

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA EM UM PROJETO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL NOVO:
ESTUDO DE CASO NA AVENIDA OLÍMPIO RAFAGNIN**

ANDRESA FEITOSA SILVA FELICIANO

Foz do Iguaçu
2022

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA EM UM PROJETO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL NOVO:
ESTUDO DE CASO NA AVENIDA OLÍMPIO RAFAGNIN**

ANDRESA FEITOSA SILVA FELICIANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza

Foz do Iguaçu
2022

ANDRESA FEITOSA SILVA FELICIANO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA EM UM PROJETO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL NOVO:**

ESTUDO DE CASO NA AVENIDA OLÍMPIO RAFAGNIN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território da Universidade
Federal da Integração Latino-Americana, como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza
UNILA

Prof. Dr. Noé Villegas Flores
UNILA

Eng. Vinícius Viana Dobes
Membro Externo

Foz do Iguaçu, 26 de maio de 2022.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Andresa Feitosa Silva Feliciano

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

Tipo de Documento	
(x) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(.....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Avaliação da viabilidade econômica em um projeto de pavimento flexível novo: estudo de caso na Avenida Olímpio Rafagnin.

Nome do orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza

Data da Defesa: 26/05/2022

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 26 de maio de 2022.

Andresa Feliciano

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza pelo conhecimento e apoio ao longo do desenvolvimento deste trabalho e de toda minha graduação.

Ao Eng. Vinícius e à Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu por disponibilizar o laudo técnico que viabilizou este trabalho.

RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar e comparar os aspectos financeiros envolvidos na implantação e conservação de um pavimento flexível com períodos de vida útil diferentes. Os pavimentos flexíveis são geralmente dimensionados para um período de 10 anos sendo incomum a análise de vidas úteis maiores. Este estudo realizou o dimensionamento de um pavimento flexível para períodos de vida útil de, respectivamente, 10 e 20 anos aliado aos quantitativos de materiais para implantação e conservação nesses períodos de tempo, assim como a avaliação dos respectivos custos envolvidos. Ao final do trabalho, foi possível verificar as vantagens nos custos para os gestores e/ou administradores da via e na qualidade e segurança para os usuários na implantação de pavimentos flexíveis com período de vida útil de 20 anos.

Palavras-chave: pavimentação; dimensionamento de pavimentos flexíveis; previsão do desempenho; viabilidade econômica.

RESUMEN

El presente trabajo buscó evaluar y comparar los aspectos financieros involucrados en la implantación y conservación de un pavimento flexible con diferentes períodos de vida útil. Los pavimentos flexibles generalmente son dimensionados para un período de 10 años, siendo poco común el análisis de vidas útiles mayores. Este estudio realizó el dimensionamiento de un pavimento flexible para períodos de vida útil de 10 y 20 años respectivamente, junto con las cantidades de materiales para implantación y conservación en estos períodos de tiempo, así como la evaluación de los respectivos costos involucrados. Al final del trabajo, se pudo verificar las ventajas en costos para los gestores y/o administradores viales y en la calidad y seguridad para los usuarios en la implementación de pavimentos flexibles con un período de vida útil de 20 años.

Palabras clave: pavimentación; dimensionamiento de pavimento flexibles; estimación del desempeño; viabilidad económica.

ABSTRACT

The present work sought to evaluate and compare the financial aspects involved in the implantation and conservation of a flexible pavement with different useful life periods. Flexible pavements are generally dimensioned for a period of 10 years, and the analysis of longer useful lives is uncommon. This study carried out the design of a flexible pavement for periods of useful life of, respectively, 10 and 20 years, together with the quantities of materials for implantation and conservation in these periods of time, as well as the evaluation of the respective costs involved. At the end of the work, it was possible to verify the cost advantages for managers and/or road administrators and in the quality and safety for users in the implementation of flexible pavements with a useful life period of 20 years.

Key words: pavementation; flexible roads design; performance prediction; economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do pavimento flexível e rígido	11
Figura 2 – Ábaco para determinação da espessura do pavimento	12
Figura 3 – Espessuras das camadas	14
Figura 4 – Variação da serventia devido ao tráfego ou tempo	16
Figura 5 – Planilha de cálculo do IGG	18
Figura 6 – Tipos de intervenção	20
Figura 7 – Localização do objeto de estudo	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espessuras mínimas do revestimento	13
Tabela 2 – Coeficientes de equivalência estrutural	14
Tabela 3 – Condições de superfície do pavimento	19
Tabela 4 – Parâmetros utilizados para o dimensionamento do pavimento.....	24
Tabela 5 – Tipos de intervenções e valores de ΔSN	24
Tabela 6 – Custos dos materiais	27
Tabela 7 – Espessuras obtidas para os pavimentos (períodos de projeto: 10 e 20 anos)	28
Tabela 8 – Determinação do número estrutural (SN)	28
Tabela 9 – Previsão do desempenho pelo método da AASHTO (10 anos)	29
Tabela 10 – Previsão do desempenho pelo método da AASHTO (20 anos)	29
Tabela 11 – Descrição dos tipos de intervenções.....	30
Tabela 12 – Cenários avaliados para cada PSI de intervenção	30
Tabela 13 – Resumo dos cenários avaliados e os tipos de intervenções.....	31
Tabela 14 – Cenário com a aplicação da intervenção tipo 2 (lama asfáltica)	31
Tabela 15 – Resumo dos custos (período de 10 anos)	32
Tabela 16 – Resumo dos custos (período de 20 anos)	32
Tabela 17 – Ano da primeira intervenção (10 anos)	33
Tabela 18 – Ano da primeira intervenção (20 anos)	34
Tabela 19 – Menor PSI obtido (10 anos)	34
Tabela 20 – Menor PSI obtido (20 anos)	34
Tabela 21 – Custos de implantação e conservação (período de 10 anos)	35
Tabela 22 – Custos de implantação e conservação (período de 20 anos)	36
Tabela 23 – Custo total para o gestor no período de 10 anos	36
Tabela 24 – Custo total para o gestor no período de 20 anos	37
Tabela 25 – Custos operacionais dos veículos (período de 10 anos)	38
Tabela 26 – Custos operacionais dos veículos (período de 20 anos)	38
Tabela 27 – Custos de conservação+operacional-valor residual (período de 10 anos)	39
Tabela 28 – Custos de conservação+operacional-valor residual (período de 20 anos)	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	11
3.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO CBR	11
3.3 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	15
3.3.1 Serventia	15
3.3.2 Irregularidade Longitudinal.....	17
3.3.3 Índice de Gravidade Global (IGG).....	18
3.4 PREVISÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO – EQUAÇÃO DA AASHTO.....	19
3.5 VALOR RESIDUAL DO PAVIMENTO	21
3.6 CUSTOS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS.....	21
4 METODOLOGIA	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS INICIAIS.....	28
5.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS	33
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICES	45
APÊNDICE A – PATOLOGIA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	46
APÊNDICE B – CENÁRIOS AVALIADOS PARA O PERÍODO DE 10 ANOS	52
APÊNDICE C – CENÁRIOS AVALIADOS PARA O PERÍODO DE 20 ANOS	56
ANEXOS	62
ANEXO A – TABELAS DE ZANIEWSKI.....	63

1 INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2019, o modal rodoviário é responsável por aproximadamente 61% do transporte de mercadorias e 95% do transporte de passageiros em todo país. Mesmo com números tão altos, apenas 12,3% das rodovias brasileiras são pavimentadas e ainda assim grande parte não apresenta condições de conforto e segurança adequadas (CNT, 2019).

No Brasil, 99% da malha rodoviária é composta por pavimentos flexíveis que passaram a ser mais utilizados devido ao alto custo de implantação dos pavimentos rígidos que chega a ser quase 30% maior. Os pavimentos flexíveis são dimensionados para durar entre 8 e 12 anos, exigindo manutenções periódicas para não ampliar os desgastes relacionados ao tráfego e clima (CNT, 2017). Se essas manutenções não são realizadas periodicamente, os custos crescem exponencialmente até que a restauração se torna inviável, sendo necessário realizar a reconstrução parcial ou total do pavimento (BALBO, 2007).

Ainda segundo a CNT (2017), a falta de investimento em manutenção e a ausência de uma política de gerenciamento de pavimentos contribuem para a baixa durabilidade dos pavimentos brasileiros. Além disso, no Brasil não ocorre um planejamento adequado visto que ainda se utiliza um período de projeto de 10 anos, bem inferior ao de outros países, para reduzir o investimento inicial. Em grande parte da Europa e dos Estados Unidos, os pavimentos flexíveis são projetados para durar, no mínimo, 20 anos.

Por outro lado, por exemplo, nos Estados Unidos, os pavimentos rígidos são os mais utilizados por serem pouco deformáveis e mais duráveis, com período de vida útil entre 25 e 30 anos, e exigindo reduzida manutenção (HALL et al., 2007).

O presente trabalho busca comparar os aspectos financeiros na implantação de um novo pavimento com período de vida útil mínimo de, respectivamente, 10 e 20 anos para avaliar a melhor opção a ser aplicada a longo prazo. O objeto de estudo será um trecho novo da Avenida Olímpio Rafagnin, localizado em Foz do Iguaçu – PR, próximo a BR-277.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade econômica de um pavimento flexível novo com períodos de vida útil mínimos de, respectivamente, 10 e 20 anos na Avenida Olímpio Rafagnin em Foz do Iguaçu, Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Dimensionar a estrutura do pavimento flexível novo com períodos de vida útil mínimo de, respectivamente, 10 e 20 anos utilizando o método CBR;
- b) Realizar um levantamento quantitativo de materiais necessários para implantação, conservação e restauração do pavimento;
- c) Avaliar os custos para execução e conservação do pavimento considerando a aplicação de tipos de intervenções diferentes;
- d) Comparar os resultados obtidos para os dois períodos de vida útil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

O pavimento rodoviário é uma estrutura constituída por finitas camadas, com finalidades específicas, construída sobre um terreno de fundação, com o objetivo de resistir aos esforços solicitantes do tráfego de veículos e efeitos das intempéries, e proporcionar condições de conforto, segurança e economia aos usuários. Os pavimentos são classificados em quatro tipos: flexíveis, rígidos, semirrígidos e invertidos (BERNUCCI et al., 2008; SILVA, 2008).

Os pavimentos flexíveis são constituídos por misturas betuminosas em suas camadas superficiais e possuem elevada deformabilidade (BRANCO et al., 2016), em contrapartida, os pavimentos rígidos apresentam uma laje de concreto, geralmente de Cimento Portland, que possui alta rigidez e resiste a grande parte dos esforços produzidos pelo tráfego de veículos (DNIT, 2006).

Os pavimentos semirrígidos possuem características similares aos pavimentos flexíveis e rígidos, tendo nas camadas de base, misturas betuminosas ou agregados estabilizados com ligantes hidráulicos (BRANCO et al., 2016). Já os pavimentos invertidos apresentam camadas de sub-base estabilizadas com ligantes hidráulicos.

Figura 1 – Estrutura do pavimento flexível e rígido



Fonte: elaborada pela autora a partir de Balbo (2007)

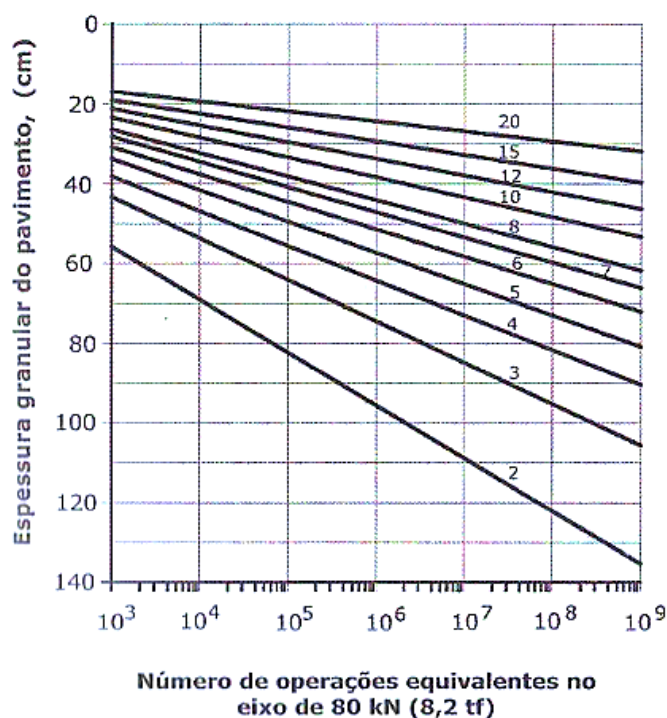
3.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO CBR

O método CBR, também conhecido como método do DNER, foi desenvolvido pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza no início dos anos 1960 baseando-se nas pesquisas realizadas pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano – USACE (MEDINA & MOTTA, 2015).

O método do DNER é considerado um método semiempírico, ou seja, é baseado em extrapolações teóricas e resultados empíricos, e não considera os aspectos associados à fadiga de misturas asfálticas e bases cimentadas (BALBO, 2007).

A partir dos valores de CBR do subleito e do reforço do subleito, são definidas as espessuras de cada camada utilizando um ábaco, tabelas e inequações. A espessura total do pavimento pode ser obtida mediante ábaco (Figura 2), a partir do número N de repetições de cargas equivalentes a 80 kN (8,2 tf) e do valor do CBR.

Figura 2 – Ábaco para determinação da espessura do pavimento



Fonte: Medina & Motta (2015)

Segundo Balbo (2007), o ábaco apresentado anteriormente pode ser resumido por uma única expressão para determinação das espessuras equivalentes:

$$H_{eq} = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (1)$$

Onde:

H_{eq} : espessura equivalente (cm);

N: número de repetições de cargas equivalentes a 80 kN;

CBR: *California Bearing Ratio* ou Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Para a camada de revestimento betuminoso, a espessura mínima é definida em função do número N, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1 – Espessuras mínimas do revestimento

N	Espessura mínima do revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Souza (1981)

Após a determinação da espessura total do pavimento ($H_{eq} = H_m$) e da espessura do revestimento (R), são utilizadas as seguintes inequações para determinação das espessuras das camadas de base, sub-base e reforço do subleito:

$$R \times K_r + B \times K_b \geq H_{20} \quad (2)$$

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s \geq H_n \quad (3)$$

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s + h_n \times K_n \geq H_m \quad (4)$$

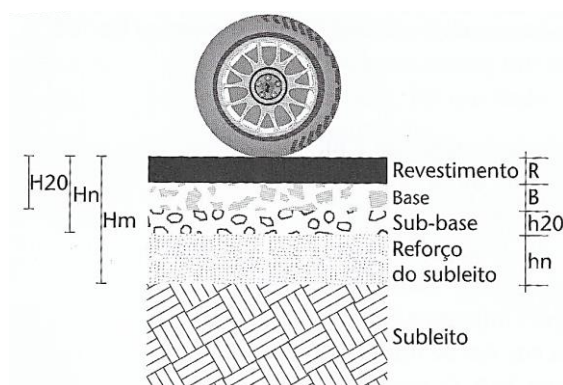
Onde:

R, B, h_{20} e h_n : espessuras do revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente;

K_r , K_b , K_s e K_n : coeficientes estruturais das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente;

H_{20} , H_n e H_m : espessuras equivalentes sobre a sub-base, sobre o reforço do subleito e sobre o subleito, respectivamente.

Figura 3 – Espessuras das camadas



Fonte: Balbo (2007)

Para a realização dos cálculos, o valor do CBR para a camada de sub-base é fixado em 20% na equação 1 e são utilizados os coeficientes de equivalência estrutural da Tabela 2 nas inequações 2 a 4 (BALBO, 2007).

Tabela 2 – Coeficientes de equivalência estrutural

Tipo de Material	Coefficiente de Equivalência Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio de graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo-cimento com resistência aos 7 dias superior a 4,5 MPa (compressão)	1,7
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,8 e 4,5 MPa (compressão)	1,4
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,1 e 2,8 MPa (compressão)	1,2
Bases de solo-cal	1,2

Fonte: Souza (1981) e Balbo (2007)

3.3 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

3.3.1 Serventia

A deterioração do pavimento é um processo inevitável devido as condições de clima e tráfego de veículos; com o tempo os defeitos afetam o conforto e aumentam os custos operacionais relacionados aos usuários (BERNUCCI et al., 2008).

