

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Francisco Benvegnú Trojan

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE UMA NOVA PONTE
SOBRE O RIO SÃO DOMINGOS**

Porto Alegre

2020

FRANCISCO BENVENÚ TROJAN

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE UMA NOVA PONTE
SOBRE O RIO SÃO DOMINGOS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Daniel Sergio Presta Garcia

Porto Alegre

2020

FRANCISCO BENVENÚ TROJAN

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE UMA NOVA PONTE
SOBRE O RIO SÃO DOMINGOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Coordenador da atividade de ensino Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, agosto de 2020.

Prof. Daniel Sergio Presta Garcia
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Sergio Presta Garcia
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. João Fortini Albano
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Fernando Perin
Engenheiro Civil pela Universidade de Passo Fundo

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe por todo o amor e dedicação empregados durante toda a minha vida. Desde a época de estudos para o vestibular, em que eu passava o dia todo estudando em casa, foi você quem me ligava diariamente para me incentivar. Durante a faculdade, sempre se fez presente, seja preparando a marmita para eu levar no estágio no dia seguinte, seja comprando uma mochila reforçada para que eu pudesse carregar todos os itens necessários para encarar o dia fora de casa. Obrigado por sempre ter esse olhar de preocupação e cuidado. Obrigado por acreditar em mim, mesmo em momentos em que nem eu acreditava. Sem você, nada disso seria possível.

Agradeço ao meu pai pelo trabalho incansável ao longo da sua vida, e por todo o esforço empregado para fornecer à família as melhores condições possíveis. Graças a ti, sempre pude me dedicar integralmente ao estudo, sem precisar me preocupar com outras questões. Agradeço também pelo incentivo dado durante a realização deste trabalho, bem como pelas dicas sobre metodologia científica.

Agradeço ao professor Daniel Garcia pela disponibilidade em me orientar durante a realização deste trabalho, com orientações valiosas que forneceram uma luz em momentos em que eu não sabia como proceder.

Agradeço ao Prefeito de São Domingos do Sul, Eng. Fernando Perin, por prontamente se disponibilizar a tirar dúvidas e fornecer as informações preliminares no início do trabalho. Agradeço também aos engenheiros Carlos Toniolo (Superintendência de Obras-de-Arte Especiais) e André Pires (Equipe de Obras-de-Arte), bem como à engenheira Mara Bianchini (Superintendência de Pesquisas Rodoviárias), funcionários do DAER-RS, por me concederem as preciosas informações sobre as condições estruturais da ponte, sobre o projeto de construção da nova estrutura e dados de coleta de tráfego na ERS-129, respectivamente. Estes dados foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha namorada Carolina pelo incentivo e pela paciência nos momentos em que tive que dedicar atenção integral para a confecção do trabalho, bem como naqueles em que eu me encontrava ansioso e estressado. A tua presença tornou a atividade mais leve. Muito obrigado pela parceria.

Por fim, agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação intelectual ao longo da minha vida estudantil, bem como a todos os meus amigos que me acompanharam e auxiliaram ao longo da jornada.

O entusiasmo é o segredo do êxito.

