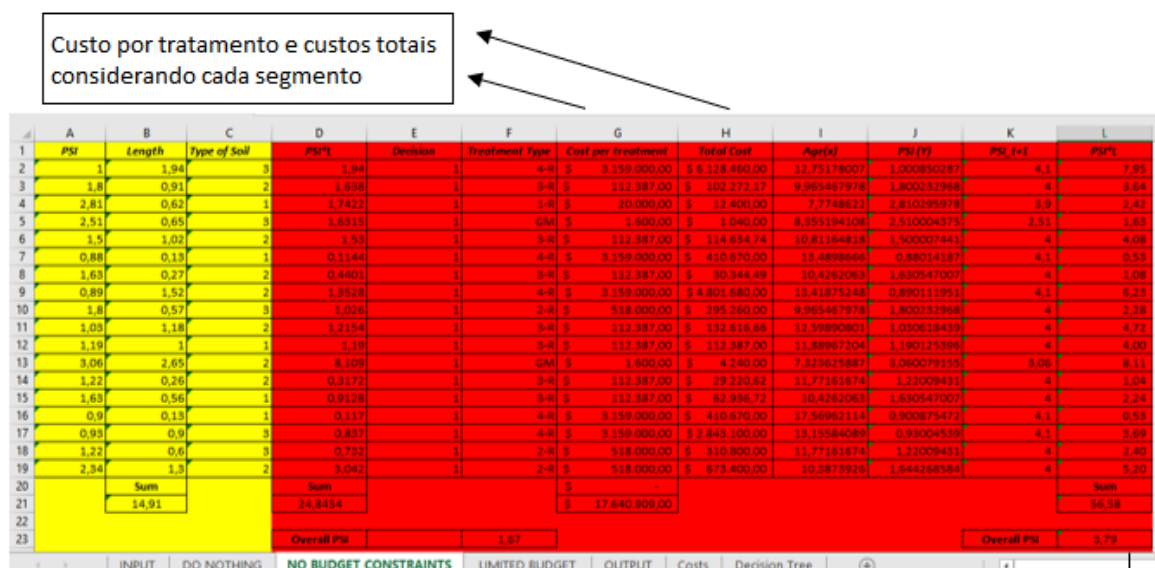
Se foi decidido realizar alguma manutenção no pavimento das estradas, é necessário considerar os constrangimentos. Se não houver restrição, vá para a planilha “SEM RESTRIÇÕES ORÇAMENTAIS” e selecione a decisão (coluna E) como 1 \*, conforme mostra a Figura 9.

\* Decisão 0 = sem manutenção

Decisão 1 = manutenção

O resultado lhe dará o PSI geral após todas as manutenções e seu custo total.

**Figura 9:** Exemplo de execução da planilha “NO BUDGET CONSTRAINTS”



Fonte: A autora.

Se foi decidido realizar alguma manutenção no pavimento das estradas, é necessário considerar os constrangimentos. Se houver uma restrição de orçamento, vá para a planilha “ORÇAMENTO LIMITADO”, vá para a guia de dados e SOLVER. Selecione as opções como mostra a Figura 10 com o orçamento disponível e pressione SOLVER.

\* Decisão 0 = sem manutenção

Decisão 1 = manutenção

O resultado fornecerá o PSI geral após todas as manutenções e seu custo total considerando as restrições conforme mostra a Figura 11.

**Figura 10:** Entradas no solver.

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo: SMS93

Para:  Máx.  Mín.  Valor de: 0

Alterando Células Variáveis: \$F\$2:\$F\$89

Sujeito às Restrições:

- \$F\$2:\$F\$89 <= 1
- \$F\$2:\$F\$89 = número inteiro
- \$I\$191 <= 20000000

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução: Evolutionary

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolvet Fechar

Fonte: A autora.