Serventia é a habilidade de um dado pavimento para servir ao tráfego que o utiliza, ou seja, envolve as condições de conforto e segurança oferecidos aos usuários.

A serventia de um pavimento pode ser determinada de forma subjetiva e de forma objetiva. Do ponto de vista subjetivo, a serventia atual é definida pela Norma 009/2003-PRO (DNIT, 2003, p.04) como a “capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento para quaisquer condições de tráfego”. Nesse caso, procura-se avaliar os critérios de conforto e segurança da via utilizando o Valor de Serventia Atual (VSA) (DNIT, 2003c).

O VSA é calculado a partir da média aritmética das notas de zero (péssimo) a cinco (ótimo) atribuídas por membros selecionados de cada grupo e que estejam cientes das normas e finalidade da avaliação (DNIT, 2003c).

Do ponto de vista objetivo, a serventia pode ser avaliada por meio do Índice de Serventia Atual (*Present Serviceability Index, PSI*), sendo determinado a partir da equação 5. Nessa equação são considerados parâmetros representativos das condições superficiais do pavimento, como a irregularidade longitudinal (variância das declividades), profundidade média dos afundamentos de trilha de roda, área trincada e área remendada. O conceito varia de zero (péssimo) a cinco (ótimo), assim como o VSA.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \times \log(1 + SV) - 1,38 \times RD^2 - 0,01 \times (C + P)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Onde:

PSI: *Present Serviceability Index* ou Índice de Serventia Atual;

SV: *Slope Variance* ou variância das declividades ($\times 10^{-6}$);

RD: profundidade média dos afundamentos de trilha de roda (polegadas);

C: área com trincas ($\text{pés}^2/1000 \text{ pé}^2$);

P: área com remendos ($\text{pés}^2/1000 \text{ pé}^2$).

Atualmente, a variância das declividades (*slope variance*) foi substituída pelo Índice de Irregularidade Internacional ou *International Roughness Index* (IRI). Assim, o PSI pode ser calculado utilizando o IRI:

$$PSI = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI} - 0,002139 \times R^2 - 0,03 \times (C + S + P)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Onde:

PSI: *Present Serviceability Index* ou Índice de Serventia Atual;

IRI: Índice de Irregularidade Internacional (mm/km);

R: profundidade média dos afundamentos de trilha de roda (mm);

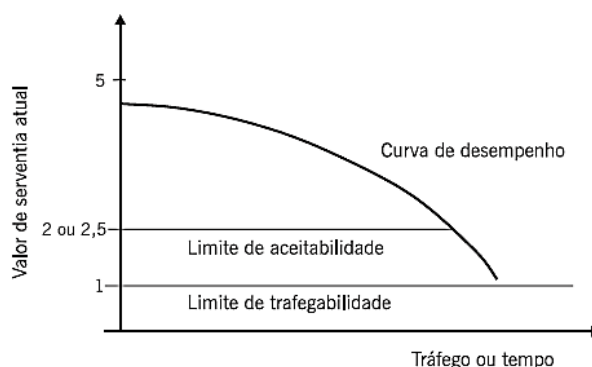
C: área com trincas ($\text{m}^2/100 \text{ m}^2$);

S: área com panelas e desgastes;

P: área com remendos ($\text{m}^2/100 \text{ m}^2$).

Considerando o PSI, a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) estabeleceu na década de 1960 o critério de serventia, que atribui um limite de aceitabilidade de 2,5 para vias com alto volume de tráfego e 2,0 para as restantes. Quando a via atinge esse limite, é necessário realizar uma intervenção antes que o pavimento atinja o limite de trafegabilidade e seja preciso realizar sua reconstrução (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 4 – Variação da serventia devido ao tráfego ou tempo



Fonte: Bernucci et al. (2008)

3.3.2 Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal é definida pelo DNIT (2006, p. 99) como o “conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência, desvios esses que afetam a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via”. Essa irregularidade pode ser mensurada a partir de sistemas de medições diretas, indiretas, com sonda sem contato e baseados na reação do veículo (DNIT, 2006).

As medições diretas são realizadas manualmente com equipamentos topográficos (método de nível e mira) e os valores obtidos são processados posteriormente para gerar os indicativos de irregularidade, já as medições indiretas são realizadas mecanicamente (perfilômetro dinâmico de superfície, perfilômetro AASHTO, etc.) e a partir dos dados processados obtêm-se valores como amplitude de onda e coeficiente de regularidade (DNIT, 2006).

Nos sistemas baseados na reação do veículo, também conhecidos como medidores tipo-resposta, os movimentos entre o eixo traseiro do veículo e sua carroceria são registrados (DNIT, 2006) e a irregularidade longitudinal é calculada a partir da soma dos deslocamentos verticais em função da distância longitudinal percorrida (BISCONSINI, 2016).

Os sistemas de medida com sonda sem contato realizam as medições com base na reflexão de ondas sonoras ou raio laser emitidos por um dispositivo localizado no veículo (DNIT, 2006).

A irregularidade longitudinal possui grande importância para a manutenção de pavimentos por estar associada ao conforto e segurança do usuário, custos operacionais dos veículos e a qualidade do pavimento. No Brasil, o Quociente de Irregularidade (QI) é adotado como a escala padrão de medição e é expressa em contagens por quilômetro (cont./km) (DNIT, 2006). O Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index, IRI*) também vem sendo considerado para a avaliação da qualidade dos pavimentos e representa o somatório da diferença de elevação entre a carroceria e o eixo do veículo, como resposta ao perfil longitudinal da rodovia. O “IRI” é correlacionado com o Quociente de Irregularidade (QI) por meio da relação:

$$QI = 13 \times IRI \quad (7)$$

3.3.3 Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um índice combinado de falhas adaptado do método canadense “*Severity Index*”, pelo Engenheiro Armando Martins Pereira e é especificado na Norma DNIT 006/2003-PRO (DNIT, 2006).

O método consiste na avaliação de trechos de um pavimento e a realização do inventário de defeitos encontrados para verificar a necessidade de intervenção com conceitos variando de zero (ótimo) a 160 (péssimo) (DNIT, 2003c; DNIT, 2006).

Neste caso, são definidas estações de ensaio, tendo cada estação 21m². Em cada estação realiza-se a identificação e contabilização quanto a ocorrência dos seguintes defeitos: fissuras, trincas isoladas e interligadas, afundamento plástico e de consolidação, ondulação/corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste e painéis. Também são medidas em cada estação, as flechas nas trilhas de roda (DNIT, 2006).

A partir dos valores tabulados em planilha apropriada (Figura 5) e considerando os fatores de ponderação para cada defeito e as respectivas frequências relativas, são calculados os Índices de Gravidade Individuais (IGI's) para cada defeito observado. O IGG será o somatório dos IGI's.

Figura 5 – Planilha de cálculo do IGG

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO:						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO:							
REVESTIMENTO TIPO:							
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2		
2	(FC – 2) J, TB				0,5		
3	(FC – 3) JE, TBE				0,8		
4	ALP, ATP				0,9		
5	O e P				1,0		
6	EX				0,5		
7	D				0,3		
8	R				0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =	2 A () 2 B ()		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG				Conceito
1A) IGI = $\bar{F} \times 4/3$ quando $\bar{F} \leq 30$						Operador	
2A) IGI = $\sqrt{\bar{F}}$ quando $\bar{F} \leq 50$						Cálculo	
1B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$						Visto	
2B) IGI = 50 quando $\bar{F} > 50$							

Fonte: DNIT (2003b)

A Tabela 3 apresenta os conceitos equivalentes aos principais índices e parâmetros apresentados anteriormente, como o Quociente de Irregularidade (QI), Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e o Índice de Gravidade Global (IGG), utilizados para avaliar as condições de superfície do pavimento.

Tabela 3 – Condições de superfície do pavimento

Conceito	Irregularidade		IGG
	QI (cont./km)	IRI (m/km)	
Excelente	13 – 25	1 – 1,9	0 – 20
Bom	25 – 35	1,9 – 2,7	20 – 40
Regular	35 – 45	2,7 – 3,5	40 – 80
Ruim	45 – 60	3,5 – 4,6	80 – 160
Péssimo	> 60	> 4,6	> 160

Fonte: DNIT (2006)

3.4 PREVISÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO – EQUAÇÃO DA AASHTO

O método da AASHTO (1993) para dimensionamento de pavimentos flexíveis fundamenta-se na análise estatística de dados obtidos nas Pistas Experimentais da AASHTO nos anos 1950. A equação de desempenho apresentada a seguir foi baseada no binômio serventia-desempenho e relaciona o tráfego, a serventia e as espessuras das camadas (BALBO, 2007).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (6)$$

Onde:

W_{18} : previsão de tráfego considerando um eixo simples com 18000 libras (8,2 tf) de peso;

Z_R : valor estatístico para um determinado nível de confiança;

S_0 : desvio-padrão combinado entre a previsão do tráfego e a previsão do

comportamento do pavimento;

SN: número estrutural;

Δ PSI: diferença entre o PSI inicial e o PSI ao fim da vida de projeto;

M_R : módulo resiliente do subleito (psi).

O número estrutural (SN) é calculado por meio da seguinte expressão:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad (7)$$

Onde:

a_i : coeficiente estrutural da i-ésima camada;

D_i : espessura da i-ésima camada (polegadas);

m_i : coeficiente de drenagem da i-ésima camada.

Por meio da Equação 6, conhecidos os valores de W_{18} , Z_R , S_0 , SN e o M_R do subleito, é possível calcular o valor do PSI em qualquer momento da sua vida em serviço, por exemplo, ano a ano. Assim, seria possível obter o momento em que o pavimento deixará de atender aos critérios de qualidade estabelecidos e será necessário realizar algum tipo de intervenção.

Figura 6 – Tipos de intervenção

TIPO DE INTERVENÇÃO	SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO
Conserva Rotineira	Conserva Rotineira (CR)
Conserva Leve	- Reparos Localizados Superficiais (RL_S) - Reparos Localizados Profundos (RL_P) - Selagem de Trincas (SL)
Conserva Pesada	- Lama Asfáltica (LA) - Microrrevestimento Asfáltico (MRA) - Tratamentos Superficial Duplo (TSD) - Reparos Localizados (RL_S ou RL_P) + MRA (FR parcial + RS fresado) + MRA
Restauração	- Recapeamento Simples (RS) - Fresagem Parcial ou Total (FR) + RS (RL_S ou RL_P) + RS - Remoção Completa do Revestimento (RRV) + RS
Reconstrução	- Remoção e Reconstrução Total do Pavimento (RRT) - Remoção e Reconstrução Parcial do Pavimento (RRV)

Fonte: Scaranto (2007)

3.5 VALOR RESIDUAL DO PAVIMENTO

O valor residual do pavimento representa o valor financeiro conferido ao pavimento ao final do período de análise e pode ser significativo visto que nele se insere o valor de reutilização dos materiais ao final de sua vida útil (DNIT, 2006).

$$VR = C_{interv} \times \frac{PSI_T - NMQ_{PSI}}{PSI_{interv} - NMQ_{PSI}} \quad (8)$$

Onde:

VR: valor residual do pavimento no fim do período de planejamento;

C_{interv} : custo da última atividade de intervenção do pavimento (\$/m²);

PSI_T : índice de serventia do pavimento no ano “T”, último ano do período de planejamento;

PSI_{interv} : índice de serventia do pavimento devido a realização da atividade de planejamento;

NMQ_{PSI} : nível mínimo de qualidade adotado para o parâmetro PSI.

3.6 CUSTOS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS

Do ponto de vista do gestor ou administrador, devem ser considerados os custos de construção, custos de conservação e valor residual dos pavimentos. Para os usuários, tem-se os custos de operação dos veículos, custos devidos aos congestionamentos, custos devidos aos acidentes e custos associados aos atrasos ou postergações nas execuções das atividades de manutenção.

Nos países em desenvolvimento, os custos operacionais dos veículos constituem a maior parcela dos custos dos usuários de rodovias. Segundo Claffey (1971), esses custos se relacionam com as seguintes características do projeto rodoviário: traçado em planta e em perfil, características dos materiais utilizados nos revestimentos das faixas de tráfego e acostamentos, presença de interseções em nível, disponibilidade de pontos de acesso-saída de uma rodovia, largura dos acostamentos e distância percorrida por um veículo. Variações nas características mencionadas influenciarão os seguintes custos operacionais dos veículos: consumo de combustível, consumo de lubrificante, desgaste dos pneus, custo de revisões mecânicas (manutenções), custos devidos a depreciação e juros, e outros custos.

Entre os modelos disponíveis para avaliação dos custos operacionais dos veículos, tem-se o modelo de Zaniwski et al. (1982), o qual foi desenvolvido entre os anos 1970 e 1980 nos Estados Unidos, considerando cinco parâmetros: consumo de óleo, consumo de combustível, deterioração dos pneus, manutenção e depreciação do veículo. Nesse modelo foram avaliados os efeitos do projeto geométrico e das condições de trafegabilidade da via nos custos operacionais dos veículos (ZANIEWSKI; BUTLER, 1985).

A partir dos resultados obtidos nesses estudos, foram desenvolvidas tabelas que relacionam o tipo de veículo (desde veículos leves até semirreboques) com a serventia (PSI), velocidade e greide da via.

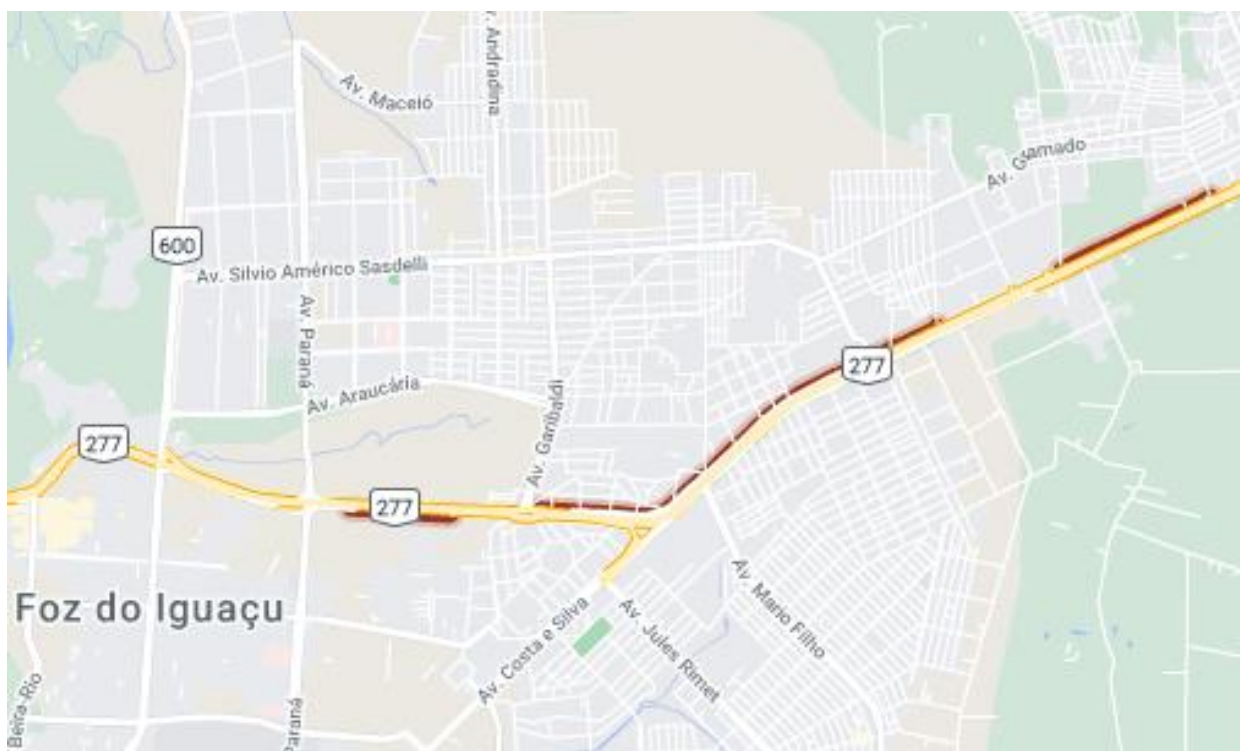
4 METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica e ambiental na construção de um pavimento mediante um estudo de caso. Para Fonseca (2002, p.33-34), o estudo de caso permite a obtenção de uma extensa quantidade de informações e “o pesquisador não pretende intervir sobre o objeto, mas revelá-lo tal como ele o percebe”.