Mons. João Benvegnú

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de viabilidade econômica simplificada da construção de uma nova ponte sobre o rio São Domingos, no km 169 da ERS-129, que tem por objetivo a substituição da estrutura existente no local. Esta consiste em uma ponte de faixa única operando com sentido alternado de tráfego, estabelecendo um ponto de gargalo que gera atrasos e aumenta o risco de acidentes no trecho da rodovia em questão. O trabalho foi dividido em duas partes: na primeira, realizou-se uma pesquisa bibliográfica a fim de constatar quais as medidas de segurança viária são recomendadas pela literatura técnica para aplicação em pontes de faixa única e sentido alternado; após, realizou-se um diagnóstico da ponte a ser substituída, a fim de determinar as suas características físicas e operacionais, necessárias para elencar as medidas de melhoria (consideradas paliativas) cabíveis de implementação e para a posterior realização da análise econômica. Dentre os aspectos analisados, destaca-se a adequação da sinalização viária no local, o volume de tráfego circulante, o atraso gerado pela estrutura, o histórico de acidentes e as condições estruturais da ponte. Ao final da primeira etapa do trabalho, verificou-se que todas as medidas de segurança recomendadas pela literatura já foram aplicadas no local – cabendo apenas a sua manutenção –, de forma que a única melhoria considerável a ser implementada é de fato a construção de uma nova ponte. A segunda parte do trabalho é focada especificamente na análise de viabilidade econômica. Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre métodos de análise econômica existentes, custos e benefícios relativos a projetos rodoviários e indicadores econômicos utilizados nas análises. Após a revisão, optou-se pela escolha da Análise Custo-Benefício, a qual foi aplicada para a determinação dos impactos econômicos a serem gerados pelo projeto. Para o cálculo dos custos, considerou-se apenas aqueles referentes à implantação do projeto; para o cálculo dos benefícios, considerou-se a redução nos tempos de viagem, a redução nos custos operacionais dos veículos (restrito ao consumo de combustível) e a redução de acidentes. Após a determinação dos custos e benefícios, realizou-se o fluxo de caixa do projeto ao longo da sua vida útil (20 anos), seguido pelo cálculo dos indicadores econômicos a fim de verificar a sua viabilidade. Após a análise, verificou-se que a construção da nova ponte somente se justifica caso seja observada uma redução considerável no número de acidentes no local, uma vez que os benefícios relativos à redução do tempo de viagem e do consumo de combustível são pequenos, e por si só não são suficientes para compensar os custos do projeto.

Palavras-chave: avaliação de viabilidade econômica; pontes estreitas; análise custo-benefício.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa	14
Figura 2 – Tipos de operação em pontes estreitas	16
Figura 3 – Exemplo de barreira de concreto	23
Figura 4 – Guarda-rodas de 90 cm de largura, localizado na ponte sobre o rio São Domingos, na ERS-129.....	23
Figura 5 – Exemplo de guarda-corpo de concreto. Fotografia tirada na ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129.	24
Figura 6 – Exemplo de defesa metálica. Fotografia tirada na ERS-129.	25
Figura 7 – Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas até o ano de 1960.	26
Figura 8 - Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas entre 1960 e 1975.	26
Figura 9 – Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas entre os anos de 1975 e 1985, bem como após 1985.....	26
Figura 10 – Imagem de satélite da ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129.....	30
Figura 11 – Imagem de satélite aproximada da ponte sobre o Rio São Domingos.....	30
Figura 12 – Desenho esquemático da seção transversal da ponte sobre o rio São Domingos.....	30
Figura 13 – Detalhe do acesso à ponte sobre o Rio São Domingos (sentido Casca – São Domingos).....	31
Figura 14 – Fluxo diário de veículos por sentido de tráfego.....	34
Figura 15 – Gráficos representando o fluxo horário diário ao longo da semana de coleta.	35
Figura 16 – Registro da formação de fila de veículos no acesso à ponte. Na imagem, pode-se observar três veículos na fila.	36
Figura 17 – Curvas relativas às projeções de tráfego realizadas	40
Figura 18 – Estados de ocupação de pontes de faixa única e sentido alternado	41
Figura 19 – Atraso diário total gerado em pontes de faixa única e sentido alternado, de acordo com o VDM e o comprimento da estrutura, para uma rodovia com velocidade de cruzeiro de 80 km/h.	43
Figura 20 – Detalhe de um caminhão trator trucado com semirreboque atravessando a ponte sobre o Rio São Domingos. A composição possui peso bruto total máximo de 48,5 toneladas.....	48
Figura 21 – Detalhe da travessia simultânea de dois caminhões sobre a ponte.	48

