

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**BRUNO VINICIUS DE ALMEIDA BARBOSA**

**CUSTOS OPERACIONAIS ASSOCIADOS À QUALIDADE DOS PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS**

**Ilha Solteira  
2021**

**BRUNO VINICIUS DE ALMEIDA BARBOSA**

**CUSTOS OPERACIONAIS ASSOCIADOS À QUALIDADE DOS PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –  
Unesp como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador  
**Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima**

Ilha Solteira  
2021

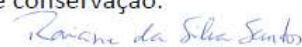
FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B238c      Barbosa, Bruno Vinicius de Almeida.  
Custos operacionais associados à qualidade dos pavimentos rodoviários /  
Bruno Vinicius de Almeida Barbosa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
52 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: Jairo Salim Pinheiro De Lima  
Inclui bibliografia

1. Custo operacional. 2. Pavimento. 3. Estado de conservação.

  
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção  
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
CRB/8 - 9999

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURSO:** ENGENHARIA CIVIL

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** TRANSPORTES

**REALIZADA EM:** 18-10-2021

**DISCENTE:** BRUNO VINICIUS DE ALMEIDA BARBOSA

### COMISSÃO EXAMINADORES:

1. Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima – UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador).
2. Profa. Dra. Cláudia Scoton Antônio Marques – UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora).
3. Enga Civil Gabriela Oliveira Vicente – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador).

**Título do trabalho:** Custos operacionais associados à qualidade dos pavimentos rodoviários.

**Local:** WEB – Via Google Meet

**Horário de início:** 15h

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), o discente foi arguido oralmente, e no final da exposição foi "**APROVADO**" pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo discente.

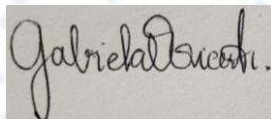
Ilha Solteira, 18 de outubro de 2021.



Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima  
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)

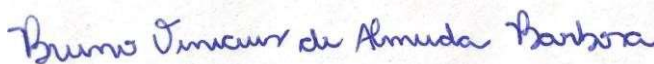


Profª. Drª. Claudia Scoton Antônio Marques  
UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora)



Engª Civil Gabriela Oliveira Vicente  
UNESP/FE Ilha Solteira (Examinadora).

Ciente:



Discente: Bruno Vinicius de Almeida Barbosa

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.  
Avenida Brasil Centro, 56 Caixa Postal 31 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18) 3743  
1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por me dar forças nos momentos difíceis e por me fazer grato nos momentos de felicidade.

Sou grato, especialmente, a minha mãe, Silvana, e meus avós, Nivalda e José, por sempre estarem ao meu lado, e por acreditarem em mim, inclusive nos momentos em que eu mesmo não acreditei. Agradeço todo o apoio do restante de minha família, queridos tios e primos, que sempre me ajudaram, direta ou indiretamente, ao longo de toda esta jornada.

Agradeço também ao meu prezado orientador professor Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima por toda a compreensão e dedicação.

Aos professores, Dr. Alex Ótávio Sanches, Dr. Artur Pantoja Marques e, Ma. Claudia Scoton A. Marques, por suas colaborações na execução deste trabalho.

Aos meus amigos de graduação, aos quais foram meus companheiros ao longo de tantos desafios.

E por fim, agradeço à Universidade Estadual Paulista (UNESP), por proporcionar um ensino com elevado nível de qualidade e por todas as contribuições que me foram proporcionadas.

*“A verdadeira sabedoria está em reconhecer a própria ignorância”.*

(Sócrates)

## RESUMO

O custo operacional de tráfego está diretamente ligado às condições da via e a qualidade do pavimento é um dos principais fatores para avaliar o estado de conservação de um trecho. Portanto, compreender a relação entre a qualidade de tráfego em rodovias e o custo operacional resultante é importante, sobretudo do ponto de vista econômico. As variáveis relacionadas aos custos operacionais adotadas como referência neste trabalho foram: velocidade operacional e consumo de combustíveis. Além das implicações nos custos operacionais, a precarização das condições de tráfego também colabora para a geração de impactos ambientais significativos. Foram utilizados como base de dados os Relatórios Gerenciais de Pavimentos elaborados pela Pesquisa CNT de Rodovias e divulgados anualmente. Por meio da análise de tendências observou-se a influência da qualidade do pavimento em relação as referências adotadas (consumo de combustível e velocidade operacional). Também foi estimado o impacto econômico com os gastos excedentes, decorrentes da má qualidade das rodovias no Brasil. Uma breve abordagem do ponto de vista ambiental também foi realizada. De maneira geral, é clara a relação entre a qualidade dos pavimentos e os custos operacionais resultantes, sendo possível observar que embora bastante dependente do sistema rodoviário, o Brasil não conta com uma infraestrutura adequada para atender sua demanda de cargas. Com base nisso, conclui-se que os custos operacionais resultantes desse cenário podem chegar até a dobrar, acarretando nas mais diversas consequências.

**Palavras-chave:** custo operacional; pavimento; estado de conservação.

## **ABSTRACT**

The operational cost of traffic is directly linked to the condition of a road, and the pavement quality is one of the main factors to consider when analyzing this condition. Therefore, understanding the relation between the traffic quality on highways and the resulting operational cost is important to discuss, especially from an economic point of view. The variables related to operating costs adopted as a reference were: operational speed and fuel consumption. In addition to the implications on operating costs, the precariousness of traffic conditions also contributes to cause significant environmental impacts. The data from the Pavement Management Reports by CNT (Confederação Nacional do Transporte), released annually, were used as database. Through the trend analysis, the influence of pavement quality was observed in relation to the adopted references (fuel consumption and operational speed). The economic impact of excess costs resulting from the poor quality of highways in Brazil was also estimated. A brief analysis from an environmental point of view was also done as well. The relation between the pavements quality and the operating costs caused by their condition is clear, and it is possible to observe that although extremely dependent on their roads, Brazil does not have an adequate infrastructure to attend its cargo demands. Based on this, it is concluded that the operating costs resulting from this specific scenario can double, resulting in the most diverse consequences.

**Key-words:** operational cost; pavement; road condition



## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                                                                                                              |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | - Curvas de desempenho e ciclos de intervenções em pavimento rodoviário .....                                                                                                                | 18 |
| Figura 2  | - Classificação da qualidade dos pavimentos em % da malha brasileira, no ano de 2019 .....                                                                                                   | 20 |
| Figura 3  | - Evolução do Investimento Público Total em Infraestrutura de Transporte – Total Pago (R\$ bilhões correntes) .....                                                                          | 22 |
| Figura 4  | - Aumento percentual dos custos operacionais do transporte rodoviário de cargas conforme o estado do pavimento das rodovias no Brasil .....                                                  | 24 |
| Figura 5  | - Fluxograma das implicações operacionais decorrentes da perda de qualidade dos pavimentos rodoviários .....                                                                                 | 26 |
| Figura 6  | - Emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira por setor, em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO <sub>2</sub> eq) e em percentual (%) – 2018 ..... | 27 |
| Figura 7  | - Consumo de energia do setor de transporte brasileiro, em percentual (%), no ano de 2018 .....                                                                                              | 27 |
| Figura 8  | - Representação esquemática do processo de análise de dados ....                                                                                                                             | 34 |
| Figura 9  | - Elevação média nacional no custo operacional de tráfego.....                                                                                                                               | 36 |
| Figura 10 | - Classificação dos pavimentos – Quadro Nacional.....                                                                                                                                        | 36 |
| Figura 11 | - Relação entre trechos com pavimentos avaliados como ótimos e elevação nacional média do custo operacional .....                                                                            | 37 |
| Figura 12 | - Informações a respeito do índice de diminuição da velocidade operacional nos trechos analisados anualmente pelo Relatório Gerencial CNT.....                                               | 38 |
| Figura 13 | - Relação entre trechos que exigem baixíssima velocidade e trechos em péssimo estado .....                                                                                                   | 38 |
| Figura 14 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos, com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Cenário Nacional .....                         | 41 |

|           |                                                                                                                                                                        |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Sul .....          | 42 |
| Figura 16 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Sudeste .....      | 42 |
| Figura 17 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Centro-oeste ..... | 43 |
| Figura 18 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Nordeste .....     | 43 |
| Figura 19 | - Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Norte .....        | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Matriz do transporte de carga – movimentação anual |    |
| .....                                                         | 29 |

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

|      |                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------|
| SNV  | Sistema Nacional de Viação                                  |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte       |
| CNT  | Confederação Nacional do Transporte                         |
| Fa   | Frequência Absoluta                                         |
| Fr   | Frequência Relativa                                         |
| IGI  | Índice de Gravidade Individual                              |
| IGG  | Índice de Gravidade Global                                  |
| ANP  | Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| EPE  | Empresa de Pesquisa Energética                              |
| TKU  | Toneladas Transportadas por Quilometro Útil                 |
| CO   | Custo Operacional                                           |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem                |

## ÍNDICE

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                               | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS</b>                                                | <b>15</b> |
| 2.1      | Objetivo geral                                                  | 15        |
| 2.2      | Objetivo específico                                             | 15        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO LITERÁRIA</b>                                        | <b>16</b> |
| 3.1      | Gerência de pavimentos                                          | 16        |
| 3.1.1    | Sistema gerencial de pavimentos                                 | 16        |
| 3.1.2    | Níveis de decisão na gerência de pavimentos                     | 17        |
| 3.1.3    | Avaliações funcionais e objetivas dos pavimentos                | 18        |
| 3.2      | O direito à qualidade na infraestrutura de transporte           | 19        |
| 3.3      | Análise do estado atual da infraestrutura de transporte no País | 20        |
| 3.4      | Custos operacionais                                             | 23        |
| 3.4.1    | Fatores relacionados ao aumento dos custos operacionais         | 23        |
| 3.4.2    | Velocidade operacional                                          | 25        |
| 3.4.3    | Consumo de combustível                                          | 26        |
| 3.5      | Impactos ambientais                                             | 27        |
| 3.5.1    | Emissões atmosféricas e eficiência energética                   | 27        |
| 3.5.2    | Compensações ambientais                                         | 29        |
| <b>4</b> | <b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL</b>                                | <b>31</b> |
| 4.1      | Materiais e métodos                                             | 31        |
| 4.2      | Planejamento experimental                                       | 32        |
| 4.3      | Análise de tendências                                           | 34        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>                                  | <b>36</b> |
| 5.1      | Custo operacional e qualidade dos pavimentos                    | 36        |
| 5.2      | Velocidade operacional                                          | 37        |
| 5.3      | Consumo de combustível                                          | 39        |
| 5.4      | Emissões atmosféricas                                           | 44        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b>                                               | <b>46</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                               | <b>47</b> |
|          | <b>ANEXOS</b>                                                   | <b>51</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do modal rodoviário para o Brasil é indiscutível, tanto no que se refere ao transporte de cargas quanto de passageiros. A malha rodoviária brasileira é responsável pelo transporte de mais de 60% das cargas, e mais de 90% dos passageiros, relata pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019). Estes números ao longo dos anos não sofreram grandes alterações. As rodovias possuem um alcance e flexibilidade maior em relação aos demais modos de transporte, porque permitem transportar cargas e pessoas da origem diretamente até seu destino final.

Mesmo com a sua grande importância, não é possível afirmar que o modo rodoviário se encontra atualmente em condições satisfatórias para atender eficientemente a demanda de cargas brasileiras. A malha rodoviária brasileira conta com aproximados 1.720.700 km de extensão e deste total apenas 213.453 km estão pavimentados (CNT, 2019). O Relatório Gerencial divulgado pela Pesquisa CNT de Rodovias (2019), alerta que 52,4% da extensão das estradas brasileiras analisadas no estudo (montante equivalente a 108.863 km) se encontram em estado regular, ruim ou péssimo de conservação.