O local de estudo do presente trabalho é um trecho da Av. Olímpio Rafagnin (Figura 7), que, de acordo com o laudo técnico disponibilizado, deveria ser demolido e removido para a implantação de um novo pavimento entre as estacas 250 e 280.

O novo pavimento foi dimensionado utilizando o método do DNER para os períodos de vida útil de 10 e 20 anos. Os parâmetros tipo coeficiente estrutural (K), CBR, coeficiente de Poisson (μ) e o módulo resiliente (M_r) foram obtidos a partir do laudo técnico disponibilizado pela Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu emitido em 2017. Os valores desses parâmetros são apresentados na Tabela 4.

Figura 7 – Localização do objeto de estudo



Fonte: Google Maps

Tabela 4 – Parâmetros utilizados para o dimensionamento do pavimento

Camada/Material	K	CBR	μ	M_r (kgf/cm ²)
Revestimento de Concreto Betuminoso Usinado a Quente com CAP 50/70 (CBUQ)	2,0	-	0,30	35000
Base de Brita Graduada Simples (BGS)	1,0	-	0,35	2500
Reforço do Subleito de Macadame Seco (MS)	0,85	$\geq 15\%$	0,40	1500
Melhoria do Subleito Solo CBR $\geq 9\%$ GC 100% PN	-	$\geq 9\%$	0,45	600

A primeira etapa deste trabalho consistiu em realizar o dimensionamento do pavimento a partir dos dados obtidos no laudo técnico. Foi utilizado o método CBR (ou Método do DNER) para períodos de vida útil de, respectivamente, 10 e 20 anos.

Com os resultados do dimensionamento, foi realizado o quantitativo de materiais e respectivos custos para implantação. Posteriormente, com a Equação 6 de desempenho da AASHTO, foi avaliado o desempenho do pavimento, ano a ano, para os dois períodos de projeto a fim de identificar os momentos de intervenção e a definição do tipo de intervenção a ser efetuada.

Foram avaliados 22 cenários, com tipos de intervenção e PSI de intervenção diferentes. Para cada intervenção adotada foi calculado o quantitativo de materiais e respectivos custos para implantação, conservação e operação dos veículos.

A cada nova intervenção realizada no pavimento, o número estrutural (SN) foi recalculado a partir dos dados do ΔSN (acréscimo do número estrutural devido à intervenção realizada) e das equações abaixo.

Tabela 5 – Tipos de intervenções e valores de ΔSN

	Tipo de intervenção	ΔSN
1	Nenhuma intervenção	0
2	Lama asfáltica	0,17323
3	Reabilitação estrutural (3 cm)	1,21251
4	Reabilitação estrutural (4 cm)	2,07876
5	Reabilitação estrutural (5 cm)	2,55121

$$SN = SN_t + \Delta SN \quad (9)$$

Onde:

SN: novo número estrutural após a intervenção;

SN_t: número estrutural no ano “t”, último ano antes da intervenção;

ΔSN: acréscimo do número estrutural devido à intervenção realizada.

O “SN_t” é calculado conforme:

$$SN_t = CF_t \times SN_{anterior} \quad (10)$$

Onde:

SN_t: número estrutural no ano “t”, último ano antes da intervenção;

CF_t: fator de condição do número estrutural no ano “t”;

SN_{anterior}: número estrutural calculado antes da intervenção.

O “CF_t” é determinado com:

$$CF = 0,50 + 0,0155 \times RL - 2 \times 10^{-4} \times RL^2 + 10^{-6} \times RL^3 \quad (11)$$

Onde,

RL: vida residual do pavimento (*residual life*, em inglês).

A partir dos cálculos anteriores e adotando um nível mínimo de qualidade (NMQ) igual a 1,0 (pavimento em condições muito precárias), foi calculada a vida residual (RL) conforme a equação abaixo.

$$Vida\ Residual\ (RL) = \frac{PSI_t - NMQ_{PSI}}{PSI_{reab} - NMQ_{PSI}} \quad (12)$$

Onde,

PSI_t: índice de serventia do pavimento no ano “t”, último ano antes da intervenção;

PSI_{reab} : índice de serventia do pavimento devido à realização da atividade de intervenção;

NMQ_{PSI} : nível mínimo de qualidade adotado para o parâmetro PSI.

Para o cálculo dos custos operacionais foi utilizado o modelo de Zaniewski et al. (1982) apresentado abaixo.

$$VOC_{unitário} = \frac{\$}{1000\text{ mi}} \times N + \frac{\$}{1000\text{ mi}} \times S \quad (13)$$

Onde:

VOC unitário: custo operacional unitário;

\$/1000 mi: custos operacionais obtidos nas tabelas de Zaniewski et al. (1982) e relacionados com a velocidade, greide e PSI (US dólares a cada 1000 milhas);

N: porcentagem de veículos indo para o norte;

S: porcentagem de veículos indo para o sul.

$$VMT = C \times VDM \quad (14)$$

Onde:

VMT: veículos deslocados a cada milha por dia;

C: comprimento da via (milhas);

VDM: volume diário médio do tráfego.

E, por fim, o custo operacional anual é obtido por meio da equação (15):

$$VOC = VOC_{unitário} \times VMT \times 365 \quad (15)$$

Onde:

VOC: custo operacional anual (US dólares por ano);

Haja vista que os valores obtidos para o VOC são em US dólares, o custo operacional anual calculado foi então convertido para real, considerando o valor do

dólar em 28 de março de 2022, sendo este de R\$ 4,77.

O modelo de Zaniewski et al. (1982) possui, além das equações mencionadas, tabelas relacionando o tipo de veículo com a serventia (PSI), velocidade e greide da via. Do ponto de vista da serventia, tem-se os seguintes valores: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5. Para a variável velocidade, são considerados valores desde 5 milhas/hora (8 km/h), crescendo 5 milhas/hora de cada vez, até alcançar 70 milhas/h (112 km/h). E para o greide, são apresentados valores desde -8,0%, crescendo 1% por vez até alcançar 8,0% de inclinação.

Neste trabalho, tendo em vista as características do local de estudo, para o cálculo dos custos operacionais, foi considerada velocidade de 35 milhas por hora (56 km/h), greide de 0% e o PSI anual calculado, arredondado para mais ou para menos, com variação de 0,5 para simplificar os cálculos.

Por fim, para determinar os custos de implantação e conservação foram utilizados os valores apresentados no Custo Referencial de Serviços (sem bonificação) do Departamento de Estradas de Rodagem (DNER) do Paraná. Na Tabela 6 são apresentados os materiais utilizados e seus respectivos custos.

Tabela 6 – Custos dos materiais

Material	Unidade	Custo Execução	Custo Material	Custo Unitário
Brita Graduada	m ³	R\$ 5,94	R\$ 52,18	R\$ 58,12
CBUQ	t	R\$ 37,50	R\$ 75,03	R\$ 112,53
Macadame seco (com pó de pedra)	m ³	R\$ 15,49	R\$ 65,31	R\$ 82,80

Fonte: DNER/PR (2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS INICIAIS

No laudo técnico, disponibilizado pela Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, foi obtido o Volume Médio Diário Anual (VMDA) para o ano de 2022 (247 veículos). Assim, tendo 2022 como ano zero, foi realizada a projeção aritmética do tráfego considerando uma taxa anual de crescimento de 3%. Para o cálculo do Número N de repetições de eixo-padrão de 8,2 tf, foram considerados os fatores de veículo e de pista apresentados no laudo, além do VMDA futuro calculado para período de projeto de 10 e 20 anos, respectivamente. A partir do CBR do subleito e dos números N calculados, foi então realizado o dimensionamento do pavimento, segundo o Método do DNER, para cada período de projeto citado. Na tabela abaixo encontram-se as espessuras obtidas.

Tabela 7 – Espessuras obtidas para os pavimentos (períodos de projeto: 10 e 20 anos)

Camada	10 anos	20 anos
Revestimento (CBUQ)	5 cm	10 cm
Base (BGS)	18 cm	15 cm
Reforço (Macadame Seco)	30 cm	30 cm

A seguir, utilizando a equação da AASHTO, realizou-se a previsão do desempenho do pavimento para, respectivamente, 10 e 20 anos de projeto. Esta equação utiliza o número estrutural (SN), o qual é determinado considerando as espessuras das camadas, os coeficientes estruturais e os coeficientes de drenagem. As espessuras das camadas, calculadas pelo método do DNER (Tabela 7), foram convertidas de centímetros para polegadas (E_{10} e E_{20}) e o coeficiente de drenagem selecionado foi de 1, visto que, de acordo com o laudo técnico, o local possui boas condições de drenagem.

Tabela 8 – Determinação do número estrutural (SN)

Camada	Coeficiente Estrutural	E_{10} (pol)	E_{20} (pol)	Coeficiente de Drenagem	SN10	SN20
Revestimento (CBUQ)	0,44	1,97	3,94	-	3,51	4,21
Base (BGS)	0,14	7,09	5,91	1		
Reforço (Macadame Seco)	0,14	11,81	11,81	1		

Por se tratar de uma via coletora em área urbana, o nível de confiança atribuído foi de 90%, logo, o valor estatístico (Z_R) associado a esse nível de confiança é de -1,282. O desvio-padrão combinado entre a previsão do tráfego e a previsão do comportamento do pavimento (S_0) foi admitido igual a 0,45 (para pavimentos flexíveis esse valor varia entre 0,40 e 0,50). Por fim, o PSI inicial considerado foi de 4 (pavimento em bom estado) quando da abertura ao tráfego.

O desempenho do pavimento segundo o método da AASHTO, para os dois períodos de projeto, é apresentado nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Previsão do desempenho pelo método da AASHTO (10 anos)

ANO		N_{80}	Z_R	S_0	SN	PSI _{inicial}	M_R	PSI
2022	0	-	-1,282	0,45	3,51	4	8534,021	4,00
2023	1	7,05E+05	-1,282	0,45	3,51		8534,021	3,07
2024	2	1,07E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	2,67
2025	3	1,45E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	2,29
2026	4	1,84E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	1,91
2027	5	2,25E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	1,53
2028	6	2,66E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	1,15
2029	7	3,09E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	0,78
2030	8	3,53E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	0,39
2031	9	3,98E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	0,01
2032	10	4,45E+06	-1,282	0,45	3,51		8534,021	-0,38

Tabela 10 – Previsão do desempenho pelo método da AASHTO (20 anos)

ANO		N_{80}	Z_R	S_0	SN	PSI _{inicial}	M_R	PSI
2022	0	-	-1,282	0,45	4,21	4	8534,021	4,00
2023	1	7,05E+05	-1,282	0,45	4,21		8534,021	3,45
2024	2	1,07E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	3,29
2025	3	1,45E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	3,15
2026	4	1,84E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	3,01
2027	5	2,25E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,89
2028	6	2,66E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,77
2029	7	3,09E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,65
2030	8	3,53E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,54
2031	9	3,98E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,42
2032	10	4,45E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,31
2033	11	4,93E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,21
2034	12	5,43E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	2,10
2035	13	5,94E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,99
2036	14	6,46E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,89
2037	15	7,00E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,78
2038	16	7,56E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,67

2039	17	8,13E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,57
2040	18	8,73E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,46
2041	19	9,33E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,36
2042	20	9,96E+06	-1,282	0,45	4,21		8534,021	1,25

Observando-se as tabelas apresentadas anteriormente, nota-se que, mesmo sem nenhum tipo de intervenção, ao final do seu período de vida útil, o pavimento projetado para 20 anos ainda existe, embora apresente condições muito precárias de trafegabilidade, enquanto o pavimento projetado para 10 anos encontra-se destruído ou inexistente.

Após a análise da previsão do desempenho dos dois pavimentos sem intervenções, foi realizado o mesmo procedimento, mas agora aplicando diferentes tipos de intervenções, apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Descrição dos tipos de intervenções

Tipo de intervenção	Descrição
1	Nenhuma intervenção
2	Lama asfáltica
3	Reabilitação estrutural (3 cm)
4	Reabilitação estrutural (4 cm)
5	Reabilitação estrutural (5 cm)

Considerando intervenções tipo 3, 4 e 5, foram avaliados 22 cenários, sendo 11 para cada período de projeto. Além de aplicar intervenções diferentes, o momento de intervenção também variou, tendo em vista o PSI adotado para intervenção (Tabela 12).

Tabela 12 – Cenários avaliados para cada PSI de intervenção

Cenário	PSI de intervenção
1 e 4	1,5
2 e 5	2,0
3 e 6	2,5

Tabela 13 – Resumo dos cenários avaliados e os tipos de intervenções

Cenário		Tipos de intervenções	
10 anos	20 anos	10 anos	20 anos
1.A	4.A	3 + 3	3
1.B	4.B	4	4
1.C	4.C	5	5
2.A	5.A	3 + 4	3 + 3
2.B	5.B	3 + 5	3 + 4
2.C	5.C	4 + 4	4
2.D	5.D	5	5
3.A	6.A	3 + 4	3 + 3 + 5
3.B	6.B	3 + 5	3 + 4 + 5
3.C	6.C	4	4 + 4
3.D	6.D	5	5

Além dos cenários apresentados na Tabela 13, foram avaliados ainda outros cenários utilizando a lama asfáltica (intervenção tipo 2), mas esta alternativa mostrou-se inviável em todos os cenários considerados, até mesmo em casos com PSI de intervenção de 3,0 e 3,5. A degradação apresentada após a intervenção tipo 2 mostra que seria necessário realizar a reconstrução do pavimento um ano após esse tipo de intervenção. Na Tabela 14 apresenta-se o cenário em que foi utilizada a lama asfáltica como primeira alternativa de intervenção tendo em vista um PSI de intervenção igual a 2,5.

Tabela 14 – Cenário com a aplicação da intervenção tipo 2 (lama asfáltica)

ANO		N ₈₀	N ₈₀	Z _R	S ₀	SN	PSI _{inicial}	PSI
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	4	4,00
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51		3,07
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51		2,67
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	1,96	INTERVENÇÃO	4,00
2026	4	1,84E+06	3,91E+05	-1,282	0,45	1,96		-22822,94
2027	5	2,25E+06	7,94E+05	-1,282	0,45	1,96		-487113,88
2028	6	2,66E+06	1,21E+06	-1,282	0,45	1,96		-2998435,39
2029	7	3,09E+06	1,64E+06	-1,282	0,45	1,96		-11096356,40
2030	8	3,53E+06	2,08E+06	-1,282	0,45	1,96		-31077426,33
2031	9	3,98E+06	2,53E+06	-1,282	0,45	1,96		-72981294,91
2032	10	4,45E+06	3,00E+06	-1,282	0,45	1,96		-151785300,78

Nas Tabelas 15 e 16 apresentam-se os custos para o administrador ou gestor

(custo de implantação+custo de conservação), assim como os custos operacionais para os usuários, com períodos de projeto de 10 e 20 anos, juntamente com seus respectivos PSI's ao final do período de projeto.