Figura 22 – Visão dos motoristas junto ao ponto de parada obrigatória para acesso à ponte, no sentido Casca – São Domingos do Sul.....	50
Figura 23 – Imagem aérea apresentando o ângulo de visão e a distância de visibilidade de travessia dos motoristas no sentido Casca – São Domingos do Sul.....	50
Figura 24 – Visão dos motoristas junto ao ponto de parada obrigatória para acesso à ponte, no sentido São Domingos do Sul – Casca.....	51
Figura 25 – Imagem aérea apresentando o ângulo de visão e a distância de visibilidade de travessia dos motoristas no sentido São Domingos do Sul – Casca.....	52
Figura 26 – Placas de advertência instaladas na rodovia, no sentido Casca – São Domingos do Sul.....	53
Figura 27 – Placas de advertência instaladas na rodovia, no sentido São Domingos do Sul - Casca.	53
Figura 28 – Posicionamento das placas de regulamentação de velocidade nas aproximações da ponte.	54
Figura 29 – Detalhe (1) da deterioração do pavimento nas proximidades da ponte.	55
Figura 30 – Detalhe (2) da deterioração do pavimento nas proximidades da ponte.	55
Figura 31 – Detalhe da ausência de módulos de concreto que compõem o guarda-corpo na lateral da ponte à jusante.	56
Figura 32 – Detalhe da ausência de módulos de concreto que compõem o guarda-corpo na lateral da ponte à montante.....	56
Figura 33 – Consumo de gasolina em função da velocidade do automóvel.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de pontes – condições rurais	15
Quadro 2 – Distância de visibilidade de parada mínima requerida de acordo com a velocidade de regulamentação	18
Quadro 3 – Valores de $f_{pa_{2anos}}$ para condições típicas	20
Quadro 4 – Classificação da intensidade de tráfego na estrutura.....	21
Quadro 5 – Melhorias em pontes estreitas – mão única na ponte com mão dupla na via.....	22
Quadro 6 – Resumo das características geométricas e estruturas de proteção lateral de pontes brasileiras.	25
Quadro 7 – Dados de coleta de tráfego realizada em janeiro/2019 na ERS-129 (trecho entre Casca e São Domingos do Sul).	33
Quadro 8 – especificação das cargas transportadas por classe de veículo.	34
Quadro 9 – Contagens volumétricas realizadas no trecho da ERS-129 em estudo, relativas aos anos de 2008 e 2019.....	38
Quadro 10 – Resultados das projeções de tráfego realizadas para a rodovia em estudo.	39
Quadro 11 – Atraso total diário e anual gerados na ponte em estudo.....	44
Quadro 12 – Histórico de acidentes ocorridos na rodovia ERS-129, entre os quilômetros 166 e 178, compreendendo o período de maio/2018 a maio/2020.	45
Quadro 13 – Notas conferidas aos diversos aspectos da ponte sobre o Rio São Domingos, em inspeção rotineira realizada em janeiro/2018.	47
Quadro 14 – Distâncias entre as placas de regulamentação de velocidade e o ponto de parada obrigatória, em ambos os sentidos de tráfego.....	54
Quadro 15 – Porcentagem de contribuição dos diferentes componentes na composição dos custos operacionais, de acordo com o tipo de veículo.	69
Quadro 16 – Referência de custos para a implantação da nova ponte.	73
Quadro 17 – Valor do tempo conforme o tipo de veículo.....	74
Quadro 18 – Valor do tempo após correção e composição de tráfego adotada na análise.....	75
Quadro 19 – Valoração das reduções dos tempos de viagem.	75
Quadro 20 – Monetização da redução do consumo de combustível.	78
Quadro 21 – Custo total e médio por gravidade acidente nas rodovias federais brasileiras. ..	79
Quadro 22 – Cálculo do custo médio anual dos acidentes.....	80
Quadro 23 – Valoração da redução de acidentes a ser contabilizada no cenário “b”	80
Quadro 24 – Fluxo de caixa do projeto para o cenário “a”	81

Quadro 25 – Fluxo de caixa do projeto para o cenário “b”	82
Quadro 26 – Indicadores econômicos do cenário “a”	83
Quadro 27 – Indicadores econômicos do cenário “b”	83
Quadro 28 – Condições de redução de acidentes necessárias para a garantia de viabilidade do projeto	84