De um ponto de vista internacional, o Brasil possui nota 76,1, em uma escala de zero a cem, em um índice que mensura a conectividade da malha rodoviária. Isso posiciona o país em 69º lugar, dentro de uma lista com 141 países (The Global Competitiveness Report, 2019). Entretanto, o Brasil tem nota 3, em uma escala de 1 a 7, no índice que mede a qualidade das vias – esta nota nos coloca em 116º lugar entre os 141 países avaliados, pelas informações também divulgadas no Fórum Econômico Mundial (2019).

Tendo as estradas brasileiras grande importância e com estado de conservação tão precário, deve-se pensar a respeito das consequências que este cenário pode acarretar. O custo operacional de transporte está relacionado a três fatores principais: o modo empregado na viagem, as condições do veículo e o estado de conservação da via. Neste trabalho foi abordada a influência da via. E um dos principais fatores a considerar na análise do estado de conservação de uma via é a qualidade do seu pavimento.

Um pavimento deficitário acarreta em redução significativa da velocidade operacional de veículos, maior consumo de combustível, desgaste de peças e equipamentos, maior risco de acidentes, e inclusive impactos ambientais significativos. Em torno de 20,5% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são fruto do modal rodoviário no Brasil (CNT, 2019).

Do ponto de vista jurídico, a qualidade da malha rodoviária é um bem garantido por lei ao setor de transportes, conforme indicado pela 21ª Edição da Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017). A Lei número 10.233 de 2001 frisa que são objetivos essenciais do Sistema Nacional de Viação (SNV):

- I. dotar o país de infraestrutura viária adequada;
- II. garantir a operação racional e segura dos transportes de pessoas e bens; e
- III. promover o desenvolvimento social e econômico e a integração nacional.

Um ponto importante a se destacar quando se trata da análise da qualidade das vias é a gerência de pavimentos. Para o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), a gerência de pavimentos configura importante ferramenta de gestão da qualidade das vias. Dentre os principais objetivos propostos pela gerência de pavimentos destacam-se determinar os métodos mais eficazes de aplicação dos recursos (públicos ou de iniciativa privada) disponíveis, nos mais variados níveis de intervenção. Como resposta, a gerência de pavimentos visa atender as necessidades dos usuários, dentro de um plano estratégico que garanta a melhor relação Custo x Benefício.

Este trabalho busca relacionar a qualidade de tráfego em rodovias (com ênfase ao estado dos pavimentos) com o custo operacional. Observar-se que a qualidade de tráfego depende do estado de conservação dos pavimentos rodoviários. De maneira geral, os custos operacionais estão relacionados às variáveis do tipo: velocidade operacional; tempo de viagem; distâncias percorridas (mudanças eventuais de trajetos); consumo excedente de combustíveis; deterioração de equipamentos e acessórios. Embora a composição dos custos operacionais empregue várias variáveis, adotaram-se como referência neste trabalho apenas duas delas: velocidade operacional de tráfego; e consumo de combustíveis.

Condições precárias de tráfego nas rodovias geram implicações que muitas vezes não são associadas diretamente aos custos operacionais, como, por exemplo, os impactos ambientais. Desta forma, a discussão alcança ainda o tema meio ambiente e medidas para mitigar os impactos (extras) gerados.

Os resultados obtidos envolvem a avaliação de tendências para o período de amostragem de 11 anos (2009 a 2019). Os resultados corroboram a influência da qualidade dos pavimentos na velocidade operacional de tráfego. A dimensão dos custos atrelados ao consumo excedente de combustíveis na ordem de R\$ 80 bilhões.

O incremento dos custos operacionais (em razão da perda de qualidade dos pavimentos) corresponde também a impactos ambientais adicionais (CNT, 2019). Emissões pelo consumo extra de combustível podendo alcançar  $77,9 \times 10^6$  toneladas de CO<sub>2</sub>. As emissões de gases podem gerar programas e serviços de compensação ambiental. Dentre as opções para mitigar tais impactos está o plantio de árvores. Tendo como base informações presentes na bibliografia, foi possível quantificar o montante de quase 478 milhões de mudas, necessárias para mitigar tais emissões extras.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo do presente trabalho foi analisar os custos operacionais excedentes do setor de transportes rodoviários, com ênfase para o consumo de combustíveis e a diminuição da velocidade operacional de tráfego (que tem como consequência o aumento de tempo de viagem), resultantes da qualidade das rodovias. Além disso, apresentar uma breve análise sobre os impactos ambientais associados a temática abordada.

### **2.2 Objetivo específico**

Relacionar o custo operacional de transporte rodoviário e a qualidade dos pavimentos. Isso por meio de revisão literária associada a gerencia de pavimentos, além do levantamento de dados acerca da qualidade das rodovias no país, assim como informações a respeito dos custos operacionais do setor de transporte rodoviário.

### **3 REVISÃO LITERÁRIA**

#### **3.1 Gerência de pavimentos**

##### **3.1.1 Sistema gerencial de pavimentos**

Antes iniciar a análise dos fatores associados aos impactos resultantes da ineficiência operacional da malha rodoviária, é importante contextualizar a respeito da gerência de pavimentos.

Dados relacionados ao estado em que se encontram os pavimentos, em certo período, são a base dos sistemas de gerência de pavimentos. Compilar os dados é necessário para substanciar o planejamento e determinar as melhores ações de intervenção, de forma a ajustar os recursos disponíveis e as medidas a serem adotadas.

Um conjunto de componentes que interagem mutuamente pode ser caracterizado como um sistema, onde este é afetado por fatores externos. Neste sentido, é possível afirmar que o pavimento se trata de um sistema, e que seus componentes – revestimento, base, sub-base e eventual reforço do subleito – são submetidos a ações de fatores externos. Sendo alguns desses fatores o tráfego de veículos, as operações de manutenção e também as condições climáticas (VISCONTI, 2000).

O planejamento, o projeto, a construção e a manutenção, de forma análoga, são componentes que integram o sistema gerencial de pavimentos, e todos esses devem interagir mutuamente. Quanto aos fatores externos incidentes no sistema de gerência de pavimentos, alguns exemplos são os recursos financeiros, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas ligadas a este (VISCONTI, 2000).

Embora à primeira vista o sistema de gerência de pavimentos aparente ser composto por um montante de variáveis que tornem complexas as análises a ele associadas, o cenário geral pode ser simplificado. Isso graças aos níveis em que o processo de tomada de decisões se divide, de maneira a tornar mais simples as análises necessárias após a coleta de dados nos trechos de malha rodoviária a ser observado em determinado estudo.

### **3.1.2 Níveis de decisão na gerência de pavimentos**

VISCONTI (2000) sugere que a tomada de decisões nos processos associados a gerência de pavimentos pode ser dividida em dois grupos: o Nível de Rede e o Nível de Projeto. Ambos têm como objetivo principal tornar possível a elaboração de programas plurianuais de investimentos, atendendo assim a demanda da melhor forma. Cada um destes níveis é descrito a seguir.

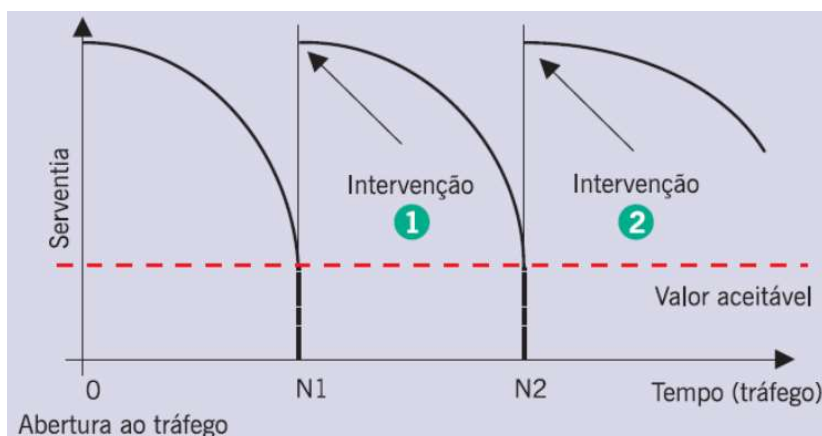
- Nível de rede: responsável por detectar os pontos da malha em que intervenções são necessárias, e também quais as medidas a serem adotadas para a alocação correta dos recursos disponíveis. Não possui grande nível de detalhamento.
- Nível de projeto: responsável por determinar ações específicas a serem tomadas em cada trecho analisado, confirmando os pontos destacados no nível de rede, indicando detalhes e recomendações mais específicos.

Para obter um adequado processo de gerência de pavimentos, ambos os níveis precisam estar alinhados e em harmonia, de forma a permitir alcançar o objetivo desejado.

Durante o ciclo de vida de um pavimento podem ocorrer diversos processos de intervenções. Estas são determinadas por meio do processo de gerência de pavimentos. Ao realizar intervenção, altera-se o Nível de Serventia do pavimento, conforme é possível observar na Figura 1.

O Nível de Serventia de pavimento é mensurado com base na capacidade da via proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento. Isso em um trecho específico, para quaisquer condições de tráfego (DNIT, 2003).

Figura 1: Curvas de desempenho e ciclos de intervenções em pavimento rodoviário.



Fonte: Preussler (s/d).

Conforme ilustrado na Figura 1, um dos fatores determinantes para a aplicação de ações de intervenção para alteração do nível de serventia é a adoção de um valor mínimo aceitável. Para determinar este valor são empregadas Avaliações Funcionais e Objetivas no pavimento. Tais avaliações adotam como referência identificar problemas superficiais no revestimento da malha rodoviária, responsáveis por alterar o nível de serventia proporcionado ao usuário (CAVA, 2018).

### 3.1.3 Avaliações funcionais e objetivas dos pavimentos

Ainda de acordo com CAVA (2018), o primeiro passo para a elaboração de Avaliação Funcional é a realização de levantamento visual contínuo, feito da análise in loco do pavimento por usuários especializados no assunto. Deste levantamento pode-se determinar o Índice de defeitos da superfície, o Valor de serventia atual; e o Índice de condição funcional. Este fatores medem o grau de deterioração superficial do pavimento com base na frequência dos defeitos cadastrados; a condição de conforto e segurança ao rolamento proporcionado ao usuário; e a condição funcional envolvida por aspectos do tipo de defeitos apresentados pela superfície do pavimento e sua serventia, respectivamente (CAVA, 2018).

Em seguida são realizadas as avaliações objetivas, que são feitas por meio de levantamentos e classificações de ocorrências (“defeitos”) pré-determinadas na superfície do pavimento, assim como na mensuração de deformações permanentes. Desta maneira, são determinados os seguintes fatores: Frequência Absoluta (Fa);

Frequência Relativa (Fr); Índice de Gravidade Individual (IGI); e o Índice de Gravidade Global (IGG).

A Frequência Absoluta caracteriza o número de vezes em que são registradas ocorrências ou defeitos no pavimento. A Frequência Relativa aponta a quantidade de vezes em que uma determinada ocorrência foi registrada em relação ao montante geral analisado. O Índice de Gravidade Individual é obtido por meio do produto da Fa por um fator de ponderação para cada ocorrência. E por fim o Índice de Gravidade Global se trata do somatório de todos o IGI's quantificados ao longo de determinado trecho (CAVA, 2018).

Este último fator é importante na determinação do valor mínimo destacado anteriormente na Figura 1, servindo de base para análises que influenciaram no processo de intervenções.

### **3.2 O direito à qualidade na infraestrutura de transporte**

A infraestrutura de transporte gera impactos que repercutem em diversos setores, como o econômico, ambiental e até mesmo social. Logo, a boa qualidade das vias gera grandes benefícios diretos para os transportes a toda a sua cadeia produtiva. E é justamente por isso que a qualidade na infraestrutura de transporte é um bem assegurado por lei.