Tabela 15 – Resumo dos custos (período de 10 anos)

Cenário	Custos de Implantação e Conservação	Custo Operacional	PSI_{final}
1.A	R\$ 885.127,46	R\$ 560.190,47	4,00
1.B	R\$ 821.930,62	R\$ 546.125,18	2,89
1.C	R\$ 853.529,04	R\$ 544.569,93	3,23
2.A	R\$ 916.725,89	R\$ 535.254,33	2,91
2.B	R\$ 948.324,31	R\$ 536.838,83	3,28
2.C	R\$ 948.324,31	R\$ 535.029,77	3,53
2.D	R\$ 853.529,04	R\$ 523.762,18	2,99
3.A	R\$ 916.725,89	R\$ 534.344,79	2,52
3.B	R\$ 948.324,31	R\$ 530.564,67	3,08
3.C	R\$ 821.930,62	R\$ 529.159,42	2,29
3.D	R\$ 853.529,04	R\$ 523.762,18	2,89

Tabela 16 – Resumo dos custos (período de 20 anos)

Cenário	Custos de Implantação e Conservação	Custo Operacional	PSI_{final}
4.A	R\$ 907.813,51	R\$ 1.234.767,23	2,95
4.B	R\$ 939.411,94	R\$ 1.232.614,40	3,48
4.C	R\$ 971.010,36	R\$ 1.233.878,96	3,59
5.A	R\$ 1.002.608,78	R\$ 1.231.379,17	0,00
5.B	R\$ 1.034.207,21	R\$ 1.199.606,94	3,22
5.C	R\$ 939.411,94	R\$ 1.195.418,87	2,54
5.D	R\$ 971.010,36	R\$ 1.187.555,73	2,98
6.A	R\$ 1.160.600,90	R\$ 1.262.160,54	0,00
6.B	R\$ 1.192.199,33	R\$ 1.201.286,00	1,14
6.C	R\$ 1.065.805,63	R\$ 1.174.555,26	3,49
6.D	R\$ 971.010,36	R\$ 1.170.462,09	2,70

5.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Para realizar uma análise mais minuciosa e, assim, determinar os tipos de intervenções e período de vida útil mais vantajosos a longo prazo, foram avaliadas as seguintes situações:

- a) Considerando o nível mínimo de qualidade a ser atingido (PSI de intervenção);
- b) Considerando um nível inaceitável de qualidade atingido;
- c) Considerando os custos de implantação e os custos de conservação;
- d) Considerando os custos de implantação+conservação+valor residual (no fim do período de projeto, o pavimento **terá** PSI = 4);
- e) Considerando os custos operacionais dos veículos;
- f) Considerando os custos de conservação+operacional-valor residual (no fim do período de projeto, o pavimento **não terá** PSI = 4).

A seguir são apresentadas e detalhadas as diferentes situações mencionadas:

- a) Considerando o nível mínimo de qualidade a ser atingido (PSI de intervenção)

Nas Tabelas 17 e 18 são apresentados os anos em que ocorreram as primeiras intervenções considerando os PSI's de intervenção de 1,5; 2,0 e 2,5. Nota-se que para o período de vida útil de 20 anos, o pavimento no ano de intervenção apresenta melhores condições de uso, quando comparado ao período de 10 anos nos três cenários.

Tabela 17 – Ano da primeira intervenção (10 anos)

Ano de intervenção (a partir do ano zero)	PSI _{inicial}	PSI _{interv}	PSI (ano da 1ª intervenção)
3	4,00	2,50	2,29
4	4,00	2,00	1,91
6	4,00	1,50	1,15

Tabela 18 – Ano da primeira intervenção (20 anos)

Ano de intervenção (a partir do ano zero)	PSI_{inicial}	PSI_{interv}	PSI (ano da 1ª intervenção)
9	4,00	2,50	2,42
13	4,00	2,00	1,99
18	4,00	1,50	1,46

b) Considerando um nível inaceitável de qualidade atingido

O nível mínimo de qualidade considerado para este trabalho foi de 1,0 (pavimento em condições muito precárias). Para o período de projeto de 10 anos, o menor PSI obtido foi o do cenário 3.A, apresentado na Tabela 19, o qual ainda é superior ao mínimo estabelecido ($PSI_{interv} = 2,5$). No entanto, para o período de projeto de 20 anos, dois cenários, 5.A e 6.A, apresentaram PSI igual a zero, ou seja, os dois pavimentos estão destruídos e sem condições de uso ao final do seu período de vida em serviço.

Tabela 19 – Menor PSI obtido (10 anos)

Cenário	Menor PSI_{final} obtido
3.A	2,52

Tabela 20 – Menor PSI obtido (20 anos)

Cenário	Menor PSI_{final} obtido
5.A	0,00
6.A	0,00

c) Considerando os custos de implantação e os custos de conservação

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os valores correspondentes aos custos de implantação e custos de conservação do pavimento para os períodos de 10 e 20 anos, respectivamente.

Os cenários 1.B, 3.C, e 4.A apresentam os menores custos de implantação+conservação para os gestores/administradores da via. Para os cenários 1.B e 4.A, cada PSI final é superior ao valor limite de intervenção, mostrando-se uma

boa opção também para os usuários da via. No entanto, nota-se que esses custos totais de implantação+conservação, nos períodos de 10 e 20 anos não apresentam uma grande diferença (apenas R\$85.882,89), e o PSI final para o cenário 4.A (20 anos) é superior aos outros cenários apresentados, sendo assim, a opção melhor a se considerar.

Analisando os dois períodos, nota-se que os custos totais são bem próximos em alguns cenários, ou seja, apesar do gasto maior na implantação do pavimento com período de 20 anos, o custo para manutenção do pavimento com 10 anos acaba sendo superior. Comparando os cenários 2.A e 4.A, observa-se que o 4.A além de apresentar custo total menor para a implantação e conservação do pavimento para 20 anos, gera ainda um PSI final superior ao do cenário 2.A (pavimento para 10 anos), isto é, a qualidade do pavimento com período de 20 anos é superior ao de 10 anos e com um preço menor para o gestor/administrador da via.

Os cenários que utilizaram inicialmente o tipo de intervenção 3, com exceção dos cenários 1.A e 4.A, apresentaram custos de conservação superiores aos dos outros cenários, exigindo intervenções posteriores mais robustas (como as intervenções tipo 4 e 5).

Tabela 21 – Custos de implantação e conservação (período de 10 anos)

Cenário	Tipos de Intervenção	PSI _{final}	Custo Implantação	Custo Conservação	Custo Total
1.A	3 + 3	4,00	R\$ 695.536,92	R\$ 189.590,54	R\$ 885.127,46
1.B	4	2,89 > 1,50	R\$ 695.536,92	R\$ 126.393,70	R\$ 821.930,62
1.C	5	3,23	R\$ 695.536,92	R\$ 157.992,12	R\$ 853.529,04
2.A	3 + 4	2,91	R\$ 695.536,92	R\$ 221.188,97	R\$ 916.725,89
2.B	3 + 5	3,28	R\$ 695.536,92	R\$ 252.787,39	R\$ 948.324,31
2.C	4 + 4	3,53	R\$ 695.536,92	R\$ 252.787,39	R\$ 948.324,31
2.D	5	2,99	R\$ 695.536,92	R\$ 157.992,12	R\$ 853.529,04
3.A	3 + 4	2,52	R\$ 695.536,92	R\$ 221.188,97	R\$ 916.725,89
3.B	3 + 5	3,08	R\$ 695.536,92	R\$ 252.787,39	R\$ 948.324,31
3.C	4	2,29 < 2,50	R\$ 695.536,92	R\$ 126.393,70	R\$ 821.930,62
3.D	5	2,89	R\$ 695.536,92	R\$ 157.992,12	R\$ 853.529,04

Tabela 22 – Custos de implantação e conservação (período de 20 anos)

Cenário	Tipos de Intervenção	PSI _{final}	Custo Implantação	Custo Conservação	Custo Total
4.A	3	2,95 > 1,50	R\$ 813.018,24	R\$ 94.795,27	R\$ 907.813,51
4.B	4	3,48	R\$ 813.018,24	R\$ 126.393,70	R\$ 939.411,94
4.C	5	3,59	R\$ 813.018,24	R\$ 157.992,12	R\$ 971.010,36
5.A	3 + 3	0,00	R\$ 813.018,24	R\$ 189.590,54	R\$ 1.002.608,78
5.B	3 + 4	3,22	R\$ 813.018,24	R\$ 221.188,97	R\$ 1.034.207,21
5.C	4	2,54	R\$ 813.018,24	R\$ 126.393,70	R\$ 939.411,94
5.D	5	2,98	R\$ 813.018,24	R\$ 157.992,12	R\$ 971.010,36
6.A	3 + 3 + 5	0,00	R\$ 813.018,24	R\$ 347.582,66	R\$ 1.160.600,90
6.B	3 + 4 + 5	1,14	R\$ 813.018,24	R\$ 379.181,09	R\$ 1.192.199,33
6.C	4 + 4	3,49	R\$ 813.018,24	R\$ 252.787,39	R\$ 1.065.805,63
6.D	5	2,70	R\$ 813.018,24	R\$ 157.992,12	R\$ 971.010,36

d) Considerando os custos de implantação+conservação+valor residual (no fim do período de projeto, o pavimento **terá** PSI = 4)

Para o gestor/administrador da via, os cenários 3.C (reabilitação estrutural de 4 cm de espessura e PSI_{final} = 2,29) e 4.A (reabilitação estrutural de 3 cm de espessura e PSI_{final} = 2,95) apresentam os menores custos totais.

Tabela 23 – Custo total para o gestor no período de 10 anos

Cenário	Tipos de Intervenção	Custos de Implantação + Conservação	Valor Residual (para obter PSI=4,0)	Custo total para o gestor
1.A	3 + 3	R\$ 885.127,46	R\$ 189.590,54	R\$ 1.074.718,01
1.B	4	R\$ 821.930,62	R\$ 79.710,98	R\$ 901.641,60
1.C	5	R\$ 853.529,04	R\$ 117.500,78	R\$ 971.029,82
2.A	3 + 4	R\$ 916.725,89	R\$ 141.100,30	R\$ 1.057.826,19
2.B	3 + 5	R\$ 948.324,31	R\$ 192.080,48	R\$ 1.140.404,79
2.C	4 + 4	R\$ 948.324,31	R\$ 213.170,27	R\$ 1.161.494,58
2.D	5	R\$ 853.529,04	R\$ 104.751,61	R\$ 958.280,65
3.A	3 + 4	R\$ 916.725,89	R\$ 112.106,46	R\$ 1.028.832,35
3.B	3 + 5	R\$ 948.324,31	R\$ 174.992,64	R\$ 1.123.316,95
3.C	4	R\$ 821.930,62	R\$ 54.251,59	R\$ 876.182,20
3.D	5	R\$ 853.529,04	R\$ 99.544,76	R\$ 953.073,80

Tabela 24 – Custo total para o gestor no período de 20 anos

Cenário	Tipos de Intervenção	Custos de Implantação + Conservação	Valor Residual (para obter PSI=4,0)	Custo total para o gestor
4.A	3	R\$ 907.813,51	R\$ 61.482,42	R\$ 969.295,94
4.B	4	R\$ 939.411,94	R\$ 104.600,28	R\$ 1.044.012,21
4.C	5	R\$ 971.010,36	R\$ 136.300,67	R\$ 1.107.311,03
5.A	3 + 3	R\$ 1.002.608,78	R\$ 0,00*	R\$ 1.002.608,78
5.B	3 + 4	R\$ 1.034.207,21	R\$ 163.389,71	R\$ 1.197.596,92
5.C	4	R\$ 939.411,94	R\$ 64.681,77	R\$ 1.004.093,70
5.D	5	R\$ 971.010,36	R\$ 104.027,25	R\$ 1.075.037,61
6.A	3 + 3 + 5	R\$ 1.160.600,90	R\$ 0,00*	R\$ 1.160.600,90
6.B	3 + 4 + 5	R\$ 1.192.199,33	R\$ 18.145,85	R\$ 1.210.345,18
6.C	4 + 4	R\$ 1.065.805,63	R\$ 209.681,89	R\$ 1.275.487,53
6.D	5	R\$ 971.010,36	R\$ 89.701,08	R\$ 1.060.711,44

e) Considerando os custos operacionais dos veículos

Nas Tabelas 25 e 26 apresentam-se os custos operacionais para os períodos de 10 e 20 anos, respectivamente.

Os custos operacionais dos veículos avaliam os custos atribuídos aos usuários da via. Para um período de vida útil de 10 anos, os melhores cenários para o usuário, ou seja, com menor custo operacional, são o 2.D e o 3.D, os quais utilizaram apenas um tipo de intervenção (tipo 5 - reabilitação estrutural com 5 cm de espessura) ao longo do período de projeto, sendo esta a intervenção mais resistente.

Para um período de vida útil de 20 anos, o melhor cenário para os usuários é o 6.D, o qual também utilizou apenas um tipo de intervenção (tipo 5 - reabilitação estrutural com 5 cm de espessura) ao longo do período de projeto. Além disso, observou-se que o custo operacional para o período de 20 anos mais que dobrou em alguns cenários comparados aos cenários para o período de 10 anos. Um fator que pode ter contribuído para a ocorrência deste crescimento significativo é a depreciação dos veículos, a qual é considerada durante o cálculo do custo operacional pelo modelo de Zanieswki et al. (1982).

* Nestes cenários, tem-se PSI = 0 no fim do período de projeto, ou seja, o pavimento já não tem valor residual que possa ser considerado durante os cálculos para atingir um PSI_{final} = 4,0.

Tabela 25 – Custos operacionais dos veículos (período de 10 anos)

Cenário	PSI intervenção	PSI _{final}	Tipos de Intervenção	Custo operacional
1.A	1,5	4,00	3 + 3	R\$ 560.190,47
1.B	1,5	2,89	4	R\$ 546.125,18
1.C	1,5	3,23	5	R\$ 544.569,93
2.A	2	2,91	3 + 4	R\$ 535.254,33
2.B	2	3,28	3 + 5	R\$ 536.838,83
2.C	2	3,53	4 + 4	R\$ 535.029,77
2.D	2	2,99	5	R\$ 523.762,18
3.A	2,5	2,52	3 + 4	R\$ 534.344,79
3.B	2,5	3,08	3 + 5	R\$ 530.564,67
3.C	2,5	2,29	4	R\$ 529.159,42
3.D	2,5	2,89	5	R\$ 523.762,18

Tabela 26 – Custos operacionais dos veículos (período de 20 anos)

Cenário	PSI intervenção	PSI _{final}	Tipos de Intervenção	Custo operacional
4.A	1,5	2,95	3	R\$ 1.234.767,23
4.B	1,5	3,48	4	R\$ 1.232.614,40
4.C	1,5	3,59	5	R\$ 1.233.878,96
5.A	2	0,00	3 + 3	R\$ 1.231.379,17
5.B	2	3,22	3 + 4	R\$ 1.199.606,94
5.C	2	2,54	4	R\$ 1.195.418,87
5.D	2	2,98	5	R\$ 1.187.555,73
6.A	2,5	0,00	3 + 3 + 5	R\$ 1.262.160,54
6.B	2,5	1,14	3 + 4 + 5	R\$ 1.201.286,00
6.C	2,5	3,49	4 + 4	R\$ 1.174.555,26
6.D	2,5	2,70	5	R\$ 1.170.462,09

- f) Considerando os custos de conservação+operacional-valor residual (no fim do período de projeto, o pavimento **não terá** PSI = 4)

Considerando cada cenário, somando-se os custos atribuídos aos gestores+usuários e subtraindo o valor residual, tem-se então os custos finais para cada período de projeto (Tabelas 27 e 28).

Para um período de projeto de 10 anos, o menor custo final foi obtido para o

cenário 1.A, resultante de duas intervenções tipo 3 (reabilitação estrutural de 3 cm de espessura e $PSI_{final} = 4$). Para um período de projeto de 20 anos, o menor custo final foi obtido para o cenário 6.C, resultante de duas intervenções tipo 4 (reabilitação estrutural de 4 cm de espessura e $PSI_{final} = 3,49$).

Do ponto de vista dos gestores/administradores, o cenário 6.C apresenta vantagem em relação ao 1.A por possuir um custo final menor, considerando que seu período de projeto é o dobro. Do ponto de vista dos usuários, durante a vida em serviço, o cenário 6.C resultará em maior qualidade da via pois o $PSI_{intervenção} = 2,5$ enquanto no cenário 1.A o $PSI_{intervenção} = 1,5$.