LISTA DE SIGLAS

ACB: Análise Custo-Benefício

ACE: Análise Custo-Efetividade

B/C: Relação Benefício-Custo

CINTEA: Companhia Intermunicipal de Estradas Alimentadoras

CRBM: Comando Rodoviário da Brigada Militar

DAER: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DVP: Distância de Visibilidade de Parada

DVT: Distância de Visibilidade de Travessia

FPA: Fator Ponderado de Acidentes

HCM: Highway Capacity Manual

MCA: Multi-Criteria Analysis

OAE: Obra-de-Arte Especial

TIR: Taxa Interna de Retorno

VDM: Volume Diário Médio

VPL: Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. DIRETRIZES DA PESQUISA	13
2.1. QUESTÃO DA PESQUISA	13
2.2. OBJETIVO DO TRABALHO	13
2.3. HIPÓTESE.....	13
2.4. DELIMITAÇÃO.....	13
2.5. LIMITAÇÕES	13
2.6. DELINEAMENTO	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PONTES ESTREITAS.....	15
3.1. TIPOS DE OPERAÇÃO	16
3.2. POTENCIALIDADE DE PERIGO	17
3.3. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA	20
3.3.1. Estruturas de proteção lateral.....	22
3.3.2. Controle de tráfego em pontes estreitas	26
4. CARACTERIZAÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO SÃO DOMINGOS	29
4.1. LOCALIZAÇÃO	29
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA.....	30
4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DA PONTE ATUAL	32
4.4. TRÁFEGO	33
4.4.1. Tráfego atual.....	33
4.4.2. Estimativa de demanda futura	36
4.5. ESTIMATIVA DO ATRASO GERADO PELA ESTRUTURA	40
4.6. HISTÓRICO DE ACIDENTES.....	44
4.7. DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA	45
4.7.1. Condições estruturais	46
4.7.2. Medidas de segurança de tráfego	49
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ANÁLISE ECONÔMICA.....	58
5.1. MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	59
5.1.1. Análise Custo-Benefício	59
5.1.2. Análise Custo-Efetividade.....	61
5.1.3. Análise Multicritério	61
5.2. INDICADORES ECONÔMICOS	62

5.2.1.	Valor Presente Líquido (VPL)	63
5.2.2.	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	64
5.2.3.	Relação Benefício-Custo (B/C)	65
5.3.	CUSTOS RODOVIÁRIOS.....	66
5.4.	BENEFÍCIOS DE UM PROJETO RODOVIÁRIO	67
5.4.1.	Redução do tempo de viagem	67
5.4.2.	Redução de acidentes	68
5.4.3.	Redução dos custos operacionais dos veículos	68
6.	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PONTE EM ESTUDO	71
6.1.	ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE.....	71
6.2.	DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE MELHORIA	71
6.3.	CÁLCULO DOS CUSTOS	72
6.3.1.	Custo de implantação	73
6.3.2.	Custos de conservação e operação	73
6.4.	CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS	74
6.4.1.	Redução do tempo de viagem	74
6.4.2.	Redução do custo operacional dos veículos.....	76
6.4.3.	Redução do número de acidentes	78
6.5.	COMPOSIÇÃO DO FLUXO DE CAIXA DO PROJETO	81
6.6.	CÁLCULO DOS INDICADORES ECONÔMICOS	82
6.7.	CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO.....	83
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A	89
	APÊNDICE B.....	92
	ANEXO A	94
	ANEXO B	95
	ANEXO C	96

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte é um pré-requisito – apesar de não ser garantia – para o desenvolvimento econômico (Adler, 1987). Isso é particularmente verdade em regiões ou países onde a agropecuária e a indústria são atividades relevantes: para o seu desenvolvimento, o agronegócio requer a disponibilidade de sementes, fertilizantes, entre outros insumos, bem como o acesso dos produtores aos mercados consumidores, os quais geralmente se encontram distantes da zona de produção; a indústria, por sua vez, requer o transporte eficiente de matéria prima, bem como de produtos finalizados.