O SNV tem por obrigação jurídica dotar o país de infraestrutura viária adequada; além de garantir operação racional e segura dos transportes de pessoas e bens; e promover o desenvolvimento social e econômico e a integração nacional. Isso conforme a lei número 10.233 do ano de 2001. E De acordo com o § 1º do Artigo 4º desta lei, infraestrutura viária adequada é aquela capaz de tornar mínimo o custo total do transporte, entendido como soma dos custos de investimentos, resultantes da manutenção e da operação dos sistemas. O § 2º salienta que a operação racional e segura é caracterizada por uma gerência competente das vias, dos terminais, dos equipamentos e dos veículos, objetivando mitigar os custos operacionais e, conseqüentemente, os fretes e tarifas, além de garantir a segurança e a confiabilidade do transporte.

### 3.3 Análise do estado atual da infraestrutura de transporte no País

Abordados alguns pontos principais a respeito dos processos associados ao sistema de gerência de pavimentos e um pouco do embasamento jurídico acerca do assunto, é importante destacar o cenário atual de um dos principais componentes da malha rodoviária no Brasil: o pavimento.

A Figura 2 (CNT, 2019), sintetiza as condições recentes de tráfego para 108.963 km de rodovias avaliadas durante o ano de 2019.

Figura 2: Classificação da qualidade dos pavimentos em % da malha brasileira, no ano de 2019.



Fonte: Relatório Gerencial (CNT, 2019).

Conforme apresentado, 52,4% dos trechos avaliados apresentaram pavimentos em estado péssimo, ruim ou regular. Sendo os danos em pavimentos cumulativos e evolutivos, destaca-se a importância dos processos de intervenção. Em outras palavras, sem intervenção, os pavimentos (como ilustrado na Figura 1) tendem a perder progressivamente a qualidade de tráfego. E o fruto desta perda de qualidade influencia diretamente as condições operacionais e, por analogia, os custos operacionais de transporte.

É relevante também observar a relação existente entre a intensidade e a severidade dos danos e em como esta relação determina a qualidade dos pavimentos. Maiores intensidades e severidade de defeitos impõem piores serventia e desempenho ao pavimento. Por conseguinte, à medida que o “montante de defeitos” aumenta, aqueles fatores relacionados aos custos operacionais também crescem.

O Relatório Gerencial da CNT (2019) apresenta alguns dos principais fatores responsáveis por justificar o estado precário de conservação das rodovias brasileiras, sendo eles:

- uso da malha rodoviária para transporte de longa distância: o transporte rodoviário é recomendado para curtas e médias distâncias;
- sobrecarga com que os veículos circulam: controle precário de cargas; e
- falta de equipamentos de fiscalização e aplicação de punições para infrações relacionadas ao transporte de sobrecarga nas vias: o dimensionamento do pavimento considera o tipo de veículo e a carga que o mesmo irá transportar, logo a sobrecarga tende a impactar nesse sentido.

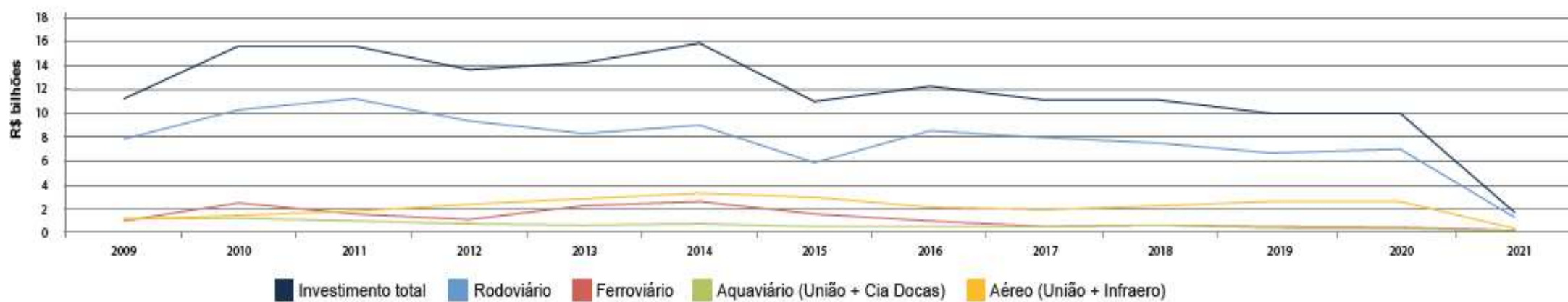
As rodovias federais brasileiras contam, em média, com apenas uma balança de fiscalização para cada 2.514 km pavimentados (CNT, 2019).

Há ainda outros fatores que colaboram para incrementar a perda de qualidade das rodovias:

- a idade dos pavimentos;
- a falta de intervenções cíclicas para manter a qualidade da via em boas condições de tráfego;
- o clima e a qualidade dos materiais utilizados.

Mesmo considerando tais condições, outro ponto se torna preocupante ao analisar a infraestrutura de transporte rodoviário no Brasil: os poucos investimentos feitos na categoria ao longo dos últimos anos. A Figura 3 mostra o cenário da evolução dos investimentos em infraestrutura de transportes desde o ano de 2009 até o ano de 2021.

Figura 3: Evolução do Investimento Público Total em Infraestrutura de Transporte – Total Pago (R\$ bilhões correntes).



Fonte: CNT – Boletim Econômico (2021)



Embora a queda abrupta no ano de 2020 chame a atenção – muito provavelmente em função da Pandemia pela COVID-19 – não se pode deixar de notar a queda gradual no item Investimento Total após o ano de 2014.

Como os danos ocasionados ao pavimento são cumulativos e evolutivos, os investimentos destinados às intervenções também demandam caráter semelhante. O que não é o caso (como mostra a Figura 3) não apenas para o transporte rodoviário como também para os demais modos de transportes.

### **3.4 Custos operacionais**

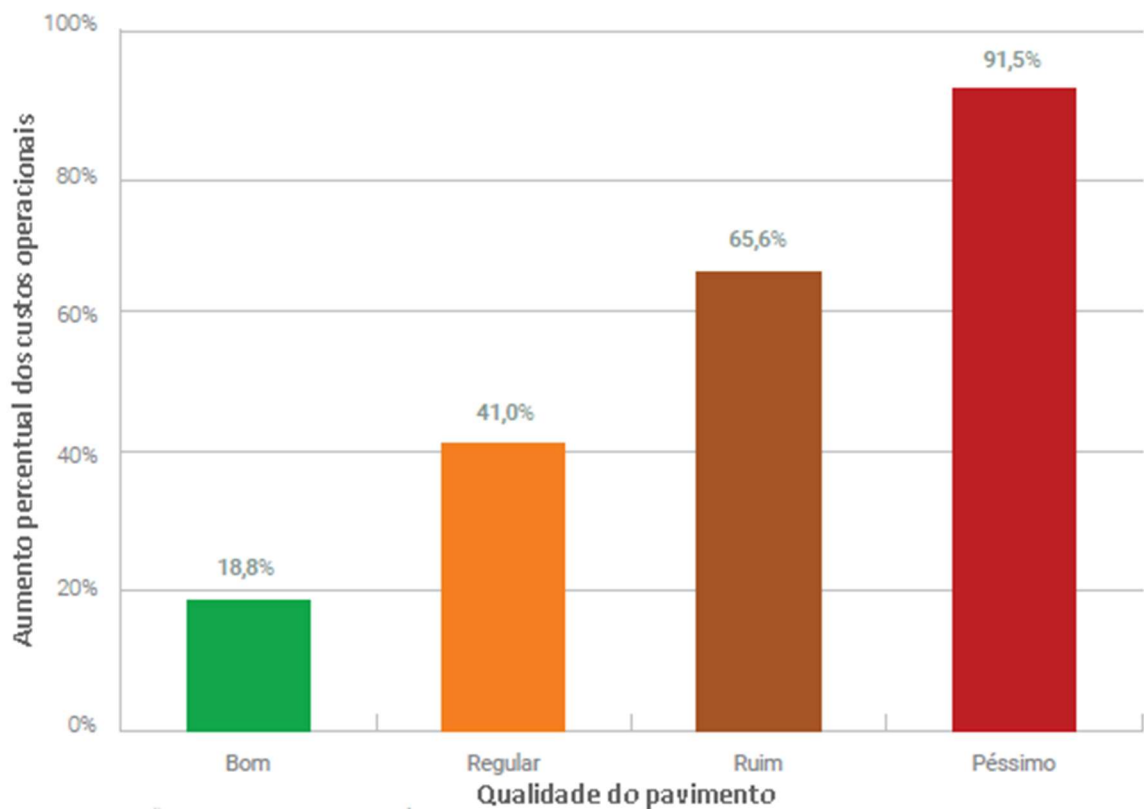
#### **3.4.1 Fatores relacionados ao aumento dos custos operacionais**

Em função do estado deficitário de parte considerável da malha rodoviária brasileira, é importante avaliar os impactos gerados, com ênfase no âmbito econômico. Destacam-se entre os fatores que compõem os impactos econômicos nas operações de transportes rodoviários os seguintes itens:

- maior desgaste e incremento de gastos na manutenção dos veículos;
- maior ocorrência no número de acidentes;
- aumento no consumo de combustíveis; e
- redução da velocidade operacional, gerando conseqüentemente aumento no tempo de viagem.

A Figura 4 (CNT, 2019) mostra de maneira quantificada o aumento na proporção dos gastos operacionais em relação a qualidade de tráfego nas rodovias. Para pavimentos classificados como péssimos em qualidade de serventia (3,7% das estradas brasileiras pavimentadas analisadas, indicado na Figura 2) os custos operacionais chegam a quase dobrar.

Figura 4: Aumento percentual dos custos operacionais do transporte rodoviário de cargas conforme o estado do pavimento das rodovias no Brasil.



Fonte: CNT (2019).

Terão destaque dentre os fatores relacionados aos custos operacionais em função do estado do pavimento, o aumento no consumo de combustível e a diminuição da velocidade operacional de tráfego. Estes fatores são responsáveis por gerar reflexos importantes nos custos operacionais e também influenciar nos impactos ambientais. Dentre os fatores afetados pela qualidade do pavimento, destacam-se:

- aumento no custo do frete;
- baixo rendimento energético (no que se refere a relação produção/demanda);
- menor capacidade de tráfego do sistema;
- maior consumo de peças e equipamentos;
- maiores tempos de viagem e perdas de cargas transportadas;
- ruído e vibração pela sucessão de frenagem e aceleração;
- maior volume de emissões de poluentes.

### **3.4.2 Velocidade operacional**

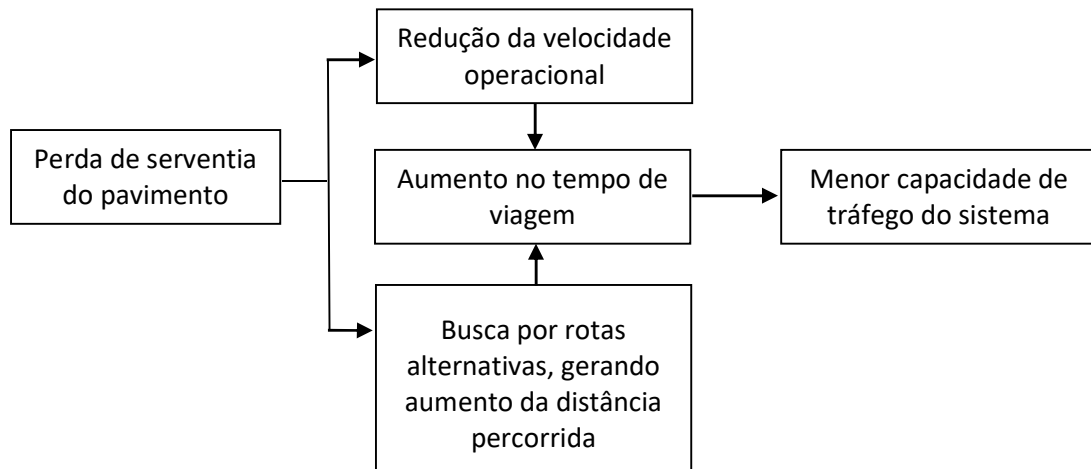
Dadas as consequências gerais relativas ao estado de conservação dos pavimentos, é possível destacar os impactos gerados sobre um dos fatores de interesse: a diminuição da velocidade operacional de tráfego. Para a CNT (2002), a operação em pavimentos totalmente destruídos provoca redução da velocidade na ordem de 30 km/h, comparada à operação em pavimentos com perfeito estado de conservação.