Tabela 27 – Custos de conservação+operacional-valor residual (período de 10 anos)

Cenário	Tipos de Intervenção	PSI no fim do período de projeto	Custo de implantação+ conservação	Custo Operacional	Valor Residual	Custo final
1.A	3 + 3	4,00	R\$ 885.127,46	R\$ 560.190,47	R\$ 189.590,54	R\$ 1.255.727,39
1.B	4	2,89	R\$ 821.930,62	R\$ 546.125,18	R\$ 79.710,98	R\$ 1.288.344,82
1.C	5	3,23	R\$ 853.529,04	R\$ 544.569,93	R\$ 117.500,78	R\$ 1.280.598,19
2.A	3 + 4	2,91	R\$ 916.725,89	R\$ 535.254,33	R\$ 141.100,30	R\$ 1.310.879,92
2.B	3 + 5	3,28	R\$ 948.324,31	R\$ 536.838,83	R\$ 192.080,48	R\$ 1.293.082,66
2.C	4 + 4	3,53	R\$ 948.324,31	R\$ 535.029,77	R\$ 213.170,27	R\$ 1.270.183,82
2.D	5	2,99	R\$ 853.529,04	R\$ 523.762,18	R\$ 104.751,61	R\$ 1.272.539,61
3.A	3 + 4	2,52	R\$ 916.725,89	R\$ 534.344,79	R\$ 112.106,46	R\$ 1.338.964,21
3.B	3 + 5	3,08	R\$ 948.324,31	R\$ 530.564,67	R\$ 174.992,64	R\$ 1.303.896,34
3.C	4	2,29	R\$ 821.930,62	R\$ 529.159,42	R\$ 54.251,59	R\$ 1.296.838,45
3.D	5	2,89	R\$ 853.529,04	R\$ 523.762,18	R\$ 99.544,76	R\$ 1.277.746,46

Tabela 28 – Custos de conservação+operacional-valor residual (período de 20 anos)

Cenário	Tipos de Intervenção	PSI no fim do período de projeto	Custo de implantação+ conservação	Custo Operacional	Valor Residual	Custo final
4.A	3	2,95	R\$ 907.813,51	R\$ 1.234.767,23	R\$ 61.482,42	R\$ 2.081.098,32
4.B	4	3,48	R\$ 939.411,94	R\$ 1.232.614,40	R\$ 104.600,28	R\$ 2.067.426,06
4.C	5	3,59	R\$ 971.010,36	R\$ 1.233.878,96	R\$ 136.300,67	R\$ 2.068.588,66
5.A	3 + 3	0,00	R\$ 1.002.608,78	R\$ 1.231.379,17	R\$ 0,00*	R\$ 2.233.987,95

* Nestes cenários, tem-se $PSI = 0$ no fim do período de projeto, ou seja, o pavimento já não tem valor residual que possa ser considerado durante os cálculos para atingir um $PSI_{final} = 4,0$.

5.B	3 + 4	3,22	R\$ 1.034.207,21	R\$ 1.199.606,94	R\$ 163.389,71	R\$ 2.070.424,44
5.C	4	2,54	R\$ 939.411,94	R\$ 1.195.418,87	R\$ 64.681,77	R\$ 2.070.149,04
5.D	5	2,98	R\$ 971.010,36	R\$ 1.187.555,73	R\$ 104.027,25	R\$ 2.054.538,84
6.A	3 + 3 + 5	0,00	R\$ 1.160.600,90	R\$ 1.262.160,54	R\$ 0,00*	R\$ 2.422.761,44
6.B	3 + 4 + 5	1,14	R\$ 1.192.199,33	R\$ 1.201.286,00	R\$ 18.145,85	R\$ 2.375.339,48
6.C	4 + 4	3,49	R\$ 1.065.805,63	R\$ 1.174.555,26	R\$ 209.681,89	R\$ 2.030.678,99
6.D	5	2,70	R\$ 971.010,36	R\$ 1.170.462,09	R\$ 89.701,08	R\$ 2.051.771,37

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram avaliados e comparados os aspectos financeiros envolvidos na implantação e conservação de um pavimento flexível com períodos de vida útil de, respectivamente, 10 e 20 anos. As espessuras das camadas dos pavimentos foram dimensionadas segundo o Método do DNER, sendo ainda calculados os quantitativos de materiais para implantação, conservação e custos envolvidos nesses períodos de tempo. Posteriormente, o desempenho desses pavimentos foi avaliado com a Equação da AASHTO (1993).

Foram avaliados 22 cenários tendo em vista três valores limites de intervenção nos pavimentos ($PSI_{\text{interv}} = 2,5$; $PSI_{\text{interv}} = 2,0$ e $PSI_{\text{interv}} = 1,5$). Diante dos cenários avaliados, constatou-se que os pavimentos dimensionados para o período de vida útil de 20 anos são mais vantajosos a longo prazo. Apesar do maior custo de implantação, os custos de conservação para esses pavimentos são menores e no decorrer dos anos ainda apresentam melhor estado de conservação e segurança para os usuários.

Do ponto de vista dos gestores, as intervenções do tipo 4 (revestimentos estruturais com espessuras de 4 cm), de resistência intermediária, mostraram-se melhores opções por apresentarem menores custos a longo prazo e índices de serventia final superiores aos dos cenários com intervenção do tipo 3 (revestimento estrutural com espessura de 3 cm). Nos cenários onde a primeira intervenção aplicada foi do tipo 3, com exceção do cenário 1.A, houve a necessidade de aplicação de uma intervenção mais resistente nos anos seguintes para que o pavimento não estivesse destruído ao final do seu período de projeto.

As intervenções do tipo 2 (lama asfáltica) foram descartadas logo no início da avaliação dos cenários por se apresentarem ineficientes, visto que, no ano posterior às intervenções, as vias estavam completamente destruídas.

Do ponto de vista dos usuários, considerando os custos operacionais dos veículos, observou-se que os menores custos para um período de vida útil de 10 anos, ocorreram quando houve apenas uma intervenção no pavimento (intervenção tipo 5 - reabilitação estrutural com 5 cm de espessura, a mais resistente neste estudo). Para um período de vida útil de 20 anos, o menor custo operacional também foi detectado quando houve apenas uma intervenção no pavimento (intervenção tipo 5 - reabilitação estrutural com 5 cm de espessura, a mais resistente neste estudo).

Comparando os custos operacionais para 10 e 20 anos, constatou-se que este

mais que dobrou em alguns cenários para 20 anos comparado aos cenários para o período de 10 anos. Tal fato pode ter ocorrido devido a depreciação dos veículos, a qual é considerada durante o cálculo do custo operacional pelo modelo de Zaniewski et al. (1982).

Assim, podemos concluir que os pavimentos dimensionados para um período de vida útil de 20 anos são a melhor opção a longo prazo. Apesar do alto custo de implantação inicial, ao longo do período de serviço o gasto com conservação acaba sendo inferior aos pavimentos com período de vida útil de 10 anos e, além de apresentar melhores custos para os gestores/administradores da via, também apresentam maior qualidade, conforto e segurança para os usuários.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Guide for Design of Pavement Structures**. Washington: AASHTO, 1993.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008.

BISCONSINI, D. R. **Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L.P. **Pavimentos Rodoviários**. Coimbra: Almedina, 2016.

CLAFFEY, P. J. **Running Costs of Motor Vehicles as Affected by Road Design and Traffic**. National Cooperative Highway Research Program Report 111. Highway Research Board, 1971.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Transporte Rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?**. Brasília: CNT, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ – DNER/PR. **Custo Referencial de Serviços**. Diretoria Técnica (Coordenadoria de Custo e Orçamento). DNER/PR, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Publicação IPR – 720. Ministério dos Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **NORMA DNIT 005/2003 - PRO: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **NORMA DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **NORMA DNIT 009/2003 - PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003c.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: UECE, 2002. Apostila.

HALL, K. et al. **Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada**. U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration, 2007.

MEDINA, J. MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.

MOTTA, R. dos S. **Estudo de Misturas Asfálticas Mornas em Revestimentos de Pavimentos para Redução de Emissão de Poluentes e de Consumo Energético**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

SCARANTO, M. **Procedimentos aplicáveis na definição de medidas para manutenção de pavimentos urbanos com revestimentos asfálticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, 2007.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008.

SOUZA, L. P. **Uso Integrado das Ferramentas de Análise do Ciclo de Vida e de Análise do Custo do Ciclo de Vida em Pavimentação**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

SOUZA, M.L. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 1981.

ZANIEWSKI, J. P. et al. **Vehicle operating costs, fuel consumption, and pavement type and condition factors**. U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration, 1982.

ZANIEWSKI, J. P.; BUTLER, B. C. Vehicle operating costs related to operating mode, road design, and pavement condition. In: GILLESPIE, T. D; SAYERS, M. (Orgs.) **Measuring road roughness and Its Effects on User Cost and Comfort: A Symposium**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1985.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PATOLOGIA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A partir do início da vida em serviço um pavimento estará exposto às intempéries e aos carregamentos oriundos do tráfego rodoviário. Por isso, com o passar do tempo o pavimento poderá apresentar patologias que devem ser identificadas e tratadas adequadamente para que o pavimento continue a garantir a segurança e o conforto aos usuários. Apresenta-se a seguir as principais patologias dos pavimentos flexíveis.

Trincas e Fissuras

Devido as ações ambientais associadas ao volume de tráfego, o revestimento betuminoso tende a sofrer trincas no decorrer de sua vida útil. As trincas permitem a passagem de água que provoca o enfraquecimento do revestimento e da estrutura do pavimento (DNIT, 2006).

As trincas são classificadas em isoladas (transversal, longitudinal e de retração) ou interligadas (tipo couro de jacaré e bloco) (DNIT, 2003a).

Figura A.1 – Trincas isoladas



Fonte: CNT (2017)

Figura A.2 – Trincas interligadas



Fonte: CNT (2017)

Diferente das trincas, as fissuras não causam danos a estrutura do pavimento e possuem uma extensão inferior a 30 cm (CNT, 2017).

Figura A.3 – Fissuras



Fonte: CNT (2017)

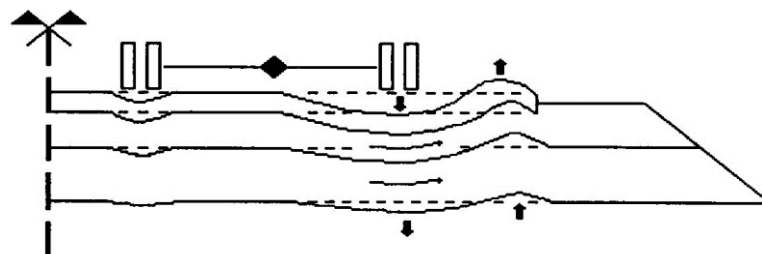
Afundamentos

Os afundamentos são deformações caracterizadas por depressões (afundamento de consolidação) podendo ser acompanhadas de pequenas elevações laterais (afundamento plástico) na superfície do pavimento devido a repetição de cargas da passagem dos veículos (SILVA, 2008).

As principais causas são deformações nas camadas ou subleito do pavimento e problemas na dosagem, excesso de ligante asfáltico e falhas na compactação durante o processo de implantação (CNT, 2017).

O afundamento é considerado local quando possui até 6 metros de extensão, e, quando ultrapassa os 6 metros, é chamado de afundamento da trilha de roda (CNT, 2017).

Figura A.4 – Afundamento de consolidação e afundamento plástico



Fonte: DNIT (2006)

Figura A.5 – Afundamento de consolidação



Fonte: CNT (2017)

Figura A.6 – Afundamento plástico



Fonte: CNT (2017)

Ondulações

As ondulações, também conhecidas como corrugações, são causadas devido à baixa estabilidade da mistura asfáltica e excesso de umidade do subleito provocando o movimento do revestimento na superfície do pavimento (CNT, 2007). Seu aparecimento é bastante comum em áreas submetidas à aceleração e frenagem, como subidas, rampas e curvas (SILVA, 2008).

Figura A.7 – Ondulação ou corrugação



Fonte: CNT (2017)

Desgastes

O desgaste provoca o arrancamento progressivo dos agregados e é caracterizado pela aspereza superficial. As principais causas são a deficiência no teor de ligante e problemas na execução ou no projeto de misturas (CNT, 2017).

Figura A.8 – Desgaste



Fonte: CNT (2017)

Panelas

As panelas são buracos ou cavidades formadas inicialmente no revestimento do pavimento que podem alcançar as camadas inferiores causando danos a sua estrutura (DNIT, 2006).

Figura A.9 – Panela



Fonte: CNT (2017)

Remendos

Os remendos são buracos preenchidos, por exemplo, com material granular na base e mistura asfáltica no revestimento, ou mistura asfáltica apenas no revestimento. Por transparecer problemas na estrutura do pavimento e afetar o conforto no rolamento, um remendo pode ser considerado um defeito (DNIT, 2006; CNT, 2017).

Figura A.10 – Remendo



Fonte: CNT (2017)

Exsudações

O excesso de ligante no revestimento causa a formação de uma película de material betuminoso no pavimento que prejudica a aderência do revestimento aos pneus, principalmente em dias de chuva (DNIT, 2006).

Figura A.11 – Exsudação



Fonte: CNT (2017)

Escorregamentos

Os escorregamentos são causados por esforços tangenciais que provocam o deslocamento do revestimento em formas de fendas em meia-lua. A principal causa é falha na pintura de ligação entre o revestimento e a camada inferior (SILVA, 2008).

Figura A.12 – Escorregamento



Fonte: CNT (2017)

APÊNDICE B – CENÁRIOS AVALIADOS PARA O PERÍODO DE 10 ANOS

Tabela B.1 – Cenário 1.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,53	358,0	88,2	11523,20
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,15	386,5	90,8	12813,77
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	2,97	8534,021	4,00	293,5	93,6	10022,42
2030	8	3,53E+06	4,40E+05	-1,282	0,45	2,97	8534,021	2,63	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06	8,93E+05	-1,282	0,45	2,97	8534,021	0,68	386,5	99,3	14001,95
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	2,69	8534,021	4,00	293,5	102,2	10951,77

Tabela B.2 – Cenário 1.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,53	358,0	88,2	11523,20
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,15	386,5	90,8	12813,77
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	3,84	8534,021	4,00	293,5	93,6	10022,42
2030	8	3,53E+06	4,40E+05	-1,282	0,45	3,84	8534,021	3,50	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	8,93E+05	-1,282	0,45	3,84	8534,021	3,18	309,5	99,3	11212,43
2032	10	4,45E+06	1,36E+06	-1,282	0,45	3,84	8534,021	2,89	309,5	102,2	11548,80

Tabela B.3 – Cenário 1.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,53	358,0	88,2	11523,20
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,15	386,5	90,8	12813,77
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,31	8534,021	4,00	293,5	93,6	10022,42
2030	8	3,53E+06	4,40E+05	-1,282	0,45	4,31	8534,021	3,60	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	8,93E+05	-1,282	0,45	4,31	8534,021	3,40	300,5	99,3	10886,38
2032	10	4,45E+06	1,36E+06	-1,282	0,45	4,31	8534,021	3,23	309,5	102,2	11548,80

Tabela B.4 – Cenário 2.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06	-	-1,282	0,45	2,98	8534,021	4,00	293,5	88,2	9447,10
2028	6	2,66E+06	4,15E+05	-1,282	0,45	2,98	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06	8,42E+05	-1,282	0,45	2,98	8534,021	1,04	386,5	93,6	13198,18
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	3,57	8534,021	4,00	293,5	96,4	10323,10
2031	9	3,98E+06	4,53E+05	-1,282	0,45	3,57	8534,021	3,39	293,5	99,3	10632,79
2032	10	4,45E+06	9,20E+05	-1,282	0,45	3,57	8534,021	2,91	309,5	102,2	11548,80

Tabela B.5 – Cenário 2.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06	-	-1,282	0,45	2,98	8534,021	4,00	293,5	88,2	9447,10
2028	6	2,66E+06	4,15E+05	-1,282	0,45	2,98	8534,021	2,77	322,0	90,8	10675,38
2029	7	3,09E+06	8,42E+05	-1,282	0,45	2,98	8534,021	1,04	386,5	93,6	13198,18
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,04	8534,021	4,00	293,5	96,4	10323,10
2031	9	3,98E+06	4,53E+05	-1,282	0,45	4,04	8534,021	3,54	300,5	99,3	10886,38
2032	10	4,45E+06	9,20E+05	-1,282	0,45	4,04	8534,021	3,28	300,5	102,2	11212,97