O escoamento destes insumos e produtos se dá através dos diversos modais de transporte disponíveis. Dessa forma, quanto mais eficiente, equilibrada e integrada for a rede de transportes como um todo, menores tendem a ser os preços finais das mercadorias, gerando um aumento de competitividade e de receitas para a região. No Brasil, entretanto, não se observa este equilíbrio. De acordo com a CNT (2014), 61,1% do transporte de cargas no Brasil é feito por rodovias, comprovando a grande dependência do modal rodoviário. Entretanto, apesar da relevância, observa-se uma grande carência de investimentos no setor: atualmente, apenas 12,4% da malha rodoviária total brasileira é pavimentada; destas, apenas 10,6% são duplicadas (CNT, 2019).

No que diz respeito ao estado do Rio Grande do Sul, a dependência com relação ao modal rodoviário é ainda maior: de acordo com o Plano Estadual de Logística de Transporte (2014), o modal rodoviário representou 88% do total transportado no estado, valor este bem superior à média nacional. Apesar disso, apenas 9% da malha total gaúcha é pavimentada (CNT, 2014).

A precariedade da malha viária se deve principalmente aos altos investimentos necessários para a implementação de novos trechos de rodovia, bem como para a duplicação e conservação dos trechos existentes. Dessa forma, as restrições orçamentárias dos cofres públicos fazem com que recursos limitados sejam disputados com outras áreas igualmente importantes, tais como saúde e educação, cabendo aos órgãos públicos a decisão de qual área deve ser priorizada. Uma vez que os recursos são escassos, torna-se necessária a garantia de que, quando um projeto for executado, este será relevante e não incorrerá em desperdício de recursos públicos. É nesse contexto que surge a necessidade de realização de uma análise de viabilidade econômica.

A análise de viabilidade econômica consiste em uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão para a escolha entre diversos tipos de investimento ou diferentes alternativas de projeto. Como o próprio nome indica, consiste em uma série de análises que, a partir da monetização dos custos e benefícios decorrentes da implantação de um projeto, buscam identificar se este é ou não economicamente viável. Tais análises tendem a ser complexas, uma vez que devem considerar toda a vida útil do projeto – que no caso das rodovias gira em torno de 20 anos – estabelecendo um fluxo de caixa ao longo do tempo e

utilizando indicadores econômicos para a comparação entre o retorno mínimo esperado e o que realmente tende a ser obtido.

Inicialmente composto por estrada de chão, o trecho da ERS-129 que liga os municípios de Casca e São Domingos do Sul, ambos localizados no estado do Rio Grande do Sul, teve sua pavimentação concluída em 2008. A partir de então, com o desenvolvimento da região e o aumento da produção, observou-se um incremento de 208% do volume diário médio anual (VDM) de veículos em 11 anos, passando de 756 (DAER, 2008) para 2330¹ em 2019. Apesar do aumento de tráfego, não houve melhorias significativas na infraestrutura do trecho, com destaque à ponte sobre o Rio São Domingos. Com 63 m de comprimento e 3,7 m de largura de pista, esta consiste em uma ponte de faixa única, de forma que, para que o tráfego de um sentido da rodovia possa atravessá-la, o sentido oposto deve aguardar. Assim, a estrutura consiste em um ponto de gargalo, gerando atrasos e aumentando o risco de acidentes no local.

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo a análise de viabilidade econômica da construção de uma nova ponte sobre o Rio São Domingos, a fim de substituir a estrutura defasada existente no local. Para tal, serão comparados os custos de construção do projeto frente aos benefícios por ele gerados em um período de 20 anos, dentre eles a redução dos tempos de viagem, do número de acidentes e dos custos operacionais dos veículos. Adicionalmente, será realizada uma revisão bibliográfica visando identificar as alternativas de melhoria passíveis de serem implementadas no local, a fim de garantir o incremento das condições de segurança e a otimização do fluxo de veículos até que a construção da nova estrutura se concretize.