Esse resultado gera outros impactos, produzindo reação em cadeia. Por exemplo, com a redução significativa da velocidade operacional aumenta o tempo de viagem e, por analogia, reduz o número de viagens realizadas em determinado período. Assim, a qualidade do pavimento influi na capacidade de tráfego do sistema por sua relação direta com o volume de carga transportado em razão do tempo. Em outras palavras, menor velocidade operacional resulta em maior tempo de viagem, menor volume de cargas transportadas, e redução da capacidade de tráfego do sistema viário.

Baixa qualidade de tráfego além de resultar aumento no tempo de viagem, em alguns casos força os condutores a desviar de obstáculos e até mesmo buscar rotas alternativas, aumentando as distâncias percorridas. Neste caso tem-se aumento no tempo de viagem e na distância percorrida, gerando consequentemente aumento no consumo de combustível. O agravante se impõe mais restritivo quando se considera o tráfego de cargas pesadas porque trechos precários impõem restrições mais severas.

Do ponto de vista financeiro, a perda da capacidade do sistema rodoviário influencia diretamente na produtividade do setor. Registre-se que o cenário ideal é aquele em que há maior número de viagens no menor tempo possível, para melhor diluição dos custos fixos operacionais por viagem. A Figura 5 resume a evolução das implicações operacionais resultantes da perda de serventia dos pavimentos rodoviários, ligados à redução de velocidade operacional.

Figura 5: Fluxograma das implicações operacionais decorrentes da perda de qualidade dos pavimentos rodoviários.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.4.3 Consumo de combustível

Estudos realizados por BARTHOLOMEU (2006) indicam que o consumo excedente de combustível gerado pela operação em pavimentos em estado completamente deficitário pode chegar até 5% para cada 100 km percorridos. O resultado é em comparação ao valor consumido em operação em trecho com bom estado de conservação.

Desta forma é possível estimar o custo adicional no consumo de combustível da ordem de R\$10,5 bilhões (com base nos dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, 2019) somente no ano de 2019. A referência adotada para esse cálculo é todo o consumo de combustível (diesel) no Brasil. Reforça-se ainda que, embora 52,4% dos trechos pavimentos avaliados pela CNT no ano de 2019 tivessem sido classificados como regular, ruim ou péssimo, estes não chegam nem próximos do montante da malha brasileira que não é sequer pavimentada.

Tais informações reforçam a importância de investimentos em manutenção da infraestrutura de transporte, com ênfase no setor de recuperação de pavimentos. Ou seja, impedir que os gastos decorrentes da operação de transporte sejam maiores do que os lucros gerados pelos produtos comercializados que serão transportados.

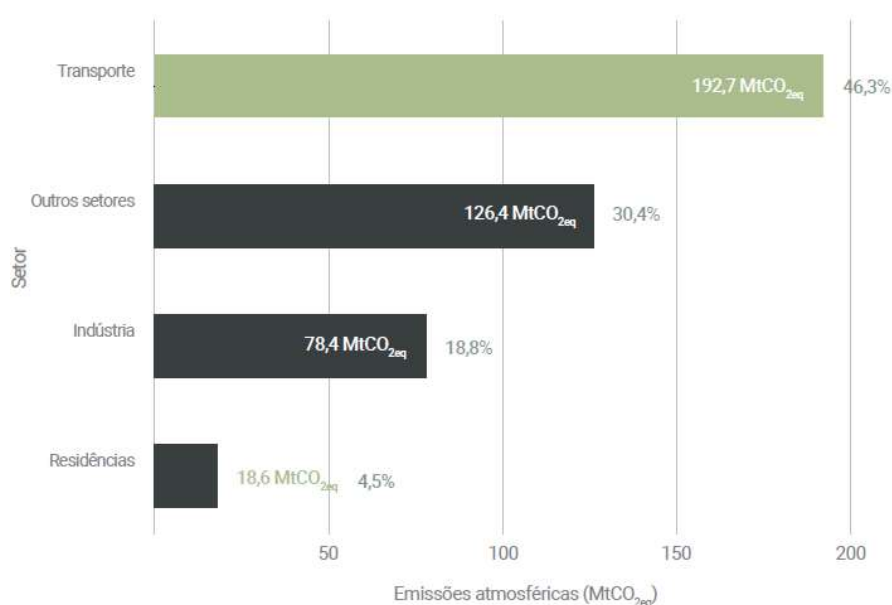
### 3.5 Impactos ambientais

#### 3.5.1 Emissões atmosféricas e eficiência energética

Forte consumidor de recursos naturais, o setor de transportes é responsável por gerar muitos impactos ambientais significativos. Parte desses impactos decorre da emissão de poluentes atmosféricos, frutos do consumo em alta escala de combustíveis de origem fóssil e não renováveis. O setor de transporte ocupa a segunda posição dentre os maiores vetores de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), perdendo apenas para as atividades ligadas à geração de calor e energia elétrica. As contribuições dos transportes equivalem a 24,4% das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo (CNT, 2019).

Dados do Relatório Gerencial de Pavimentos (CNT, 2019) indicam que no ano de 2018 as emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira têm as características conforme apresentadas na Figura 6. Neste caso, o setor de transportes no Brasil contribui com 46,3% das emissões. Fazendo-se um recorte apenas para o setor de transporte, o modo rodoviário contribui com 89,9% das emissões (CNT, 2019).

Figura 6: Emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira por setor, em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2eq</sub>) e em percentual (%) – 2018.

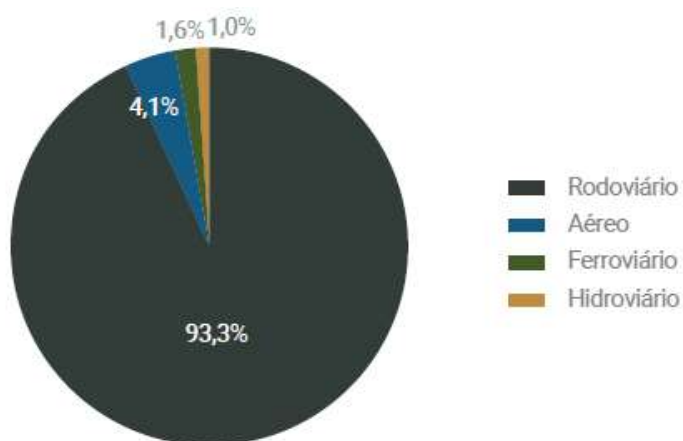


Fonte: CNT (2019).

Tudo isso confirma o quanto a falta de qualidade da malha rodoviária influi nos níveis de emissões do setor de transportes. Problemas relacionados a pavimentação geram trechos com defeitos, erosões em taludes e outras ocorrências (que em alguns casos podem até interromper as operações), além de acidentes que alteram as condições operacionais. Esses fatores implicam também no tempo de viagem e no consumo de combustível. Como resultado, aumenta a taxa de emissões atmosféricas.

Embora seja o responsável por transportar o maior volume de cargas e de passageiros (CNT, 2020), o modo rodoviário possui menor eficiência energética se comparado aos modos ferroviário e aquaviário. A Figura 7 mostra o consumo de energia pelos vários modos que compõem o setor de transporte de cargas no Brasil. Assim, é possível deduzir que do ponto de vista do consumo de energia, o modo rodoviário possui consumo extremamente superior aos demais, sendo caracterizado como o menos eficaz.

Figura 7: Consumo de energia do setor de transporte brasileiro, em percentual (%), no ano de 2018.



Fonte: CNT (2019), com dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

É possível ainda relacionar os dados da Figura 7 àqueles apresentados na Figura 2, em que 52,4% das amostras analisadas foram avaliadas como regulares, ruins ou péssimas. Ressalte-se que a amostragem pesquisada trata apenas de vias pavimentadas. Estas vias, portanto, geram custos adicionais às operações em decorrência de seu estado de conservação. Observa-se ainda que 1.349.938 km

(78,5% das estradas brasileiras) não são pavimentadas (CNT, 2019) o que torna o cenário ainda mais agravante.

A baixa eficiência energética do setor rodoviário é mais evidente quando se observam os dados da Tabela 1, com a participação dos diferentes modos de transportes na movimentação anual de cargas.

Tabela 1: Matriz do transporte de carga – movimentação anual.

| <b>Modal</b> | <b>Milhões (TKU)</b> | <b>Participação (%)</b> |
|--------------|----------------------|-------------------------|
| Rodoviário   | 485.625              | 61,1                    |
| Ferroviário  | 164.809              | 20,7                    |
| Aquaviário   | 108.000              | 13,6                    |
| Dutoviário   | 33.300               | 4,2                     |
| Aéreo        | 3.169                | 0,4                     |
| <b>Total</b> | <b>794.903</b>       | <b>100</b>              |

\*TKU – Toneladas transportadas por quilômetro útil.

Fonte: CNT, 2020

Observa-se que a participação conjunta dos modos ferroviário e aquaviário (com melhor eficiência energética) – equivalente a 34,3% – na matriz brasileira de transporte equivale à metade aproximada do modo rodoviário – 61,1% – (com menor eficiência energética comparativamente aos outros dois).

É notável o quanto o quadro precário (regular, ruim ou péssimo) da malha viária no país contribui para um cenário já desfavorável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Alerta-se ainda para o fato de que os pavimentos têm perda continua de serventia. Desta maneira, os custos operacionais crescem proporcionalmente ao longo do tempo e das operações. Estas relações elevam a importância da gerência de pavimentos e também da manutenção das vias não pavimentadas.

### 3.5.2 Compensações ambientais

Ao mesmo tempo em que se avalia o impacto ambiental ocasionado pela ineficiência das rodovias, pode-se pensar se apenas os investimentos em intervenções de melhoria seriam suficientes para mudar o cenário de desgaste das rodovias. E, por consequência, diminuir a quantidade de emissões. Sendo o meio de

transporte por estradas o mais utilizado e um dos maiores emissores de poluentes advindos do consumo de fontes de combustíveis não renováveis, é preciso buscar outras maneiras de se “equilibrar a balança”, que vão além do investimento direto na infraestrutura de transporte.

Publicação da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (s.d.), define Compensação Ambiental como um mecanismo financeiro que tem como principal objetivo equilibrar os impactos ambientais ocorridos ou previstos no processo de licenciamento ambiental. Em outras palavras, mitigar os impactos ambientais adversos, de maneira a prevenir ou reduzir aqueles não podem ser evitados.

Os impactos ambientais causados pelas emissões provenientes do setor de transportes podem ser caracterizados como externalidades ambientais negativas. Portanto buscar formas de mitigar esses impactos por meio de compensações ambientais pode ser alternativa aplicada de forma paralela juntamente aos processos de intervenções de melhoria das vias.

De acordo com publicação feita pela Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ - ESALQ-USP (2013), o processo de reflorestamento da Mata Atlântica seria uma ferramenta capaz de contribuir para o processo de captura e redução de emissões. De acordo com esse estudo, cada árvore do bioma seria capaz de absorver aproximados 163,14 kg de CO<sub>2eq</sub> (lê-se dióxido de carbono equivalente) ao longo das duas primeiras décadas de vida.