Tabela B.6 – Cenário 2.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06	-	-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06	-	-1,282	0,45	3,85	8534,021	4,00	293,5	88,2	9447,10
2028	6	2,66E+06	4,15E+05	-1,282	0,45	3,85	8534,021	2,25	322,0	90,8	10675,38
2029	7	3,09E+06	8,42E+05	-1,282	0,45	3,85	8534,021	2,06	337,5	93,6	11524,93
2030	8	3,53E+06	1,28E+06	-1,282	0,45	3,85	8534,021	1,86	337,5	96,4	11870,68
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,02	8534,021	4,00	293,5	99,3	10632,79
2032	10	4,45E+06	4,67E+05	-1,282	0,45	4,02	8534,021	3,53	300,5	102,2	11212,97

Tabela B.7 – Cenário 2.D

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06	-	-1,282	0,45	3,51	8534,021	1,91	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06	-	-1,282	0,45	4,32	8534,021	4,00	293,5	88,2	9447,10
2028	6	2,66E+06	4,15E+05	-1,282	0,45	4,32	8534,021	3,62	300,5	90,8	9962,58
2029	7	3,09E+06	8,42E+05	-1,282	0,45	4,32	8534,021	3,42	300,5	93,6	10261,46
2030	8	3,53E+06	1,28E+06	-1,282	0,45	4,32	8534,021	3,26	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	1,74E+06	-1,282	0,45	4,32	8534,021	3,12	309,5	99,3	11212,43
2032	10	4,45E+06	2,20E+06	-1,282	0,45	4,32	8534,021	2,99	309,5	102,2	11548,80

Tabela B.8 – Cenário 3.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	0,00	8534,021	4,00	293,5	85,6	9171,94
2027	5	2,25E+06	4,03E+05	-1,282	0,45	2,99	8534,021	2,83	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06	8,17E+05	-1,282	0,45	2,99	8534,021	1,20	386,5	90,8	12813,77
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45		8534,021	4,00	293,5	93,6	10022,42
2030	8	3,53E+06	4,40E+05	-1,282	0,45	3,58	8534,021	3,41	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	8,93E+05	-1,282	0,45	3,58	8534,021	2,95	309,5	99,3	11212,43
2032	10	4,45E+06	1,36E+06	-1,282	0,45	3,58	8534,021	2,52	322,0	102,2	12015,23

Tabela B.9 – Cenário 3.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	2,99	8534,021	4,00	293,5	85,6	9171,94
2027	5	2,25E+06	4,03E+05	-1,282	0,45	2,99	8534,021	2,83	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06	8,17E+05	-1,282	0,45	2,99	8534,021	1,20	386,5	90,8	12813,77
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,05	8534,021	4,00	293,5	93,6	10022,42
2030	8	3,53E+06	4,40E+05	-1,282	0,45	4,05	8534,021	3,55	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	8,93E+05	-1,282	0,45	4,05	8534,021	3,30	300,5	99,3	10886,38
2032	10	4,45E+06	1,36E+06	-1,282	0,45	4,05	8534,021	3,08	309,5	102,2	11548,80

Tabela B.10 – Cenário 3.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06	-	-1,282	0,45	3,86	8534,021	4,00	293,5	85,6	9171,94
2027	5	2,25E+06	4,03E+05	-1,282	0,45	3,86	8534,021	3,54	300,5	88,2	9672,41
2028	6	2,66E+06	8,17E+05	-1,282	0,45	3,86	8534,021	3,24	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06	1,24E+06	-1,282	0,45	3,86	8534,021	2,98	309,5	93,6	10568,79
2030	8	3,53E+06	1,68E+06	-1,282	0,45	3,86	8534,021	2,74	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06	2,14E+06	-1,282	0,45	3,86	8534,021	2,51	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06	2,60E+06	-1,282	0,45	3,86	8534,021	2,29	322,0	102,2	12015,23

Tabela B.11 – Cenário 3.D

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	3,51	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	3,51	8534,021	3,07	309,5	78,4	8851,20
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,67	322,0	80,7	9484,94
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	3,51	8534,021	2,29	322,0	83,1	9769,48
2026	4	1,84E+06	-	-1,282	0,45		8534,021	4,00	337,5	85,6	10546,95
2027	5	2,25E+06	4,03E+05	-1,282	0,45	4,33	8534,021	3,63	293,5	88,2	9447,10
2028	6	2,66E+06	8,17E+05	-1,282	0,45	4,33	8534,021	3,44	300,5	90,8	9962,58
2029	7	3,09E+06	1,24E+06	-1,282	0,45	4,33	8534,021	3,28	300,5	93,6	10261,46
2030	8	3,53E+06	1,68E+06	-1,282	0,45	4,33	8534,021	3,14	300,5	96,4	10569,30
2031	9	3,98E+06	2,14E+06	-1,282	0,45	4,33	8534,021	3,01	309,5	99,3	11212,43
2032	10	4,45E+06	2,60E+06	-1,282	0,45	4,33	8534,021	2,89	309,5	102,2	11548,80

APÊNDICE C – CENÁRIOS AVALIADOS PARA O PERÍODO DE 20 ANOS

Tabela C.1 – Cenário 4.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,89	337,5	115,1	14174,22
2037	15	7,00E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,78	337,5	118,5	14599,44
2038	16	7,56E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,67	358,0	122,1	15950,81
2039	17	8,13E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,57	358,0	125,7	16429,33
2040	18	8,73E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,46	358,0	129,5	16922,21
2041	19	9,33E+06		-1,282	0,45	3,33	8534,021	4,00	293,5	133,4	14289,58
2042	20	9,96E+06	6,27E+05	-1,282	0,45	3,33	8534,021	2,95	309,5	137,4	15520,63

Tabela C.2 – Cenário 4.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,89	337,5	115,1	14174,22
2037	15	7,00E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,78	337,5	118,5	14599,44
2038	16	7,56E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,67	358,0	122,1	15950,81

2039	17	8,13E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,57	358,0	125,7	16429,33
2040	18	8,73E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,46	358,0	129,5	16922,21
2041	19	9,33E+06		-1,282	0,45	4,20	8534,021	4,00	293,5	133,4	14289,58
2042	20	9,96E+06	6,27E+05	-1,282	0,45	4,20	8534,021	3,48	300,5	137,4	15069,30

Tabela C.3 – Cenário 4.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	309,5	80,7	9116,73
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,89	337,5	115,1	14174,22
2037	15	7,00E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,78	337,5	118,5	14599,44
2038	16	7,56E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,67	358,0	122,1	15950,81
2039	17	8,13E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,57	358,0	125,7	16429,33
2040	18	8,73E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,46	358,0	129,5	16922,21
2041	19	9,33E+06		-1,282	0,45	4,67	8534,021	4,00	293,5	133,4	14289,58
2042	20	9,96E+06	6,27E+05	-1,282	0,45	4,67	8534,021	3,59	300,5	137,4	15069,30

Tabela C.4 – Cenário 5.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37

2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	3,34	8534,021	4,00	293,5	115,1	12326,32
2037	15	7,00E+06	5,41E+05	-1,282	0,45	3,34	8534,021	3,10	309,5	118,5	13388,23
2038	16	7,56E+06	1,10E+06	-1,282	0,45	3,34	8534,021	2,25	322,0	122,1	14346,82
2039	17	8,13E+06	1,67E+06	-1,282	0,45	3,34	8534,021	1,40	358,0	125,7	16429,33
2040	18	8,73E+06		-1,282	0,45	2,89	8534,021	4,00	293,5	129,5	13873,38
2041	19	9,33E+06	6,09E+05	-1,282	0,45	2,89	8534,021	1,38	358,0	133,4	17429,88
2042	20	9,96E+06	1,24E+06	-1,282	0,45	2,89	8534,021	-2,80	386,5	137,4	19381,98

Tabela C.5 – Cenário 5.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	3,34	8534,021	4,00	293,5	115,1	12326,32
2037	15	7,00E+06	5,41E+05	-1,282	0,45	3,34	8534,021	3,10	309,5	118,5	13388,23
2038	16	7,56E+06	1,10E+06	-1,282	0,45	3,34	8534,021	2,25	322,0	122,1	14346,82
2039	17	8,13E+06	1,67E+06	-1,282	0,45	3,34	8534,021	1,40	358,0	125,7	16429,33
2040	18	8,73E+06	-	-1,282	0,45	4,19	8534,021	4,00	293,5	129,5	13873,38
2041	19	9,33E+06	6,09E+05	-1,282	0,45	4,19	8534,021	3,49	300,5	133,4	14630,39
2042	20	9,96E+06	1,24E+06	-1,282	0,45	4,19	8534,021	3,22	309,5	137,4	15520,63

Tabela C.6 – Cenário 5.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	309,5	80,7	9116,73
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23

2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	115,1	12326,32
2037	15	7,00E+06	5,41E+05	-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,53	300,5	118,5	12998,91
2038	16	7,56E+06	1,10E+06	-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,28	300,5	122,1	13388,88
2039	17	8,13E+06	1,67E+06	-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,07	309,5	125,7	14203,57
2040	18	8,73E+06	2,26E+06	-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,88	309,5	129,5	14629,68
2041	19	9,33E+06	2,87E+06	-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,70	322,0	133,4	15677,16
2042	20	9,96E+06	3,50E+06	-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	137,4	16147,47

Tabela C.7 – Cenário 5.D

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	309,5	80,7	9116,73
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,31	322,0	102,2	12015,23
2033	11	4,93E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,21	337,5	105,3	12971,42
2034	12	5,43E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,10	337,5	108,5	13360,56
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	1,99	337,5	111,7	13761,37
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45		8534,021	4,00	293,5	115,1	12326,32
2037	15	7,00E+06	5,41E+05	-1,282	0,45	4,68	8534,021	3,62	300,5	118,5	12998,91
2038	16	7,56E+06	1,10E+06	-1,282	0,45	4,68	8534,021	3,45	300,5	122,1	13388,88
2039	17	8,13E+06	1,67E+06	-1,282	0,45	4,68	8534,021	3,31	300,5	125,7	13790,54
2040	18	8,73E+06	2,26E+06	-1,282	0,45	4,68	8534,021	3,19	309,5	129,5	14629,68
2041	19	9,33E+06	2,87E+06	-1,282	0,45	4,68	8534,021	3,08	309,5	133,4	15068,57
2042	20	9,96E+06	3,50E+06	-1,282	0,45	4,68	8534,021	2,98	309,5	137,4	15520,63

Tabela C.8 – Cenário 6.A

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64

2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	3,35	8534,021	4,00	293,5	102,2	10951,77
2033	11	4,93E+06	4,81E+05	-1,282	0,45	3,35	8534,021	3,20	309,5	105,3	11895,27
2034	12	5,43E+06	9,76E+05	-1,282	0,45	3,35	8534,021	2,45	322,0	108,5	12746,96
2035	13	5,94E+06		-1,282	0,45	2,91	8534,021	4,00	293,5	111,7	11967,30
2036	14	6,46E+06	5,25E+05	-1,282	0,45	2,91	8534,021	2,00	337,5	115,1	14174,22
2037	15	7,00E+06	1,07E+06	-1,282	0,45	2,91	8534,021	-1,11	386,5	118,5	16719,06
2038	16	7,56E+06		-1,282	0,45	2,84	8534,021	4,00	293,5	122,1	13076,99
2039	17	8,13E+06	5,74E+05	-1,282	0,45	2,84	8534,021	1,13	386,5	125,7	17737,26
2040	18	8,73E+06	1,17E+06	-1,282	0,45	2,84	8534,021	-3,84	386,5	129,5	18269,37
2041	19	9,33E+06	1,77E+06	-1,282	0,45	2,84	8534,021	-10,22	386,5	133,4	18817,45
2042	20	9,96E+06	2,40E+06	-1,282	0,45	2,84	8534,021	-17,85	386,5	137,4	19381,98

Tabela C.9 – Cenário 6.B

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	300,5	80,7	8851,63
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	3,35	8534,021	4,00	293,5	102,2	10951,77
2033	11	4,93E+06	4,81E+05	-1,282	0,45	3,35	8534,021	3,20	309,5	105,3	11895,27
2034	12	5,43E+06	9,76E+05	-1,282	0,45	3,35	8534,021	2,45	322,0	108,5	12746,96
2035	13	5,94E+06	1,49E+06	-1,282	0,45	3,35	8534,021	1,71	358,0	111,7	14597,25
2036	14	6,46E+06		-1,282	0,45	3,77	8534,021	4,00	293,5	115,1	12326,32
2037	15	7,00E+06	5,41E+05	-1,282	0,45	3,77	8534,021	3,39	300,5	118,5	12998,91
2038	16	7,56E+06	1,10E+06	-1,282	0,45	3,77	8534,021	2,98	309,5	122,1	13789,88
2039	17	8,13E+06	1,67E+06	-1,282	0,45	3,77	8534,021	2,62	322,0	125,7	14777,22
2040	18	8,73E+06	2,26E+06	-1,282	0,45	3,77	8534,021	2,27	322,0	129,5	15220,54
2041	19	9,33E+06		-1,282	0,45	2,88	8534,021	4,00	293,5	133,4	14289,58
2042	20	9,96E+06	6,27E+05	-1,282	0,45	2,88	8534,021	1,14	386,5	137,4	19381,98

Tabela C.10 – Cenário 6.C

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	309,5	80,7	9116,73
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94

2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,22	8534,021	4,00	293,5	102,2	10951,77
2033	11	4,93E+06	4,81E+05	-1,282	0,45	4,22	8534,021	3,56	300,5	105,3	11549,36
2034	12	5,43E+06	9,76E+05	-1,282	0,45	4,22	8534,021	3,33	300,5	108,5	11895,84
2035	13	5,94E+06	1,49E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	3,14	309,5	111,7	12619,69
2036	14	6,46E+06	2,01E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	2,96	309,5	115,1	12998,28
2037	15	7,00E+06	2,55E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	2,80	309,5	118,5	13388,23
2038	16	7,56E+06	3,11E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	2,65	322,0	122,1	14346,82
2039	17	8,13E+06	3,68E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	2,50	322,0	125,7	14777,22
2040	18	8,73E+06	4,28E+06	-1,282	0,45	4,22	8534,021	2,36	322,0	129,5	15220,54
2041	19	9,33E+06		-1,282	0,45	4,22	8534,021	4,00	293,5	133,4	14289,58
2042	20	9,96E+06	6,27E+05	-1,282	0,45	4,22	8534,021	3,49	300,5	137,4	15069,30

Tabela C.11 – Cenário 6.D

ANO		N80	N80	ZR	S0	SN	MR	PSI	UNIT VOC	VMT	VOC (\$/ANO)
2022	0	-		-1,282	0,45	4,21	8534,021	4,00	293,5	76,1	8149,15
2023	1	7,05E+05		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,45	300,5	78,4	8593,81
2024	2	1,07E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,29	309,5	80,7	9116,73
2025	3	1,45E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,15	309,5	83,1	9390,23
2026	4	1,84E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	3,01	309,5	85,6	9671,94
2027	5	2,25E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,89	309,5	88,2	9962,10
2028	6	2,66E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,77	309,5	90,8	10260,96
2029	7	3,09E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,65	322,0	93,6	10995,64
2030	8	3,53E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,54	322,0	96,4	11325,51
2031	9	3,98E+06		-1,282	0,45	4,21	8534,021	2,42	322,0	99,3	11665,28
2032	10	4,45E+06		-1,282	0,45	4,69	8534,021	4,00	293,5	102,2	10951,77
2033	11	4,93E+06	4,81E+05	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,65	300,5	105,3	11549,36
2034	12	5,43E+06	9,76E+05	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,48	300,5	108,5	11895,84
2035	13	5,94E+06	1,49E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,35	300,5	111,7	12252,72
2036	14	6,46E+06	2,01E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,24	309,5	115,1	12998,28
2037	15	7,00E+06	2,55E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,14	309,5	118,5	13388,23
2038	16	7,56E+06	3,11E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	3,04	309,5	122,1	13789,88
2039	17	8,13E+06	3,68E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	2,95	309,5	125,7	14203,57
2040	18	8,73E+06	4,28E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	2,87	309,5	129,5	14629,68
2041	19	9,33E+06	4,89E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	2,78	309,5	133,4	15068,57
2042	20	9,96E+06	5,51E+06	-1,282	0,45	4,69	8534,021	2,70	309,5	137,4	15520,63

ANEXOS

ANEXO A – TABELAS DE ZANIEWSKI

A seguir são apresentadas as tabelas obtidas no estudo realizado por Zaniewski et al. (1982) e utilizadas neste trabalho.