**Figura 11:** Exemplo de execução da planilha de “ORÇAMENTO LIMITADO”.

Solver para decidir se os segmentos serão mantidos (1) ou não (0).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	PSI	Length	Road Width	Rut	PSI/L	Decision	Treatment Type	Cost per treatment	Total Cost	Y (psi)	Age (Y)	PSI 1+1	PSI/L
2	1	35	7	0.40	35	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	1.0001	21.75	0.95	33.41
3	2	9	7	0.40	18	1.2-R	FALSO	\$ 308.000,00	\$ 2.772.000,00	2,000827	11,77	4	36,00
4	3	6,5	7	0.40	19,5	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	18,19
5	3	45	7	0.40	135	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	125,94
6	2	10	7	0.50	20	1.2-R	FALSO	\$ 308.000,00	\$ 3.080.000,00	2,000827	11,77	4	40,00
7	3	32	3,8	0.51	96	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	89,56
8	2	17	6,5	0.53	34	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	2,000827	11,77	1,86	31,54
9	1	23	3	0.45	23	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	1,0001	21,75	0,95	21,95
81	2	4	4	0.25	8	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	2,000827	11,77	1,86	7,42
82	4	25	4	0.25	100	1.0M	FALSO	\$ 1.380,00	\$ 34.500,00	4,000008	1,79	4,00	100,00
83	2	151	4	0.50	302	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	2,000827	11,77	1,86	280,19
84	1	142	4	0.76	142	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	1,0001	21,75	0,95	135,53
85	3	256	4	0.48	768	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	716,47
86	4	198	4	0.48	792	1.0M	FALSO	\$ 1.380,00	\$ 273.240,00	4,000008	1,79	4,00	792,00
87	1	135	4	0.58	135	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	1,0001	21,75	0,95	128,85
88	3	86	4	0.55	258	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	240,69
89	3	15	4	0.58	45	0.0	FALSO	\$ -	\$ -	3,000029	6,17	2,80	41,98
90		Sum			Sum			Sum	Sum	4,463			Sum
91		14011,5			43023,00			\$ 19.883.100,00					41254,94
92													
93				Overall PSI	3,07								Overall PSI
94													2,94

Figura 5: Exemplo de execução da planilha “ORÇAMENTO LIMITADO”.

PSI após 1 ano se decidir manter as estradas com "LIMITED BUDGET". Nesse caso, o objetivo era manter o PSI e encontrar o custo mínimo para ele.

Fonte: A autora.

Para determinar o orçamento de todo o ano para estradas não pavimentadas, a metodologia foi aplicada 4 vezes em um ano e o orçamento total foi acumulado ao longo de 12 meses. Os resultados mostram que o custo de manutenção para um ano está estimado em aproximadamente R\$ 46.900,92 para estradas não pavimentadas. Também pode ser notado que quando um tratamento principal é aplicado, apenas tratamentos menores são necessários para os próximos anos em ambas as situações.

## **CONCLUSÕES**

No estado de Minas Gerais, há um total de 15.236 km de rodovias pertencentes e mantidas por entidades federais, estaduais e locais. Este estudo desenvolveu uma metodologia de otimização para desenvolver um sistema de gestão para estradas não pavimentadas. A metodologia desenvolvida identifica a melhor “combinação de projetos de preservação de estradas” que usa recursos disponíveis limitados.

A metodologia desenvolvida pode ser destacada da seguinte forma:

(i) O modelo para estradas não pavimentadas é adaptado especificamente para o município da Zona da Mata.

(ii) Esta metodologia considera que os tratamentos preventivos e de pequena reabilitação são mais econômicos do que a reconstrução.

(iii) Essa metodologia pode ser implementada em qualquer município do estado de Minas Gerais e pode ser utilizada por outros estados para o desenvolvimento de um sistema de gestão de estradas não pavimentadas. No entanto, para outros estados, algumas pequenas alterações na metodologia podem ser necessárias para refletir as condições locais.

(iv) O governo pode usar os resultados de uma otimização em todo o estado para alocar os recursos apropriados para administrar as estradas em Minas Gerais.