## **4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

### **4.1 Materiais e métodos**

Os resultados obtidos neste trabalho foram alcançados com base nos dados fornecidos pelos Relatórios Gerenciais de Pavimentos, elaborados anualmente pela Pesquisa CNT de Rodovias. Os relatórios são feitos e divulgados anualmente desde o ano de 1995 pela Confederação Nacional do Transporte.

As edições das Pesquisas utilizadas como referência, tanto para a revisão literária quanto como fonte de dados, foram elaboradas a partir do ano de 2001 até o ano de 2019 – salvo o ano de 2008, em que a pesquisa não foi realizada. O período de 11 anos foi tomado com referência para amostragem afim de alcançar o objetivo proposto de relacionar os custos operacionais à qualidade dos pavimentos.

Foram extraídos dos relatórios publicados pela CNT dados acerca da qualidade dos pavimentos, principal foco do estudo aqui apresentado. Tal ação se deu uma vez que a CNT também incluía em seu material análises referentes à geometria e sinalização das vias, e seus respectivos impactos no estado geral da malha rodoviária. Tais itens, contudo, não serão instrumentos de análise aqui.

Outra fonte bibliográfica importante foi a tese “Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras”, de autoria de Daniela Bacchi Bartholomeu (2006). Dados fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural (ANP) foram utilizados para determinar de maneira quantitativa os impactos gerados na última década, com base nos resultados fornecidos por BARTHOLOMEU (2006).

Por fim, resultados publicados pela Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ - ESALQ-USP, foram utilizados para determinar a proporção necessária de compensações ambientais frente aos impactos ambientais provenientes das emissões extras estimadas.

## 4.2 Planejamento experimental

Com o objetivo de estabelecer a relação entre o estado de conservação das rodovias com alguns dos fatores que compõem os custos operacionais (velocidade operacional e consumo de combustível), foi necessário obter uma base de dados confiável, consistente, e abrangente da malha rodoviária brasileira. Desta forma, foi possível projetar os resultados obtidos por meio da análise das amostragens para todo o território nacional.

Foram utilizados então os Relatórios Gerencias publicados pela Confederação Nacional do Transporte, entre os anos de 2001 e 2019. Tais publicações adotam como objetivos alertar autoridades competentes e informar usuários das vias a respeito da situação da malha rodoviária no Brasil. Isso por meio da coleta de dados em diversos trechos das rodovias nas 5 regiões do país.

Feito o levantamento de todos os relatórios, foi necessário “filtrar” as informações de interesse. Sendo o foco da pesquisa investigar e analisar os custos operacionais ligados à diminuição de velocidade operacional de tráfego e o custo resultante do consumo excedente de combustível – frutos da má qualidade das vias –, identificar estes itens foi o primeiro passo.

Os dados obtidos foram classificados de maneira a permitir avaliar dois conjuntos de análise para o estado do pavimento, com base na sua classificação: análise de abrangência nacional; e abrangência regional, para cada uma das 5 regiões do Brasil.

O intuito de segmentar os dois conjuntos é destacar que as estradas nas regiões eminentemente produtoras de commodities (Norte, Nordeste e Centro-oeste), com grande volume de transporte de cargas pelas rodovias apresentam pavimentos em pior estado e consequentemente qualidade inferior de tráfego (CNT,2019). Além de possuir economias menos desenvolvidas em relação as regiões Sul e Sudeste. Deste ponto de vista, o consumo de combustível, um dos itens objeto de estudo para este trabalho, torna-se mais relevante que o custo por litro de combustível vendido em cada região.

Para abordar o item consumo excedente de combustível, o passo seguinte foi utilizar os dados fornecidos pela ANP (2019), referentes ao consumo e ao valor de

venda do óleo diesel no Brasil. O diesel foi utilizado como referência por se tratar da principal fonte de energia do modo rodoviário brasileiro no transporte de cargas. Para o volume total obtido anualmente, foi calculado um incremento no consumo de combustível sugerido por BARTHOLOMEU (2006).

O incremento corresponde a 5% de combustível gasto a cada 100 km para operação em pavimentos deficitários. A análise sobre consumo excedente foi feita em âmbito nacional e regional, com o objetivo de observar os impactos gerados para cada um dos cenários (centros de produção e de consumo) a as suas estradas respectivas.

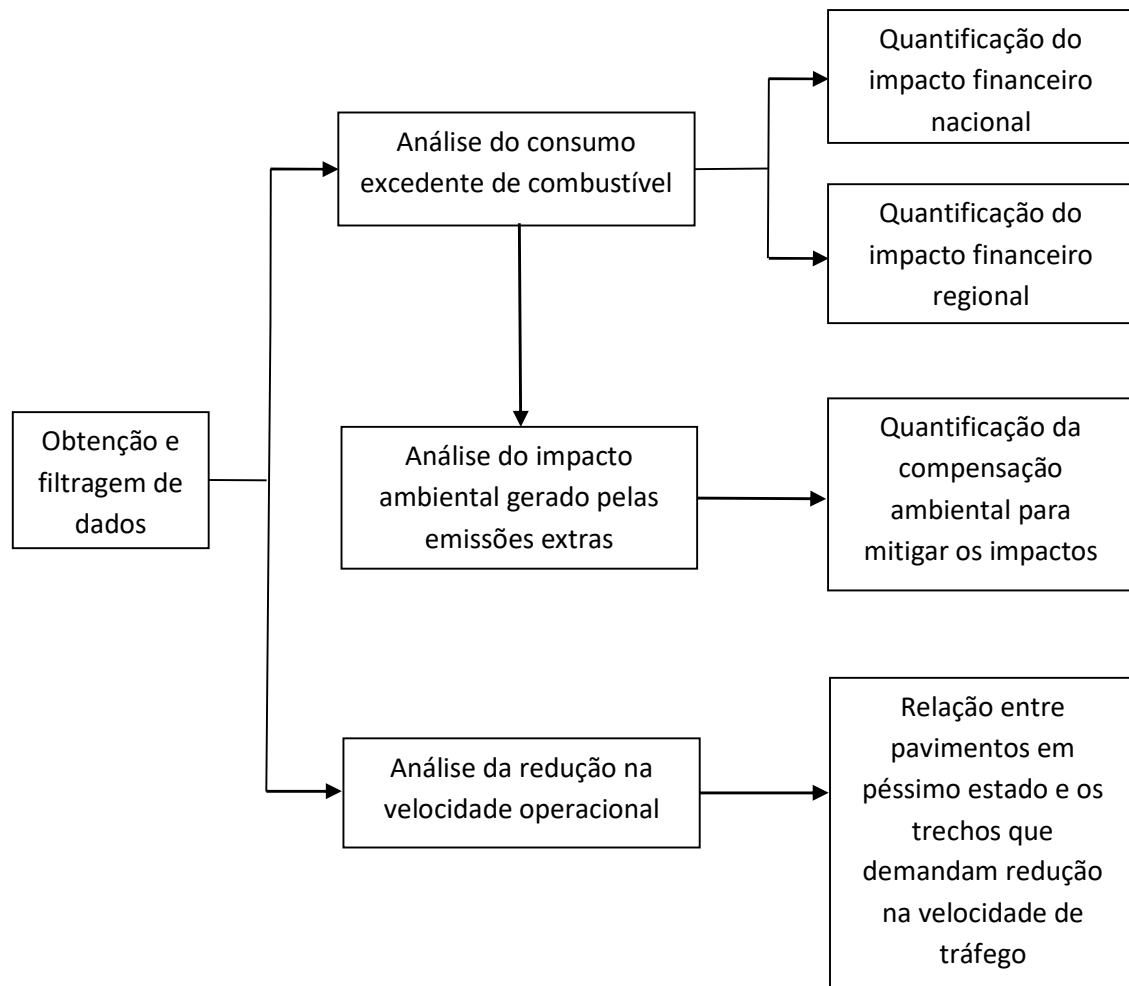
Após determinados os incrementos no panorama nacional, foi quantificado para esse cenário qual seria a dimensão da ação de compensação ambiental necessária para mitigar os impactos gerados pelas emissões decorrentes do consumo extra de combustível.

Para o item diminuição da velocidade operacional, foram considerados os dados dos Relatórios das Pesquisas CNT de Rodovias (CNT, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019) relacionados ao percentual dos pavimentos analisados a cada ano de pesquisa que demandavam baixíssima velocidade, que obrigavam alguma redução de velocidade, ou não obrigavam redução de velocidade alguma.

Na análise da velocidade operacional de tráfego, ao contrário do item consumo de combustível, foi elaborada apenas uma análise no âmbito nacional pela escassez de dados regionais relacionados ao parâmetro.

As etapas do procedimento experimental desde a obtenção dos dados até a forma de análise, para cada item descrito anteriormente, estão resumidos na Figura 8.

Figura 8: Representação esquemática do processo de análise de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

### 4.3 Análise de tendências

Com os dados devidamente cadastrados e classificados, recorreu-se a análise estatística como ferramenta para avaliar a significância dos valores obtidos. Em seguida, os resultados foram relacionados aos conteúdos obtidos em literaturas, buscando relacionar o estado do pavimento com os custos operacionais respectivos.

Em função da natureza dos dados coletados não seria possível realizar análise estatística que englobasse o cálculo de parâmetros como variância, desvio padrão ou até mesmo coeficiente de variação. Por meio destes parâmetros, seria possível garantir maior homogeneidade ou não dos dados apresentados (GOUVEIA, s.d.).

O problema está principalmente associado à especificidade dos dados que servem de base para o trabalho. Para a elaboração destes cálculos, seria preciso fixar uma variável de interesse, de forma que a mesma fosse isolada garantindo assim que variações nas demais variáveis não interferissem no resultado obtido.

Os dados extraídos dos Relatórios Gerenciais anuais da CNT embora possuam boa abrangência ao representar informações relacionadas à malha rodoviária brasileira, não apresentam de forma isolada a influência exercida pela qualidade dos pavimentos sobre os parâmetros de interesse (velocidade operacional e consumo de combustível). Como exemplo, cita-se a influência de fatores como: aumento anual do preço médio do litro do combustível; o clima no momento do registro de dados; e a influência de fatores excepcionais. Um caso de fator excepcional seria a queda no preço do litro do diesel ocasionada em 2018 em função da greve dos caminhoneiros.

Mesmo a análise estatística sendo limitada pela falta de especificidade dos dados, a observação do comportamento dos valores ao longo do período estudado permitiu extrair informações de interesse. Por meio da análise de tendências é possível observar a influência da qualidade do pavimento em relação aos pontos de interesse, mas sempre admitindo que outros fatores também exercem influência sobre os resultados apresentados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Custo operacional e qualidade dos pavimentos

Os dados retirados da bibliografia que embasaram as análises e os resultados obtidos estão anexos ao trabalho. A relação de dados inclui: quilometragem avaliada anualmente pela CNT (Anexo 1); elevação média nacional do custo operacional de tráfego, mostrado da Figura 9; classificação dos pavimentos no âmbito nacional, conforme a Figura 10; e por região do Brasil (Anexos 2, 3, 4, 5 e 6).

Figura 9: Elevação média nacional no custo operacional de tráfego.

| Ano                                          | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Elevação do C.O. em %: média nacional</b> | 28,00% | 24,50% | 24,80% | 25,20% | 25,00% | 26,00% | 25,80% | 24,90% | 27,00% | 26,70% | 28,50% |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

Figura 10: Classificação dos pavimentos – Quadro Nacional.