O estudo realizado por Zaniewski et al. (1982) pode ser obtido gratuitamente no link seguinte: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/1012>

TABLE A. 5 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 4.5 (\$/1000 mi)

GRADE I	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	705.	659.	566.	491.	477.	467.	483.	505.	489.	482.	498.	514.	536.	569.
7	652.	609.	519.	447.	437.	432.	449.	472.	458.	450.	466.	482.	502.	535.
6	600.	561.	480.	415.	407.	404.	420.	442.	428.	422.	437.	451.	472.	503.
5	560.	523.	397.	389.	381.	378.	389.	406.	397.	393.	397.	421.	442.	470.
4	521.	488.	420.	365.	357.	353.	360.	372.	367.	367.	372.	390.	409.	437.
3	483.	453.	391.	341.	333.	328.	330.	337.	335.	339.	346.	360.	379.	405.
2	442.	415.	358.	314.	304.	297.	297.	302.	304.	310.	319.	332.	348.	374.
1	394.	370.	317.	275.	259.	247.	253.	264.	275.	280.	291.	303.	318.	342.
0	342.	321.	270.	229.	217.	208.	212.	218.	231.	248.	261.	274.	289.	311.
-1	247.	227.	222.	198.	189.	183.	175.	171.	189.	210.	228.	245.	257.	277.
-2	234.	212.	192.	176.	160.	146.	131.	118.	160.	174.	195.	217.	230.	250.
-3	259.	234.	211.	192.	173.	156.	139.	126.	128.	133.	146.	194.	205.	221.
-4	290.	262.	235.	214.	192.	171.	152.	137.	139.	143.	153.	162.	165.	198.
-5	323.	291.	261.	239.	213.	188.	169.	153.	153.	155.	163.	170.	173.	180.
-6	357.	321.	289.	266.	235.	207.	189.	174.	172.	171.	177.	181.	184.	189.
-7	391.	352.	317.	290.	258.	228.	210.	195.	190.	187.	192.	196.	200.	206.
-8	428.	385.	345.	314.	281.	251.	234.	219.	212.	207.	212.	216.	218.	223.

TABLE A. 6 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 4.5 (\$/1000 mi)

GRADE I	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1484.	1233.	1033.	854.	854.	859.	864.	879.	904.	933.	952.	973.	1010.	1043.
7	1343.	1122.	950.	799.	797.	801.	805.	819.	839.	865.	881.	901.	934.	965.
6	1207.	1018.	873.	749.	744.	745.	748.	760.	776.	798.	814.	831.	861.	890.
5	1074.	916.	800.	704.	696.	692.	693.	704.	716.	735.	749.	763.	793.	817.
4	952.	823.	733.	661.	649.	642.	642.	650.	659.	673.	686.	700.	724.	747.
3	833.	732.	668.	620.	604.	592.	589.	596.	601.	611.	622.	635.	659.	678.
2	729.	651.	606.	577.	555.	538.	529.	530.	530.	537.	553.	570.	590.	607.
1	653.	580.	544.	523.	493.	468.	457.	455.	453.	458.	476.	495.	513.	528.
0	598.	515.	461.	421.	397.	377.	366.	364.	361.	364.	372.	381.	398.	412.
-1	521.	420.	346.	328.	307.	291.	277.	271.	275.	285.	285.	285.	294.	304.
-2	512.	411.	338.	279.	255.	235.	212.	199.	193.	192.	230.	232.	239.	243.
-3	530.	427.	356.	299.	275.	254.	227.	218.	209.	205.	200.	195.	193.	187.
-4	562.	456.	385.	329.	304.	283.	262.	248.	239.	233.	227.	221.	218.	211.
-5	599.	492.	421.	368.	342.	320.	298.	285.	275.	269.	261.	253.	248.	240.
-6	641.	533.	464.	412.	385.	362.	341.	328.	317.	310.	300.	290.	285.	275.
-7	691.	580.	512.	463.	434.	409.	389.	376.	364.	356.	345.	333.	326.	314.
-8	740.	631.	565.	518.	489.	464.	442.	429.	417.	407.	395.	381.	373.	361.

TABLE A.13 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 4.0 (\$/1000 mi)

GRADE X	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	711.	664.	572.	497.	483.	473.	489.	511.	496.	489.	505.	522.	544.	578.
7	657.	614.	524.	452.	442.	437.	454.	478.	464.	456.	473.	489.	510.	543.
6	605.	566.	485.	419.	411.	408.	425.	447.	434.	427.	442.	458.	479.	510.
5	564.	527.	401.	392.	385.	382.	393.	411.	401.	398.	402.	426.	448.	476.
4	525.	491.	424.	369.	361.	356.	364.	376.	371.	371.	376.	395.	415.	443.
3	487.	456.	394.	344.	336.	331.	333.	340.	339.	343.	350.	365.	384.	410.
2	445.	418.	361.	317.	306.	299.	300.	305.	307.	313.	322.	336.	352.	378.
1	397.	372.	320.	277.	261.	249.	255.	266.	277.	283.	294.	306.	322.	345.
0	345.	324.	273.	231.	219.	210.	214.	221.	234.	251.	264.	277.	292.	314.
-1	249.	229.	224.	200.	191.	185.	177.	173.	191.	212.	231.	247.	260.	280.
-2	237.	215.	194.	178.	162.	147.	132.	120.	162.	176.	198.	219.	232.	252.
-3	263.	237.	213.	194.	175.	158.	141.	127.	130.	135.	148.	195.	207.	223.
-4	294.	265.	238.	217.	194.	173.	154.	139.	141.	145.	154.	164.	166.	200.
-5	327.	295.	264.	242.	216.	191.	172.	156.	156.	157.	165.	172.	175.	181.
-6	362.	326.	293.	269.	238.	210.	192.	177.	175.	174.	179.	184.	186.	191.
-7	397.	357.	322.	295.	262.	232.	214.	199.	194.	190.	195.	199.	202.	208.
-8	434.	391.	350.	319.	286.	256.	238.	224.	216.	211.	216.	220.	222.	226.

TABLE A.14 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 4.0 (\$/1000 mi)

GRADE X	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1504.	1251.	1049.	870.	870.	875.	880.	895.	920.	950.	970.	991.	1029.	1062.
7	1361.	1138.	965.	814.	811.	815.	819.	833.	853.	880.	897.	917.	951.	982.
6	1223.	1032.	887.	762.	757.	757.	761.	773.	789.	812.	828.	845.	876.	906.
5	1089.	929.	812.	715.	707.	703.	704.	715.	728.	747.	761.	776.	806.	830.
4	966.	835.	744.	672.	659.	652.	651.	660.	669.	684.	696.	711.	736.	759.
3	846.	743.	678.	629.	613.	601.	598.	605.	610.	620.	631.	645.	669.	688.
2	741.	661.	615.	586.	564.	546.	537.	538.	538.	545.	561.	579.	599.	616.
1	665.	590.	553.	531.	500.	475.	464.	462.	460.	466.	483.	502.	521.	536.
0	609.	525.	469.	429.	404.	384.	373.	370.	368.	371.	379.	387.	405.	419.
-1	532.	428.	354.	336.	314.	298.	283.	277.	281.	291.	291.	291.	300.	310.
-2	523.	420.	346.	286.	262.	241.	217.	204.	198.	197.	236.	237.	244.	249.
-3	542.	437.	365.	307.	282.	261.	234.	224.	215.	210.	205.	200.	197.	192.
-4	575.	467.	395.	338.	313.	291.	269.	255.	245.	239.	233.	227.	223.	216.
-5	613.	504.	432.	378.	351.	329.	306.	293.	282.	276.	268.	260.	254.	246.
-6	657.	546.	476.	423.	396.	372.	350.	337.	325.	319.	308.	298.	292.	282.
-7	708.	595.	526.	475.	446.	421.	400.	387.	374.	366.	354.	342.	334.	323.
-8	759.	647.	580.	532.	502.	477.	454.	441.	428.	418.	405.	391.	383.	371.

TABLE A.21 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 3.5 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	721.	674.	581.	506.	493.	484.	501.	524.	509.	503.	521.	538.	562.	597.
7	666.	623.	532.	461.	451.	447.	465.	489.	476.	469.	487.	504.	526.	560.
6	613.	573.	492.	427.	419.	417.	434.	457.	445.	439.	455.	471.	493.	525.
5	571.	534.	408.	399.	392.	390.	401.	420.	411.	409.	413.	438.	461.	490.
4	531.	497.	430.	375.	367.	363.	371.	384.	380.	380.	386.	405.	426.	456.
3	493.	461.	400.	350.	342.	337.	340.	347.	347.	351.	359.	374.	394.	421.
2	451.	423.	366.	322.	311.	305.	306.	312.	314.	320.	330.	344.	361.	388.
1	402.	377.	324.	282.	266.	254.	260.	272.	283.	290.	301.	314.	330.	354.
0	350.	328.	277.	235.	223.	215.	218.	226.	239.	256.	270.	283.	299.	322.
-1	252.	232.	228.	204.	195.	189.	181.	177.	196.	217.	236.	253.	266.	287.
-2	241.	218.	197.	181.	164.	150.	134.	122.	166.	180.	202.	224.	238.	258.
-3	268.	242.	217.	198.	179.	161.	144.	130.	133.	137.	150.	200.	212.	228.
-4	301.	271.	244.	222.	199.	178.	159.	143.	145.	149.	158.	167.	169.	204.
-5	335.	302.	271.	249.	222.	197.	178.	161.	161.	162.	169.	176.	179.	185.
-6	371.	335.	302.	277.	246.	217.	199.	184.	181.	180.	185.	189.	191.	196.
-7	408.	367.	332.	304.	271.	241.	222.	207.	202.	198.	203.	206.	209.	214.
-8	447.	403.	362.	330.	297.	266.	248.	233.	226.	220.	224.	228.	229.	233.

TABLE A.22 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 3.5 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1531.	1276.	1075.	895.	895.	901.	907.	923.	949.	980.	1001.	1024.	1063.	1099.
7	1385.	1161.	987.	836.	834.	838.	843.	858.	879.	907.	925.	946.	981.	1014.
6	1246.	1053.	907.	782.	777.	778.	781.	795.	812.	835.	853.	871.	903.	934.
5	1109.	948.	830.	733.	725.	721.	723.	734.	747.	767.	782.	798.	830.	856.
4	985.	852.	760.	687.	675.	668.	668.	677.	687.	702.	715.	731.	757.	781.
3	863.	758.	692.	643.	627.	615.	612.	620.	625.	636.	648.	662.	687.	708.
2	757.	675.	628.	598.	576.	559.	550.	551.	551.	559.	576.	594.	615.	633.
1	680.	603.	565.	542.	512.	486.	475.	473.	472.	478.	496.	515.	534.	550.
0	623.	537.	481.	439.	415.	394.	383.	380.	378.	381.	390.	399.	417.	432.
-1	543.	438.	362.	346.	324.	307.	292.	286.	290.	300.	300.	301.	310.	321.
-2	536.	431.	356.	295.	270.	249.	224.	211.	205.	203.	244.	246.	254.	259.
-3	557.	450.	376.	318.	292.	270.	242.	233.	223.	217.	212.	207.	204.	198.
-4	592.	482.	408.	351.	324.	302.	279.	266.	255.	249.	242.	235.	232.	224.
-5	633.	521.	448.	393.	365.	342.	319.	305.	294.	288.	279.	270.	264.	256.
-6	679.	566.	495.	441.	413.	388.	366.	352.	340.	333.	322.	311.	305.	294.
-7	734.	618.	547.	496.	465.	440.	418.	405.	391.	383.	370.	358.	350.	337.
-8	788.	674.	605.	556.	525.	499.	475.	462.	448.	438.	424.	410.	401.	388.

TABLE A.29 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 3.0 (\$/1000 mi)

GRADE I	SPEED mph													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
8	734.	686.	594.	519.	507.	498.	516.	540.	526.	522.	540.	559.	584.	621.
7	678.	634.	543.	472.	463.	459.	478.	503.	492.	486.	505.	522.	546.	581.
6	624.	583.	502.	437.	430.	428.	446.	470.	458.	454.	471.	488.	511.	545.
5	581.	543.	417.	408.	402.	400.	412.	431.	423.	422.	427.	454.	477.	507.
4	539.	505.	437.	383.	375.	372.	380.	394.	391.	392.	399.	419.	441.	471.
3	500.	468.	406.	357.	349.	345.	348.	356.	356.	361.	370.	386.	407.	435.
2	458.	429.	372.	328.	318.	312.	313.	319.	322.	329.	340.	355.	372.	400.
1	408.	383.	330.	287.	272.	260.	267.	279.	291.	297.	310.	323.	340.	365.
0	356.	334.	282.	240.	228.	220.	224.	232.	245.	263.	277.	291.	307.	331.
-1	256.	235.	233.	209.	200.	194.	186.	182.	201.	223.	242.	260.	274.	294.
-2	246.	222.	201.	184.	168.	153.	137.	124.	171.	186.	208.	230.	244.	264.
-3	275.	248.	223.	203.	183.	165.	148.	134.	136.	140.	153.	205.	218.	234.
-4	309.	278.	251.	229.	205.	184.	164.	148.	150.	153.	162.	170.	173.	209.
-5	345.	311.	280.	257.	230.	204.	185.	168.	167.	168.	175.	181.	183.	189.
-6	383.	346.	312.	287.	256.	227.	208.	192.	189.	187.	192.	196.	197.	201.
-7	422.	380.	344.	316.	282.	252.	233.	217.	211.	207.	211.	214.	216.	221.
-8	463.	418.	376.	344.	310.	279.	261.	245.	237.	231.	235.	238.	239.	242.

TABLE A.30 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 3.0 (\$/1000 mi)

GRADE I	SPEED mph													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
8	1568.	1311.	1108.	929.	929.	936.	942.	960.	987.	1019.	1042.	1067.	1108.	1146.
7	1419.	1192.	1017.	866.	864.	868.	874.	890.	912.	942.	961.	984.	1021.	1056.
6	1276.	1080.	933.	808.	803.	805.	809.	823.	841.	866.	884.	904.	939.	972.
5	1137.	972.	854.	756.	748.	745.	747.	759.	773.	794.	810.	828.	861.	888.
4	1009.	874.	781.	708.	695.	688.	688.	699.	709.	725.	740.	756.	784.	810.
3	886.	778.	711.	661.	645.	633.	631.	638.	644.	656.	669.	684.	711.	732.
2	778.	693.	645.	614.	592.	574.	566.	567.	568.	576.	594.	613.	636.	655.
1	699.	620.	580.	557.	526.	501.	489.	488.	487.	493.	512.	532.	552.	569.
0	642.	553.	495.	453.	428.	407.	395.	393.	391.	394.	403.	413.	432.	448.
-1	559.	450.	373.	358.	336.	319.	304.	297.	302.	312.	312.	313.	323.	335.
-2	554.	446.	369.	306.	280.	259.	233.	220.	213.	211.	255.	257.	265.	271.
-3	577.	466.	391.	331.	305.	282.	253.	243.	233.	227.	222.	216.	213.	206.
-4	615.	502.	426.	367.	340.	317.	293.	279.	267.	261.	253.	246.	242.	234.
-5	659.	544.	469.	412.	384.	360.	336.	321.	309.	302.	293.	284.	278.	268.
-6	709.	592.	519.	464.	434.	409.	386.	371.	358.	350.	339.	328.	321.	309.
-7	767.	649.	575.	522.	491.	464.	441.	427.	413.	404.	391.	377.	369.	356.
-8	826.	708.	637.	587.	555.	528.	503.	489.	474.	463.	449.	433.	424.	411.