¹ Valor coletado pelo DAER, em janeiro de 2019. O VDM observado supera em 56% a estimativa realizada pelo Plano Estadual de Logística de Transporte (2014) para o ano de 2019 no mesmo trecho, cujo valor estimado foi de 1490 veículos diários.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1. QUESTÃO DA PESQUISA

A questão de pesquisa é: a construção de uma nova ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129, é economicamente viável?

2.2. OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem por objetivo a realização de uma análise de viabilidade econômica simplificada sobre a construção de uma nova ponte sobre o Rio São Domingos, a fim de substituir a estrutura atual, localizada no km 169 da ERS-129.

2.3. HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que a construção de uma nova ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129, será economicamente viável, visto que a estrutura atual representa um importante gargalo em uma rodovia cujo tráfego de veículos (especialmente os de carga) encontra-se em plena ascensão.

2.4. DELIMITAÇÃO

Análise dos impactos econômicos da construção da nova estrutura, utilizando dados de estudo de tráfego fornecidos pelo DAER-RS e histórico de acidentes fornecido pelo Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM-RS). A análise não inclui aspectos como desenvolvimento econômico e aumento de conforto gerados pela implantação do projeto.

2.5. LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são as seguintes:

- a) serão considerados como custos do projeto apenas aqueles relativos à implantação da estrutura;
- b) não serão considerados os custos referentes à demolição da estrutura atual, nem aqueles referentes à realização de aterros e pavimentação necessários para a conformação do traçado da rodovia à nova ponte;
- c) não serão considerados os impactos ambientais gerados pela implantação do projeto;
- d) dentre os custos operacionais dos veículos, considerou-se somente o consumo de combustível;
- e) para fins de cálculo dos benefícios relativos à redução do consumo de combustível, será considerado que o combustível utilizado por todos os veículos é a gasolina;

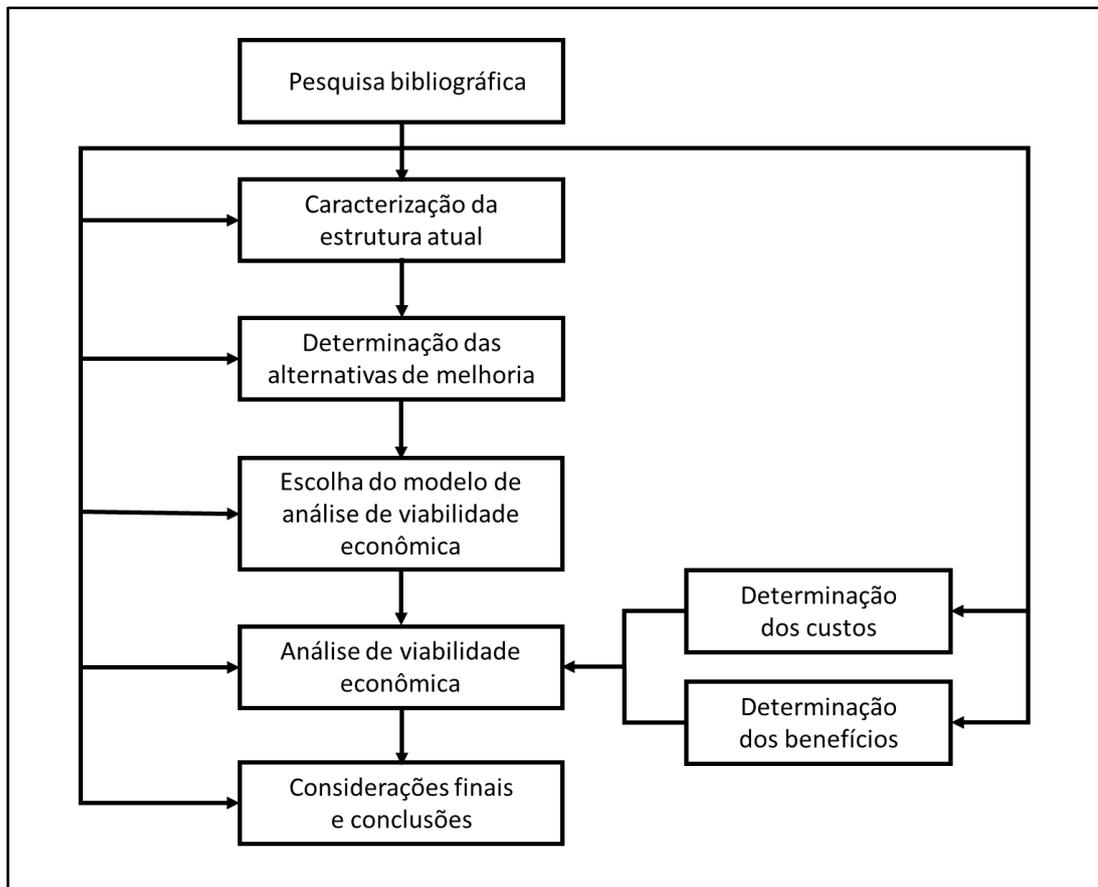
- f) as projeções realizadas consideram que a proporção dos diferentes tipos de veículos na composição de tráfego permanecerá constante ao longo do horizonte de projeto.