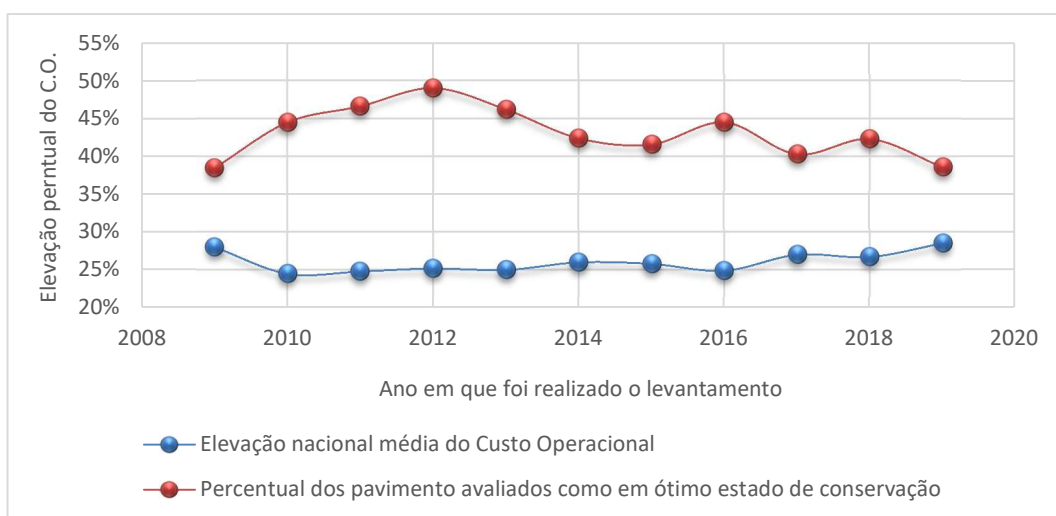
| Ano:           | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Ótima</b>   | 38,5% | 44,5% | 46,6% | 49,0% | 46,2% | 42,4% | 41,6% | 44,5% | 40,3% | 42,3% | 38,6% |
| <b>Boa</b>     | 7,3%  | 9,6%  | 5,5%  | 5,1%  | 6,9%  | 7,7%  | 9,8%  | 7,2%  | 9,7%  | 6,8%  | 9,0%  |
| <b>Regular</b> | 40,1% | 32,8% | 33,9% | 33,4% | 33,1% | 36,7% | 35,4% | 35,8% | 34,0% | 37,0% | 35,0% |
| <b>Ruim</b>    | 10,2% | 10,7% | 11,2% | 8,6%  | 9,6%  | 9,8%  | 10,1% | 9,9%  | 13,2% | 9,5%  | 13,7% |
| <b>Péssimo</b> | 3,9%  | 2,4%  | 2,8%  | 3,9%  | 4,2%  | 3,4%  | 3,1%  | 2,6%  | 2,8%  | 4,4%  | 3,7%  |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

Sabe-se que diversos fatores incidem sobre o custo operacional, por exemplo: diminuição da velocidade operacional; aumento no tempo de viagem; aumento no consumo de combustível; gastos de manutenção de veículos; ocorrência de acidentes. Mas é relevante lembrar que a qualidade dos pavimentos também influi na variação destes custos.

Buscando tornar clara essa correspondência, pode-se estabelecer relação entre a elevação média nacional do custo operacional (Figura 9), e a avaliação dos pavimentos num quadro geral nacional (Figura 10). Ao traçar uma curva que representa a evolução do percentual dos pavimentos avaliados como ótimos e a variação do aumento do custo operacional ao longo do período de 11 anos analisado (2009 à 2019), tem-se como resultado o gráfico da Figura 11.

Figura 11: Relação entre trechos com pavimentos avaliados como ótimos e elevação nacional média do custo operacional.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Como indica a Figura 11, à medida que o percentual de trechos com pavimentos avaliados como em ótimo estado de conservação cresce há tênue queda na elevação nacional média do Custo Operacional (CO). A recíproca também é verdadeira. Com destaque sobretudo entre os anos de 2009 e 2010 – com a queda da elevação nacional média do CO e aumento do percentual de pavimentos avaliados como ótimo –, e os anos de 2018 e 2019 – cenário inverso ao final da década anterior. De modo geral, esse comportamento confirma que a qualidade do pavimento tem relação com a variação dos custos operacionais, conforme sugerido em literatura.

Nos itens seguintes serão abordadas as influências da qualidade dos pavimentos sobre a velocidade operacional e sobre o consumo excedente de combustível.

## 5.2 Velocidade operacional

As informações relacionadas ao índice de diminuição da velocidade operacional de tráfego nos trechos analisados pela CNT estão representados na Figura 12 a seguir.

Figura 12: Informações a respeito do índice de diminuição da velocidade operacional nos trechos analisados anualmente pelo Relatório Gerencial CNT.

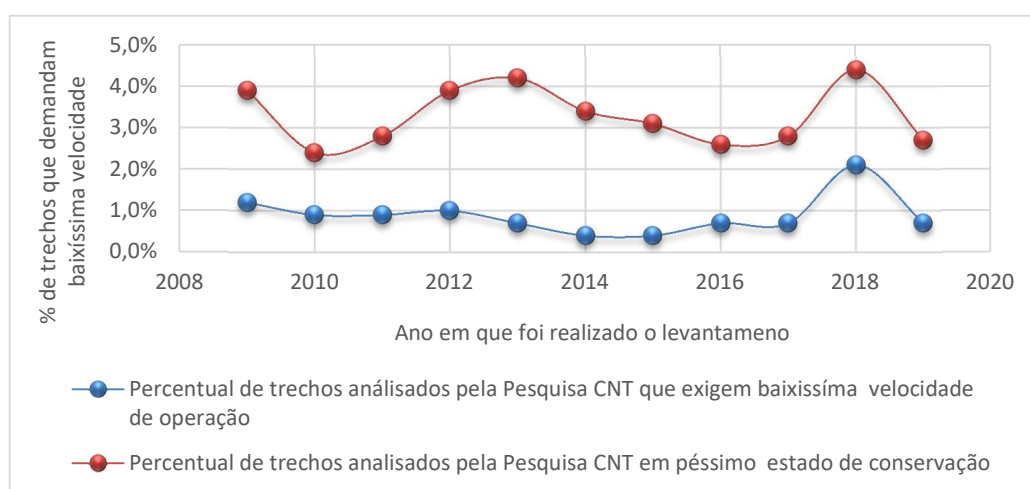
| Classificação do trecho:           | Ano   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
| Baixíssima velocidade              | 1,2%  | 0,9%  | 0,9%  | 1,0%  | 0,7%  | 0,4%  | 0,4%  | 0,7%  | 0,7%  | 1,1%  | 0,7%  |
| Obriga redução de velocidade       | 3,5%  | 1,9%  | 2,3%  | 3,6%  | 4,4%  | 3,5%  | 3,5%  | 2,4%  | 2,5%  | 4,8%  | 3,5%  |
| Não obriga a redução de velocidade | 95,3% | 97,2% | 96,8% | 95,4% | 94,9% | 96,1% | 96,1% | 96,9% | 96,8% | 94,1% | 95,8% |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

Os dados disponíveis auxiliam a compreender como o estado em que se encontram os pavimentos influencia a redução da velocidade operacional. Analisar os dados ao longo de determinado período ajuda a observar a tendência e até mesmo a elaborar projeções para cenários futuros.

Pautando os dados de velocidade de tráfego nos trechos analisados (Figura 12) e os resultados da avaliação de pavimentos (Figura 10), obtêm-se as curvas mostradas na Figura 13.

Figura 13: Relação entre trechos que exigem baixíssima velocidade e trechos em péssimo estado.



Fonte: elaborado pelo autor, 2020.



Como ilustrado na Figura 13, as curvas apresentam comportamento similar, tornando evidente que o estado do pavimento interfere de maneira direta na velocidade de tráfego.

Nos 3 últimos pontos representados é notável o comportamento semelhante entre as curvas, a variação entre os índices mais baixos (2017 e 2019) e o pico (2018). Dessa forma pode-se dizer que pavimentos com melhor serventia implicam em velocidades operacionais maiores. Da mesma forma, baixo valor de serventia do pavimento acarreta em menor velocidade de tráfego.

Mas é importante ressaltar que a natureza dos dados observados não permite afirmar que apenas a qualidade dos pavimentos seja responsável por influenciar o fator velocidade, embora seja possível confirmar que há influência significativa sobre o parâmetro.

### **5.3 Consumo de combustível**

No que se refere a influência do estado do pavimento no consumo excedente de combustível ao longo do período analisado, foi adotada outra forma de análise. Neste caso utilizou-se como referência os enunciados propostos por BARTHOLOMEU (2006).

Outra razão pela qual não foi possível elaborar análise semelhante a feita no item anterior para demonstrar os resultados de forma gráfica é a variação do preço do litro do combustível. Tais variações, tanto sazonais quanto espaciais, de forma inevitável sugerem aumento nos gastos. Entretanto, tais gastos não podem ser associados ao estado de conservação dos pavimentos.

BARTHOLOMEU (2006) obteve resultados por meio de uma análise empírica que demonstram consumo extra de combustível da ordem de 5% para operações em trechos com pavimentos classificados como ruins, quando comparados a trechos em bom estado de conservação. Para alcançar este resultado, foi elaborada análise estatística tomando como referência a relação entre o consumo adicional de combustíveis em vias com estado precário de conservação.

Para esta análise foi necessário adotar algumas hipóteses simplificadoras. A primeira delas foi a redução do número de níveis de classificação do “valor de

serventia atual” dos pavimentos admitida pelo DNIT. Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2003) são 5 os níveis de classificação para pavimentos (ótimo, bom, regular, ruim e péssimo). Para BARTHOLOMEU (2006), os trechos analisados se resumiram a dois grupos quanto ao seu estado de conservação: pior; e melhor, tomando como base a classificação sugerida pela CNT (2005). O critério adotado por Bartholomeu para classificar os trechos foi o seguinte:

- “Melhor”: rotas compostas por trechos com extensões que apresentem mais de 80% de rodovias consideradas “ótimas” ou “boas”;
- “Pior”: rotas compostas por trechos com extensões que apresentem menos de 80% de rodovias consideradas “ótimas” ou “boas”.

Deste modo, as rotas que atenderam os critérios estabelecidos, e que foram utilizadas para a coleta de dados primários e posteriormente para obtenção do resultado apresentado foram:

- I) Rota “Melhor”: Campo Grande (MS) a Santos (SP): 93,5% de sua extensão total foi classificada como “ótimo” ou “bom” segundo critérios estabelecidos pela CNT;
- II) Rota “Pior”: Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS): 46,6% de sua extensão total foi classificada como “ótimo ou bom” segundo critério estabelecidos pela CNT.

É importante destacar que esse não é o resultado apresentado atualmente pelos trechos, mas sim durante o período em que foi realizado o estudo de Bartholomeu, entre os anos de 2005 e 2006.

Outra hipótese simplificadora adotada está relacionada às condições climáticas no momento da coleta dos dados primários. Mesmo o clima sendo fator de influência significativa sobre as condições operacionais, esse item não foi considerado por Bartholomeu.

A Figura 14 resume o impacto financeiro gerado com o consumo extra de combustível. Neste caso, é possível confirmar os gastos (excessivos e desnecessários) decorrentes do estado deficitário em que se encontram os pavimentos, de acordo com o resultado obtido por BARTHOLOMEU (2006). Embora

a Figura 14 mostre o resultado geral nacional, o mesmo pôde ser feito para as 5 regiões do País, de modo a analisar os resultados distintos entre as regiões que consomem mais e menos combustível. Estes resultados para cada uma das 5 regiões estão apresentados nas Figuras 15, 16, 17, 18 e 19.