TABLE A.37 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 2.5 (\$/1000 mi)

GRADE I	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	751.	703.	610.	537.	525.	517.	536.	562.	550.	547.	567.	588.	615.	653.
7	693.	648.	558.	488.	480.	477.	497.	523.	513.	508.	529.	548.	574.	611.
6	638.	596.	515.	451.	444.	443.	462.	487.	477.	474.	492.	511.	536.	571.
5	593.	554.	428.	420.	414.	414.	426.	447.	440.	440.	446.	474.	500.	531.
4	551.	515.	448.	393.	387.	384.	393.	408.	405.	408.	416.	437.	460.	492.
3	511.	478.	416.	366.	359.	355.	359.	368.	369.	375.	385.	403.	425.	453.
2	467.	438.	380.	336.	327.	321.	323.	330.	334.	342.	353.	369.	388.	417.
1	417.	390.	337.	295.	279.	268.	276.	288.	301.	308.	321.	335.	353.	379.
0	364.	341.	289.	247.	235.	227.	232.	240.	254.	273.	288.	302.	319.	344.
-1	261.	239.	240.	215.	206.	200.	193.	190.	209.	231.	251.	270.	284.	306.
-2	253.	228.	206.	189.	172.	157.	141.	128.	178.	193.	216.	238.	253.	274.
-3	284.	256.	230.	210.	190.	171.	154.	139.	141.	145.	157.	212.	225.	242.
-4	320.	289.	260.	238.	214.	192.	172.	155.	156.	159.	167.	176.	177.	216.
-5	359.	323.	291.	268.	240.	214.	194.	177.	176.	176.	182.	188.	190.	195.
-6	400.	361.	326.	301.	269.	239.	220.	203.	200.	198.	202.	205.	206.	209.
-7	441.	398.	361.	332.	298.	267.	247.	231.	224.	220.	223.	225.	227.	231.
-8	486.	438.	396.	363.	329.	297.	278.	262.	253.	246.	249.	251.	252.	254.

TABLE A.38 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 2.5 (\$/1000 mi)

GRADE I	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1616.	1356.	1152.	973.	974.	981.	989.	1008.	1037.	1071.	1096.	1124.	1168.	1209.
7	1462.	1232.	1056.	904.	903.	909.	915.	933.	957.	988.	1009.	1034.	1075.	1112.
6	1315.	1116.	968.	842.	838.	840.	845.	861.	880.	906.	927.	949.	986.	1021.
5	1172.	1005.	885.	786.	779.	776.	778.	792.	807.	830.	848.	867.	903.	932.
4	1042.	903.	809.	735.	722.	716.	716.	728.	739.	756.	772.	790.	820.	848.
3	915.	805.	736.	685.	668.	657.	655.	664.	670.	683.	697.	714.	742.	766.
2	805.	717.	667.	636.	613.	596.	587.	589.	591.	600.	619.	639.	663.	684.
1	724.	642.	601.	576.	545.	519.	508.	507.	506.	513.	533.	554.	576.	594.
0	666.	574.	514.	470.	445.	424.	412.	410.	408.	412.	422.	432.	452.	469.
-1	578.	466.	386.	375.	352.	335.	319.	313.	317.	327.	328.	330.	341.	353.
-2	576.	464.	385.	321.	294.	271.	245.	231.	223.	221.	269.	272.	281.	287.
-3	603.	488.	411.	349.	321.	298.	268.	257.	246.	240.	234.	228.	224.	217.
-4	645.	527.	449.	389.	360.	336.	311.	296.	284.	277.	268.	261.	257.	248.
-5	693.	574.	496.	438.	408.	383.	358.	343.	330.	322.	312.	302.	295.	285.
-6	748.	627.	551.	494.	463.	437.	412.	397.	383.	374.	362.	350.	343.	330.
-7	812.	689.	613.	558.	525.	497.	473.	458.	442.	433.	418.	404.	395.	381.
-8	876.	754.	680.	628.	594.	566.	540.	525.	509.	497.	482.	465.	455.	440.

TABLE A.45 Total cost at constant speed on grades - 2A BU truck - SI = 2.0 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	772.	723.	631.	558.	548.	541.	562.	589.	579.	578.	601.	624.	653.	695.
7	712.	666.	577.	507.	500.	498.	519.	548.	539.	537.	559.	581.	608.	648.
6	654.	612.	532.	468.	462.	462.	483.	509.	500.	499.	520.	541.	568.	605.
5	608.	569.	443.	435.	430.	431.	444.	466.	461.	462.	471.	500.	528.	561.
4	564.	528.	461.	407.	401.	399.	409.	425.	424.	428.	438.	461.	486.	519.
3	523.	489.	427.	378.	371.	368.	373.	384.	385.	393.	405.	423.	447.	478.
2	478.	448.	391.	347.	338.	333.	335.	343.	348.	357.	370.	387.	408.	438.
1	428.	400.	347.	305.	289.	279.	287.	300.	313.	322.	336.	351.	371.	398.
0	374.	350.	298.	256.	244.	237.	242.	250.	266.	285.	301.	316.	334.	360.
-1	267.	244.	248.	224.	215.	209.	202.	199.	219.	242.	263.	282.	297.	320.
-2	261.	236.	213.	195.	178.	162.	145.	132.	187.	202.	226.	249.	264.	286.
-3	295.	265.	239.	218.	197.	179.	161.	146.	147.	150.	162.	222.	235.	253.
-4	334.	301.	272.	249.	224.	202.	181.	164.	165.	167.	175.	182.	183.	225.
-5	376.	339.	306.	282.	254.	227.	206.	189.	187.	186.	192.	197.	198.	202.
-6	420.	379.	344.	318.	285.	255.	235.	218.	213.	211.	214.	216.	216.	219.
-7	465.	420.	382.	352.	318.	286.	265.	248.	241.	236.	238.	240.	240.	243.
-8	513.	464.	421.	387.	352.	319.	299.	283.	273.	265.	268.	269.	268.	269.

TABLE A.46 Total cost at constant speed on grades - 3A BU truck - SI = 2.0 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1673.	1410.	1205.	1026.	1028.	1037.	1047.	1068.	1099.	1136.	1164.	1195.	1242.	1287.
7	1514.	1281.	1104.	952.	951.	958.	966.	986.	1011.	1045.	1069.	1097.	1141.	1182.
6	1362.	1160.	1010.	884.	881.	884.	890.	907.	928.	957.	980.	1004.	1045.	1083.
5	1214.	1044.	922.	824.	816.	814.	818.	833.	849.	874.	894.	916.	955.	986.
4	1080.	938.	842.	768.	756.	749.	751.	763.	776.	795.	813.	833.	865.	896.
3	951.	836.	766.	714.	698.	687.	685.	695.	702.	717.	732.	751.	782.	807.
2	837.	746.	695.	662.	639.	622.	613.	616.	619.	629.	649.	671.	697.	720.
1	755.	669.	625.	600.	568.	543.	531.	531.	531.	538.	559.	582.	605.	625.
0	695.	599.	537.	492.	466.	445.	433.	431.	429.	434.	445.	456.	478.	496.
-1	602.	485.	403.	396.	372.	354.	338.	332.	336.	347.	349.	351.	363.	377.
-2	603.	487.	405.	339.	311.	287.	259.	245.	236.	233.	287.	290.	300.	307.
-3	634.	515.	434.	371.	342.	317.	286.	275.	263.	256.	249.	242.	238.	230.
-4	681.	559.	478.	415.	385.	360.	334.	318.	305.	297.	287.	279.	274.	265.
-5	734.	610.	530.	470.	438.	412.	385.	369.	355.	346.	335.	325.	317.	306.
-6	795.	670.	591.	532.	499.	471.	445.	429.	414.	404.	391.	378.	369.	356.
-7	866.	738.	659.	602.	567.	538.	512.	496.	479.	468.	453.	438.	427.	412.
-8	937.	810.	733.	678.	643.	614.	586.	570.	552.	539.	523.	505.	494.	478.

TABLE A.53 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 1.5 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	804.	753.	662.	590.	581.	577.	599.	629.	622.	624.	650.	676.	709.	754.
7	741.	694.	604.	535.	529.	529.	553.	583.	578.	578.	603.	628.	659.	702.
6	680.	636.	556.	493.	488.	490.	512.	541.	534.	536.	559.	583.	613.	653.
5	631.	590.	464.	457.	453.	455.	471.	494.	491.	495.	506.	538.	568.	605.
4	585.	547.	480.	426.	421.	420.	432.	450.	451.	457.	469.	494.	522.	558.
3	541.	506.	444.	395.	389.	387.	393.	405.	409.	418.	432.	453.	479.	512.
2	495.	464.	406.	362.	353.	349.	353.	363.	369.	380.	394.	413.	436.	468.
1	443.	414.	360.	318.	303.	293.	302.	317.	331.	341.	357.	374.	395.	424.
0	388.	362.	310.	268.	257.	250.	255.	265.	281.	302.	319.	336.	356.	383.
-1	276.	251.	259.	235.	226.	221.	214.	212.	233.	257.	279.	299.	315.	339.
-2	273.	246.	222.	204.	185.	169.	152.	138.	199.	216.	240.	264.	280.	303.
-3	311.	279.	252.	230.	209.	189.	170.	155.	155.	158.	169.	235.	249.	267.
-4	354.	319.	289.	265.	239.	216.	194.	176.	176.	178.	185.	191.	191.	237.
-5	401.	361.	327.	302.	273.	245.	224.	205.	202.	201.	205.	209.	210.	213.
-6	450.	407.	370.	342.	309.	277.	256.	238.	233.	229.	231.	233.	232.	233.
-7	500.	452.	413.	382.	346.	313.	291.	273.	265.	258.	260.	260.	259.	261.
-8	554.	502.	457.	421.	385.	352.	330.	313.	302.	293.	293.	293.	291.	291.

TABLE A.54 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 1.5 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1760.	1491.	1285.	1106.	1109.	1120.	1132.	1156.	1191.	1232.	1264.	1299.	1352.	1402.
7	1592.	1353.	1174.	1022.	1023.	1031.	1041.	1063.	1092.	1129.	1157.	1189.	1239.	1284.
6	1431.	1224.	1072.	946.	943.	948.	955.	975.	999.	1030.	1057.	1085.	1130.	1173.
5	1277.	1100.	977.	878.	871.	870.	875.	892.	911.	938.	961.	986.	1030.	1065.
4	1136.	988.	890.	815.	803.	798.	800.	815.	829.	850.	871.	895.	931.	965.
3	1001.	881.	808.	756.	739.	729.	728.	739.	748.	765.	783.	804.	839.	867.
2	884.	787.	733.	699.	676.	658.	650.	655.	658.	670.	693.	717.	746.	772.
1	798.	706.	660.	633.	600.	575.	563.	564.	565.	574.	597.	621.	647.	669.
0	735.	633.	568.	522.	495.	474.	461.	461.	459.	465.	477.	490.	514.	534.
-1	634.	511.	425.	424.	399.	380.	364.	358.	362.	374.	376.	380.	394.	409.
-2	640.	518.	432.	363.	333.	308.	279.	264.	254.	250.	312.	316.	326.	334.
-3	677.	552.	468.	402.	370.	344.	311.	299.	286.	277.	269.	262.	257.	248.
-4	732.	603.	518.	452.	420.	393.	365.	348.	333.	324.	314.	304.	299.	288.
-5	794.	663.	578.	514.	481.	452.	424.	407.	391.	381.	368.	356.	348.	336.
-6	864.	731.	647.	585.	550.	520.	492.	474.	457.	446.	432.	417.	407.	392.
-7	945.	809.	725.	665.	627.	596.	568.	551.	532.	519.	502.	485.	474.	457.
-8	1027.	892.	810.	752.	714.	682.	652.	634.	615.	600.	581.	562.	549.	531.

TABLE A.61 Total cost at constant speed on grades - 2A SU truck - SI = 1.0 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	844.	792.	701.	632.	625.	624.	650.	683.	680.	686.	717.	748.	785.	836.
7	776.	728.	639.	572.	569.	571.	598.	631.	629.	633.	663.	692.	727.	775.
6	712.	667.	587.	525.	523.	527.	552.	584.	581.	585.	613.	640.	675.	719.
5	660.	617.	492.	486.	484.	488.	506.	532.	532.	539.	554.	590.	624.	664.
4	610.	572.	504.	452.	448.	449.	463.	483.	487.	496.	511.	540.	571.	611.
3	564.	528.	466.	418.	413.	413.	421.	435.	441.	453.	469.	493.	523.	559.
2	516.	483.	425.	382.	374.	372.	377.	388.	397.	410.	427.	449.	474.	509.
1	462.	432.	378.	336.	322.	313.	323.	339.	356.	368.	386.	405.	429.	460.
0	406.	379.	326.	284.	273.	267.	274.	285.	303.	325.	344.	363.	385.	414.
-1	286.	260.	275.	250.	241.	236.	231.	230.	252.	277.	300.	322.	340.	366.
-2	288.	259.	234.	215.	195.	179.	160.	146.	216.	233.	259.	284.	302.	326.
-3	331.	298.	269.	246.	223.	203.	183.	167.	166.	168.	178.	252.	267.	287.
-4	380.	343.	311.	286.	259.	235.	212.	193.	192.	193.	198.	204.	202.	254.
-5	432.	391.	355.	328.	298.	269.	247.	227.	223.	220.	224.	226.	225.	227.
-6	488.	442.	404.	375.	340.	308.	285.	266.	259.	254.	255.	255.	252.	251.
-7	545.	494.	454.	421.	384.	349.	327.	307.	298.	289.	289.	287.	285.	285.
-8	606.	551.	504.	467.	430.	395.	372.	353.	340.	330.	329.	327.	323.	321.

TABLE A.62 Total cost at constant speed on grades - 3A SU truck - SI = 1.0 (\$/1000 mi)

GRADE %	5	10	15	20	25	30	SPEED mph 35	40	45	50	55	60	65	70
8	1869.	1595.	1388.	1210.	1216.	1230.	1245.	1274.	1313.	1359.	1398.	1440.	1500.	1557.
7	1689.	1445.	1265.	1114.	1116.	1127.	1140.	1167.	1200.	1242.	1275.	1314.	1370.	1422.
6	1518.	1305.	1152.	1027.	1025.	1032.	1042.	1066.	1093.	1129.	1161.	1194.	1245.	1295.
5	1355.	1173.	1047.	948.	942.	943.	950.	971.	993.	1024.	1052.	1081.	1131.	1172.
4	1206.	1053.	952.	877.	866.	862.	865.	883.	900.	925.	950.	978.	1018.	1058.
3	1065.	939.	863.	810.	794.	784.	784.	798.	810.	829.	850.	875.	915.	948.
2	942.	839.	782.	747.	723.	707.	700.	706.	711.	726.	751.	778.	811.	841.
1	852.	754.	704.	676.	643.	617.	606.	608.	610.	622.	646.	674.	703.	728.
0	786.	678.	610.	561.	533.	511.	499.	499.	498.	506.	520.	534.	561.	584.
-1	674.	544.	454.	461.	434.	415.	398.	392.	397.	409.	413.	418.	435.	452.
-2	687.	557.	467.	395.	363.	335.	304.	288.	277.	271.	344.	349.	362.	371.
-3	732.	599.	510.	441.	407.	379.	344.	330.	315.	305.	296.	287.	282.	272.
-4	796.	659.	570.	501.	466.	436.	406.	388.	371.	360.	348.	338.	331.	319.
-5	869.	730.	640.	573.	537.	506.	475.	456.	438.	426.	412.	398.	389.	375.
-6	951.	810.	721.	655.	617.	585.	555.	535.	515.	502.	486.	469.	458.	441.
-7	1045.	901.	812.	747.	707.	673.	643.	623.	602.	587.	568.	549.	536.	516.
-8	1142.	998.	911.	849.	808.	773.	740.	720.	698.	681.	660.	638.	623.	603.