2.6. DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das seguintes etapas:

- a) revisão bibliográfica sobre pontes estreitas;
- b) caracterização dos aspectos físicos e operacionais da ponte atual;
- c) determinação das alternativas de melhoria a serem analisadas;
- d) revisão bibliográfica sobre análise de viabilidade econômica
- e) escolha do método de análise econômica a ser aplicado no estudo de caso.
- f) determinação dos custos do projeto;
- g) determinação dos benefícios do projeto;
- h) aplicação da análise de viabilidade econômica;
- i) considerações finais e conclusões.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



Fonte: O autor (2020)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PONTES ESTREITAS

Neste capítulo será realizada uma breve revisão sobre pontes estreitas. Devido ao avanço nos padrões de segurança de trânsito a serem adotados nas rodovias, pontes estreitas não são mais construídas atualmente, de forma que as estruturas existentes são, na sua grande maioria, antigas e construídas de acordo com normas técnicas ultrapassadas. Dessa forma, há pouco material na literatura técnica atual contendo recomendações de segurança para este tipo de estrutura. Assim sendo, todas as informações citadas ao longo deste capítulo foram retiradas do Manual de Pontes Estreitas, realizado de forma conjunta pelo DENATRAN, DNER (atual DNIT) e UFRJ e publicado em 1979. Este manual preconiza procedimentos a serem adotados com o objetivo de melhorar as condições de segurança do trânsito e do nível de serviço operacional das vias nos pontos críticos caracterizados pela existência de pontes estreitas.

Para fins de classificação, o manual considera que, em se tratando de rodovias rurais, pontes estreitas são aquelas cujas larguras são inferiores à via de acesso, bem como aquelas cujas características são iguais ou inferiores aos valores indicados no Quadro 1:

Quadro 1 – Classificação de pontes – condições rurais

Tipo de Operação	Classe de Projeto	Largura Crítica (Lc)
Vias de mão dupla	Classes 0 e I	$N \times 3,60 + 6,00$
	Classe II	$N \times 3,60 + 5,00$
	Classe III	$N \times 3,50 + 4,60$
	Classe IV	$N \times 3,30 + 4,60$
Vias de mão única	Classes 0 e I	$N \times 3,60 + 4,10$ se $N \leq 2$
		$N \times 3,60 + 5,50$ se $N > 2$
	Classe II	$N \times 3,60 + 3,60$
	Classe III	$N \times 3,50 + 2,90$
	Classe IV	$N \times 3,30 + 2,90$

Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

Onde:

Ponte estreita se $L_p < L_c$;

Largura da ponte (L_p) – largura livre entre guias ou largura disponível para uso do tráfego veicular;

Largura crítica (L_c) – representa condições aceitáveis para cada classificação viária, baseada nas diretrizes do DNER;

N – número de faixas.