Figura 14: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos, com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Cenário Nacional.

| Ano                   | 2009             | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             | 2014             |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,06         | R\$ 2,00         | R\$ 2,03         | R\$ 2,09         | R\$ 2,32         | R\$ 2,51         |
| Consumo (m³)          | 44.298.462,79    | 49.239.039,24    | 52.263.911,58    | 55.900.363,67    | 58.572.495,08    | 60.031.617,59    |
| Excedente 5% (l)      | 2.214.923.139,40 | 2.461.951.962,15 | 2.613.195.579,15 | 2.795.018.183,55 | 2.928.624.754,20 | 3.001.580.879,45 |
| Custo excedente (R\$) | 4.562.741.667,16 | 4.928.827.828,22 | 5.294.334.243,36 | 5.833.202.949,07 | 6.791.480.804,99 | 7.539.971.169,18 |

| Ano                   | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             | 2019              |                   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,83         | R\$ 3,01         | R\$ 3,11         | R\$ 3,45         | R\$ 3,69          |                   |
| Consumo (m³)          | 57.210.870,37    | 54.278.570,07    | 54.772.292,49    | 55.629.467,17    | 57.298.447,72     | Total excedente:  |
| Excedente 5% (l)      | 2.860.543.518,60 | 2.713.928.503,65 | 2.738.614.624,25 | 2.781.473.358,60 | 2.864.922.386,20  | 29.974.776.889,20 |
| Custo excedente (R\$) | 8.086.756.527,08 | 8.177.066.581,50 | 8.522.568.710,67 | 9.598.864.560,53 | 10.560.103.915,53 | 79.895.918.957,29 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

Figura 15: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Sul.

| Ano                   | 2009               | 2010               | 2011                 | 2012                 | 2013                 | 2014                 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,05           | R\$ 2,00           | R\$ 2,02             | R\$ 2,07             | R\$ 2,29             | R\$ 2,48             |
| Consumo Total (m³)    | 8.627.412,35       | 9.467.073,89       | 10.013.248,22        | 10.471.119,23        | 11.100.222,13        | 11.370.223,80        |
| Excedente 5% (l)      | 431.370.617,54     | 473.353.694,51     | 500.662.411,13       | 523.555.961,44       | 555.011.106,70       | 568.511.189,80       |
| Custo excedente (R\$) | R\$ 886.286.881,30 | R\$ 944.498.405,11 | R\$ 1.012.214.229,70 | R\$ 1.085.898.693,70 | R\$ 1.273.010.475,07 | R\$ 1.409.054.983,92 |

| Ano                   | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             | 2019             |                   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,76         | R\$ 2,90         | R\$ 2,97         | R\$ 2,35         | R\$ 3,62         |                   |
| Consumo Total (m³)    | 11.077.579,89    | 11.110.505,30    | 11.303.134,64    | 11.507.363,60    | 11.839.205,45    | Total excedente:  |
| Excedente 5% (l)      | 553.878.994,41   | 555.525.264,75   | 565.156.731,79   | 575.368.179,85   | 591.960.272,40   | 5.894.354.424,33  |
| Custo excedente (R\$) | 1.529.075.277,23 | 1.610.328.861,19 | 1.679.269.035,73 | 1.349.813.749,93 | 2.144.080.106,63 | 14.923.530.699,52 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

Figura 16: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Sudeste.

| Ano                   | 2009             | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             | 2014             |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,03         | R\$ 1,97         | R\$ 1,99         | R\$ 2,06         | R\$ 2,29         | R\$ 2,48         |
| Consumo Total (m³)    | 19.534.066,82    | 21.567.541,48    | 22.779.951,25    | 23.816.232,09    | 24.573.054,29    | 24.658.507,57    |
| Excedente 5% (l)      | 976.703.340,98   | 1.078.377.073,92 | 1.138.997.562,65 | 1.190.811.604,37 | 1.228.652.714,55 | 1.232.925.378,45 |
| Custo excedente (R\$) | 1.979.777.672,16 | 2.121.886.622,45 | 2.266.415.316,75 | 2.449.797.173,08 | 2.813.205.165,41 | 3.051.798.543,01 |

| Ano:                  | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             | 2019             |                   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,78         | R\$ 2,96         | R\$ 3,08         | R\$ 2,41         | R\$ 3,85         |                   |
| Consumo Total (m³)    | 23.437.905,22    | 22.409.587,77    | 22.314.607,49    | 22.320.411,17    | 22.890.157,48    | Total excedente:  |
| Excedente 5% (l)      | 1.171.895.261,07 | 1.120.479.388,55 | 1.115.730.374,44 | 1.116.020.558,40 | 1.144.507.874,15 | 12.515.101.131,53 |
| Custo excedente (R\$) | 3.260.993.879,81 | 3.317.085.856,52 | 3.440.819.497,24 | 2.684.587.453,23 | 4.406.355.315,48 | 31.792.722.495,14 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

Figura 17: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Centro-oeste.

| Ano                   | 2009               | 2010               | 2011               | 2012               | 2013               | 2014                 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,15           | R\$ 2,10           | R\$ 2,13           | R\$ 2,19           | R\$ 2,43           | R\$ 2,64             |
| Consumo Total (m³)    | 5.134.405,36       | 5.623.528,65       | 5.998.399,77       | 6.788.698,55       | 7.453.887,94       | 7.732.506,72         |
| Excedente 5% (l)      | 256.720.268,00     | 281.176.432,60     | 299.919.988,66     | 339.434.927,65     | 372.694.396,80     | 386.625.336,20       |
| Custo excedente (R\$) | R\$ 552.034.149,62 | R\$ 589.134.920,41 | R\$ 639.929.282,48 | R\$ 743.362.491,55 | R\$ 906.796.525,28 | R\$ 1.022.366.264,02 |

| Ano:                  | 2015             | 2016             | 2017             | 2018           | 2019             |                   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,97         | R\$ 3,17         | R\$ 3,33         | R\$ 2,41       | R\$ 4,24         |                   |
| Consumo Total (m³)    | 7.400.344,81     | 6.888.596,08     | 6.993.085,87     | 7.235.794,88   | 7.544.612,18     | Total excedente:  |
| Excedente 5% (l)      | 370.017.240,63   | 344.429.804,15   | 349.654.293,74   | 361.789.744,10 | 377.230.609,10   | 3.739.693.041,63  |
| Custo excedente (R\$) | 1.100.030.421,63 | 1.091.813.776,67 | 1.165.281.209,60 | 870.285.229,43 | 1.597.571.629,54 | 10.278.605.900,24 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

Figura 18: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Nordeste.

| Ano                   | 2009               | 2010               | 2011               | 2012               | 2013                 | 2014                 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,03           | R\$ 1,97           | R\$ 1,99           | R\$ 2,04           | R\$ 2,28             | R\$ 2,47             |
| Consumo Total (m³)    | 6.927.626,23       | 7.719.735,13       | 8.230.617,98       | 9.133.665,16       | 9.592.427,33         | 10.199.594,95        |
| Excedente 5% (l)      | 346.381.311,47     | 385.986.756,58     | 411.530.899,12     | 456.683.257,87     | 479.621.366,35       | 509.979.747,25       |
| Custo excedente (R\$) | R\$ 703.789.094,69 | R\$ 759.686.268,07 | R\$ 817.300.365,65 | R\$ 932.242.757,07 | R\$ 1.095.055.516,27 | R\$ 1.258.120.036,47 |

| Ano:                  | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             | 2019             |                   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| R\$ diesel/litro      | R\$ 2,80         | R\$ 3,03         | R\$ 3,09         | R\$ 2,31         | R\$ 3,92         |                   |
| Consumo Total (m³)    | 9.603.331,04     | 8.715.531,25     | 8.789.906,97     | 8.915.253,80     | 9.039.525,90     | Total excedente:  |
| Excedente 5% (l)      | 480.166.552,12   | 435.776.562,70   | 439.495.348,60   | 445.762.690,15   | 451.976.294,80   | 4.843.360.787,01  |
| Custo excedente (R\$) | 1.343.345.957,33 | 1.322.073.461,80 | 1.357.271.510,31 | 1.027.928.763,49 | 1.770.843.123,03 | 12.387.656.854,17 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

Figura 19: Gastos excedentes de combustível decorrentes do estado deficitário dos pavimentos com base nos resultados obtidos por Bartholomeu (2006) – Região Norte.

| Ano                             | 2009               | 2010               | 2011               | 2012               | 2013               | 2014               |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| R\$ diesel/litro                | R\$ 2,19           | R\$ 2,15           | R\$ 2,16           | R\$ 2,21           | R\$ 2,44           | R\$ 2,67           |
| Consumo Total (m <sup>3</sup> ) | 4.074.952,03       | 4.861.160,09       | 5.241.694,35       | 5.690.648,64       | 5.852.903,40       | 6.070.784,56       |
| Excedente 5% (l)                | 203.747.601,41     | 243.058.004,54     | 262.084.717,58     | 284.532.432,22     | 292.645.169,80     | 303.539.227,75     |
| Custo excedente (R\$)           | R\$ 445.680.899,11 | R\$ 523.000.061,28 | R\$ 566.801.882,56 | R\$ 629.765.116,65 | R\$ 714.200.536,90 | R\$ 809.842.659,64 |

| Ano:                            | 2015               | 2016               | 2017               | 2018               | 2019                 |                      |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| R\$ diesel/litro                | R\$ 3,03           | R\$ 3,25           | R\$ 3,31           | R\$ 2,27           | R\$ 4,23             |                      |
| Consumo Total (m <sup>3</sup> ) | 5.691.709,41       | 5.154.349,67       | 5.371.557,51       | 5.650.643,72       | 5.984.946,72         | Total excedente:     |
| Excedente 5% (l)                | 284.585.470,36     | 257.717.483,50     | 268.577.875,68     | 282.532.186,10     | 299.247.335,75       | 2.982.267.504,70     |
| Custo excedente (R\$)           | R\$ 862.436.267,93 | R\$ 837.410.009,72 | R\$ 889.238.964,89 | R\$ 640.811.251,29 | R\$ 1.267.013.219,57 | R\$ 8.186.200.869,53 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 – Com dados da ANP.

O valor gasto excedente ao longo dos 11 anos se aproxima de R\$ 80 bilhões. Vale ainda ressaltar que este valor seria equivalente ao cenário em que todos os trechos que compõe a malha rodoviária no Brasil se encontrassem no estado assumido por BARTHOLOMEU (2006) como “pior”. Embora saiba-se que esse não é o caso, levando em consideração que apenas 12,4% (o equivalente a 213.453 quilômetros) das vias brasileiras são pavimentadas, esse valor, que à primeira vista pode parecer superestimado, pode na verdade ainda ser muito inferior ao real.

O montante gasto em combustível de forma desnecessária influencia diretamente no consumo de diversos bens. Por exemplo, o aumento que incide no custo de fretes de mercadorias, que cresce proporcionalmente.

#### 5.4 Emissões atmosféricas

Maior consumo de combustível, como mencionado, resulta diretamente em maiores emissões. A respeito de tais emissões, um cálculo simples pode ser feito. Para CHRISTOPHE (2008), o consumo de um litro de diesel pode liberar cerca de 2,6 kg de CO<sub>2</sub>. Para o valor excedente de 29.974.776.889,20 de litros de combustível

(Figura 14) consumidos em 11 anos de observação, as emissões equivalem a  $77,9 \times 10^6$  toneladas de CO<sub>2</sub>.

Pode-se ainda aplicar os resultados obtidos no estudo realizado pela Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' para quantificar o processo de compensação ambiental necessário para esse caso. Levando em conta que durante os 20 primeiros anos de vida cada árvore seja capaz de absorver os 163,14 kg de CO<sub>2eq.</sub>, então seriam necessárias 477.714.968 mudas de árvores para absorver, ao longo de 2 décadas, as emissões excedentes geradas.

Embora sejam temáticas não relacionadas com muita frequência, o meio ambiente e o setor de transportes estão intrinsicamente ligados. Logo, investir em melhor infraestrutura rodoviária é uma ação necessária, e que tem consequências ligadas a aspectos que vão além do meio econômico.

Outra saída alternativa, seria o investimento em outros modais de transporte. Modais com maior eficiência energética, como, por exemplo, o modal hidroviário. Tal afirmação é corroborada pelas informações apresentadas pela Figura 7.