**UNPAVED ROADS MANAGEMENT SYSTEM:  
A Case Study Applied to Unpaved Roads from Viçosa, MG**

**Laura Carine Pereira Ribeiro**

**Laísa Cristina Carvalho**

**ABSTRACT**

The state of Minas Gerais, Brazil has approximately 272063 km of the road network, and approximately 90% of this total are unpaved roads. The paved roads deteriorate from excellent to failed conditions usually in around 10 years, and the unpaved roads deteriorate sometimes in less than a year. This deterioration rate needs to be considered when developing a new methodology for managing them efficiently, because when the budget is limited, it is important to identify the best “mix of road” preservation strategies to optimize the lifecycle cost of the unpaved road network. This study intends to develop a management system using optimization techniques for managing unpaved roads. A probabilistic deterioration model was created using Markovian processes resulting in accurate curves. This optimization system will facilitate a statewide implementation of unpaved roads management systems, and the methodology can be easily adopted by other areas interested in the management of all types of roads.

Keywords: unpaved roads, management system, roads evaluation



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, (2001). **AASHTO Pavement Management Guide**. Washington, DC: AASHTO.
- Aleadelat, W., Wright, C. H. G. and Ksaibati, K. (2018) ‘**Estimation of Gravel Roads Ride Quality Through an Android-Based Smartphone**’, *Transportation Research Record*, 2672(40), pp. 14–21. doi: 10.1177/0361198118758693.
- Balbo, J. T. (2007) **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2017**. Brasília: 2017. <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/>. Accessed Fev. 25 2020.
- DNIT (1994) - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 007/1994 – PRO - Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos- Procedimento**. Departamento Nacional de infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 7 p., 1994.
- DNIT (2015) - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Sistema Nacional de Viação**. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>.
- Domingues, F. A. A (1995) **Avaliação de pavimentos: Construção de índices de defeito**. In: 27ª reunião anual de pavimentação. São PauloSP. Anais.... p. 84-122. 1995.
- FDC – Fundação Dom Cabral (2017) **Custos logísticos no Brasil 2017**. Núcleo de Logística, Supply Chain e Infraestrutura, 2017. Disponível em: [www.fdc.org.br](http://www.fdc.org.br)
- .Hassan, R., Lin, O., and Thananjeyan, A., (2015). **Probabilistic modelling of flexible pavement distresses for network management**. *International Journal of Pavement Engineering*. doi:10.1080/10298436.2015.1065989.
- HVEEM, F. N. and CARMANY, R. M. (1948) **The Factors Underlying a Rational Design of Pavements. Proceedings**. Highway Research Board, 1948.
- Lethanh, N & Adey, B.T. (2013) **Use of exponential hidden Markov models for modelling pavement deterioration**. *International Journal of Pavement Engineering*, 14:7, 645-654, DOI: 10.1080/10298436.2012.715647
- Mishra, S., Golias, M.M, Sharma, S., and Boyles, S. (2015). **Optimal Funding Allocation Strategies for Safety Improvements on Urban Intersections**. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 75, pp. 113-133.
- Neto, R. S. B. (2004) **Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER e Mecânico e Proposta de um Catálogo Simplificado de**

**Pavimentos para a Região de Campo Grande.** (Doctoral dissertation). Universidade de Sao Paulo, 2004.

Nishiyama, E. S.; Domingues, F. A. A. (1995) **Atualização de custos e benefícios, para uso em sistemas de gerência de pavimentos.** In: 6ª reunião de pavimentação urbana. Anais...Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Laboratório de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes. LDTT/PTR/USP.1995.

Ortiz-García, J., Costello, S., and Snaith, M. (2006) **Derivation of transition probability matrices for pavement deterioration modeling.** Journal of Transportation Engineering, 132(2):141–161, 2006.

Ragnoli, A.; De Blasiis, M.R.; Di Benedetto, A. **Pavement Distress Detection Methods: A Review.** Infrastructures 2018, 3, 58.

SCHMIDT, E. L. (2011) **O sistema de transporte de cargas no Brasil e sua influência sobre a Economia.** Florianópolis: 2011. 88p. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Departamento de Ciências Econômicas – Universidade de Santa Catarina. 2011.

Stewart, W. (2009) **Probability, Markovian Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling.** Princeton University Press, 2009.  
WSDOT – Washington State Department of Transportation. (2016) **Pavement Asset Management.** 47p. 2016.

Yang, J. (2004) **Road Crack Condition Performance Modeling Using Recurrent Markovian Chains and Artificial Neural Networks.** (Master's thesis) University of south Florida, 2004.