## 6 CONCLUSÕES

É clara a relação entre a qualidade dos pavimentos e os custos operacionais. Diversos fatores podem ser indicados para justificar tal relação: velocidade de tráfego, tempo de viagem, consumo de combustível, e quantidade de emissões atmosféricas, por exemplo. Outros fatores como geometria e sinalização (não abordados neste trabalho) também podem colaborar. Logo se torna ainda mais evidente a influência que uma boa infraestrutura de transporte rodoviário tem em um país como o Brasil.

Pode-se concluir ainda que mesmo sendo muito dependente do sistema de transporte rodoviário, o Brasil não conta com infraestrutura adequada de forma que possa atender sua demanda de maneira eficiente.

É notável a influência nos custos operacionais de tráfego resultante da qualidade precária das vias. Os impactos aqui listados, tanto econômicos (quase R\$ 80 bilhões de gastos excedentes em combustível em 11 anos) como ambientais (quase  $77,9 \times 10^6$  toneladas de  $\text{CO}_2$  emitidas) derivados do consumo extra de combustível são apenas algumas das relações observadas.

Algumas alternativas podem ser consideradas. O uso de compensações ambientais para “equilibrar a balança”, como o plantio das quase 478 milhões de árvores necessárias para absorver as emissões excedentes é uma delas. Outra alternativa seria o investimento em melhorias no próprio modo, ou até mesmo melhor racionamento na utilização dos demais meios de transporte. O aumento no uso de modos de transportes mais eficientes energeticamente, como o transporte hidroviário, por exemplo, ajudaria a substituir o transporte hoje feito majoritariamente por rodovias. Isso poderia representar resultados positivos tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-deprecos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>>. Acesso em: 15 de Abril de 2020.

Balbo, José Tadeu, **“PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Materiais, projeto e restauração”**. São Paulo, 2007.

Bartholomeu, D. B. **Quantificação dos Impactos Econômicos e Ambientais Decorrentes do Estado de Conservação das Rodovias Brasileiras**. 2006. Tese de Doutorado. ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-08052008-172034/pt-br.php>>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

Christophe. **Emissões CO2 por litro de combustível: Gasolina, diesel ou GLP**. 2008. Disponível em <[https://www.ecologia.cc/Emiss%C3%B5es-co2-litros-de-combust%C3%ADvel-de-gasolina-ou-diesel-gpl/#:~:text=Um%20litro%20de%20diesel%20\(ou,1%2C15%20kg%20de%20%C3%A1gua](https://www.ecologia.cc/Emiss%C3%B5es-co2-litros-de-combust%C3%ADvel-de-gasolina-ou-diesel-gpl/#:~:text=Um%20litro%20de%20diesel%20(ou,1%2C15%20kg%20de%20%C3%A1gua)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2020.

Cava, Felipe. **O que é a Avaliação Funcional dos Pavimentos**. 2018. Disponível em <<https://alemdainercia.com/2018/07/11/o-que-e-a-avaliacao-funcional-dos-pavimentos/>>. Acesso em: 07 de Agosto de 2021.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Econômico – Maio 2021**. Investimentos Federais em Transporte. 2021.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **23ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias**. 2019.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **22ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias**. 2018.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **21ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias**. 2017.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **20ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias**. 2016.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **19ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias**. 2015.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **18ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2014.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **17ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2013.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **16ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2012.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **15ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2011.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **14ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2010.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **13ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2009.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **12ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2007.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **11ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2006.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **10ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2005.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **9ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2004.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **8ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2003.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **7ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2002.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **6ª ed. Pesquisas CNT de Rodovias.** 2001.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Plano CNT de Transporte e Logística.** 2014. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em 11 de Junho de 2020.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Conjuntura do Transporte: Investimentos.** Disponível em: <file:///D:/Users/Windows/Downloads/Conjuntura%20do%20transporte.pdf>. Acesso em 24 de Julho de 2021.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2003.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Gerência de Pavimentos.** Rio de Janeiro. Janeiro de 2011.

Fórum Econômico Mundial. **“The Global Competitiveness Report 2019”.** 2019. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf). Acesso em 27 de Julho de 2021.

Gouveia, Rosimar. **Estatística: Medidas de dispersão.** s/d. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/medidas-de-dispersao/>. Acesso em: 31 de Julho. 2021.

Peixoto, Creso de Franco. **“Generalidades de Pavimentação Rodoviária”.** Rio Claro, 2003. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **“AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE PAVIMENTO”.** 2006.

Prieto, Valter. **“Notas de Aulas da disciplina de Superestrutura Rodoviária”.** Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, 2016.

Preussler, Ernesto Simões. **Gerência de Pavimentos. 1ª Semana do Planejamento.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/1a-semana-do-planejamento/2GerenciadepavimentoesistemadegestodeprojetosSGP.pdf>. Acesso em 19 de Maio de 2020.

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ-USP (2013). **Reflorestamento da Mata Atlântica absorve 1,2 milhão de toneladas de CO2.** 2013. Disponível em: [http://www.esalq.usp.br/acom/clipping/arquivos/16-03-2013\\_Reflorestamento\\_da\\_Mata\\_Atlantica\\_absorve\\_1\\_2\\_milhoes\\_e\\_toneladas\\_de\\_CO2\\_UOL.pdf](http://www.esalq.usp.br/acom/clipping/arquivos/16-03-2013_Reflorestamento_da_Mata_Atlantica_absorve_1_2_milhoes_e_toneladas_de_CO2_UOL.pdf). Acesso em: 14 de Agosto de 2021.

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente – Instituto Florestal. **Compensação Ambiental.** Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/planos-manejo-gestao/compensacao-ambiental/>. Acesso em 14 de Agosto de 2021.

Santos, R. S.; Barbosa, J. J. **Template para produção de trabalhos acadêmicos na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Unesp**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Biblioteca, 2021. 40 p.

Visconti, Tobias S. **O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER**. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de Apoio Tecnológico. Dezembro de 2000.

## ANEXOS

### Anexo 1: Quilometragem analisada pelo Relatório Gerencial Anual da CNT.

| Ano                            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Quilometragem analisada</b> | 89.552 | 90.945 | 92.747 | 95.707 | 96.714 | 98.475 | 100.763 | 103.259 | 105.814 | 107.161 | 108.863 |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

### Anexo 2: Classificação dos pavimentos – Região Sul.

| Ano            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Ótima</b>   | 52,00% | 53,00% | 58,28% | 60,50% | 55,40% | 38,40% | 33,82% | 40,40% | 37,40% | 42,70% | 36,80% |
| <b>Boa</b>     | 10,50% | 15,60% | 5,88%  | 5,60%  | 8,10%  | 14,70% | 15,02% | 12,00% | 14,50% | 6,80%  | 11,20% |
| <b>Regular</b> | 29,40% | 22,40% | 27,58% | 27,00% | 28,10% | 33,70% | 34,32% | 33,60% | 32,70% | 39,50% | 33,10% |
| <b>Ruim</b>    | 7,80%  | 8,70%  | 7,68%  | 6,30%  | 6,80%  | 11,50% | 13,52% | 12,10% | 13,60% | 9,40%  | 17,20% |
| <b>Péssimo</b> | 0,30%  | 0,30%  | 0,58%  | 0,60%  | 1,60%  | 1,70%  | 3,32%  | 1,90%  | 1,80%  | 1,60%  | 1,70%  |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

### Anexo 3: Classificação dos pavimentos – Região Sudeste.

| Ano            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Ótima</b>   | 49,50% | 50,50% | 53,22% | 55,82% | 54,00% | 53,10% | 49,60% | 52,10% | 44,80% | 49,50% | 46,80% |
| <b>Boa</b>     | 7,30%  | 7,40%  | 6,42%  | 5,62%  | 6,20%  | 6,10%  | 10,50% | 7,40%  | 10,80% | 8,80%  | 10,20% |
| <b>Regular</b> | 33,60% | 34,30% | 30,72% | 28,12% | 27,80% | 30,40% | 28,90% | 28,40% | 28,00% | 30,00% | 27,70% |
| <b>Ruim</b>    | 7,50%  | 7,50%  | 9,32%  | 8,52%  | 8,00%  | 9,00%  | 10,30% | 11,10% | 14,60% | 10,60% | 14,50% |
| <b>Péssimo</b> | 2,10%  | 0,30%  | 0,32%  | 1,92%  | 4,00%  | 1,40%  | 0,70%  | 1,00%  | 1,80%  | 1,10%  | 0,80%  |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

### Anexo 4: Classificação dos pavimentos – Região Centro-oeste.

| Ano            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Ótima</b>   | 28,22% | 33,70% | 42,50% | 44,58% | 40,40% | 36,70% | 37,70% | 41,10% | 33,00% | 38,60% | 31,30% |
| <b>Boa</b>     | 8,52%  | 12,80% | 5,90%  | 4,98%  | 5,80%  | 6,40%  | 9,10%  | 6,20%  | 13,60% | 4,50%  | 11,70% |
| <b>Regular</b> | 47,42% | 30,70% | 35,60% | 37,68% | 41,70% | 47,30% | 41,00% | 43,80% | 36,00% | 43,80% | 38,60% |
| <b>Ruim</b>    | 14,12% | 20,90% | 13,90% | 10,08% | 9,40%  | 7,30%  | 10,10% | 7,60%  | 15,50% | 8,50%  | 14,70% |
| <b>Péssimo</b> | 1,72%  | 1,90%  | 2,10%  | 2,68%  | 2,70%  | 2,30%  | 2,10%  | 1,30%  | 1,90%  | 4,60%  | 3,70%  |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

### Anexo 5: Classificação dos pavimentos – Região Nordeste.

| Ano            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Ótima</b>   | 32,60% | 48,30% | 44,90% | 48,80% | 45,30% | 44,10% | 48,50% | 47,70% | 47,50% | 44,60% | 41,50% |
| <b>Boa</b>     | 6,50%  | 4,80%  | 5,10%  | 5,00%  | 7,90%  | 6,10%  | 6,00%  | 6,00%  | 4,60%  | 7,80%  | 7,00%  |
| <b>Regular</b> | 40,80% | 37,20% | 36,30% | 33,90% | 31,90% | 36,40% | 35,20% | 34,10% | 33,00% | 34,00% | 37,10% |
| <b>Ruim</b>    | 11,70% | 6,10%  | 9,00%  | 7,20%  | 10,30% | 8,30%  | 7,10%  | 9,10%  | 11,20% | 8,80%  | 9,30%  |
| <b>Péssimo</b> | 8,40%  | 3,60%  | 4,70%  | 5,10%  | 4,60%  | 5,10%  | 3,20%  | 3,10%  | 3,70%  | 4,80%  | 5,10%  |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)

### Anexo 6: Classificação dos pavimentos – Região Norte.

| Ano            | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Ótima</b>   | 14,40% | 18,10% | 19,70% | 19,10% | 22,20% | 24,80% | 23,40% | 29,40% | 27,70% | 24,80% | 25,80% |
| <b>Boa</b>     | 1,40%  | 14,00% | 2,30%  | 2,90%  | 5,70%  | 6,60%  | 10,40% | 4,20%  | 6,60%  | 3,30%  | 3,90%  |
| <b>Regular</b> | 66,10% | 37,70% | 44,20% | 50,20% | 46,00% | 43,80% | 45,50% | 49,50% | 49,00% | 47,10% | 44,50% |
| <b>Ruim</b>    | 11,80% | 20,60% | 24,50% | 14,50% | 16,70% | 16,40% | 11,30% | 8,70%  | 11,20% | 10,20% | 15,70% |
| <b>Péssimo</b> | 6,30%  | 9,60%  | 9,30%  | 13,30% | 9,40%  | 8,40%  | 9,40%  | 8,20%  | 5,50%  | 14,60% | 10,10% |

Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (CNT)