A revisão será subdividida nos respectivos itens:

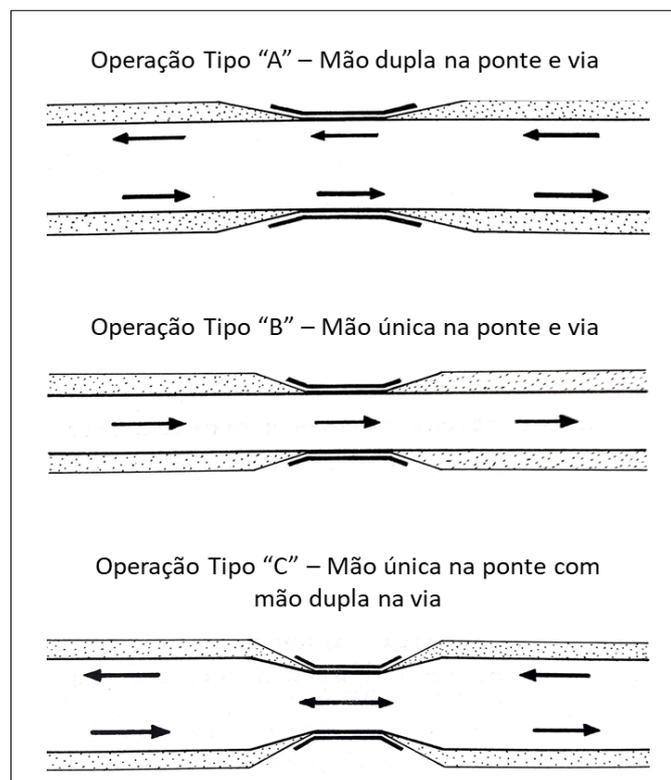
- Tipos de operação;
- Potencialidade de perigo;
- Recomendações de segurança.

3.1. TIPOS DE OPERAÇÃO

Três tipos de operação são observados em pontes estreitas:

- Operação Tipo “A” – Mão dupla na ponte e via;
- Operação Tipo “B” – Mão única na ponte e via;
- Operação Tipo “C” – Mão única na ponte com mão dupla na via.

Figura 2 – Tipos de operação em pontes estreitas



Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

Dentre os três tipos, a situação mais restrita ocorre quando existe operações de mão dupla nas vias de acesso e de mão única, com sentido alternado, na ponte. Este tipo de operação apresenta a maior potencialidade de perigo, e é encontrado com maior frequência nas vias de categorias mais baixas ou em casos onde limitações de recursos resultaram em construções parciais.

Uma vez que o estudo de caso a ser abordado neste trabalho trata de uma ponte cuja operação é do Tipo “C”, os próximos itens abordarão recomendações pertinentes especificamente a este tipo de operação.

3.2. POTENCIALIDADE DE PERIGO

As pontes estreitas representam uma descontinuidade no ambiente da via, isto é, uma alteração da expectativa do motorista com relação às condições da via experimentadas nos trechos anteriores, principalmente naquelas de classe mais alta. Assim, quanto mais alta a classe da rodovia, melhores condições são esperadas e, conseqüentemente, maiores serão os impactos de estruturas mal sinalizadas e de dimensões precárias.

As características operacionais e físicas do trecho da via onde se localiza a ponte estreita definem a probabilidade de ocorrência de situações perigosas e, portanto, de possíveis acidentes. Assim, torna-se necessário primeiramente identificar estas características para, posteriormente, escolher o tipo de melhoria apropriado para as necessidades locais, que pode variar desde uma simples adequação da sinalização até soluções mais onerosas, como o alargamento ou a reconstrução da ponte.

Dentre as características operacionais, pode-se citar a influência do volume e da composição do tráfego na estrutura, de forma que pontes com a mesma característica física podem apresentar potencialidades de perigo distintas. Assim, quanto maior o volume do tráfego de veículos, bem como quanto maior for a porcentagem de veículos comerciais na sua composição, maior é a probabilidade de ocorrência de acidentes.

Dentre as características físicas mais importantes, o manual cita aspectos como largura e extensão da ponte, bem como características geométricas dos acessos. Maior ênfase é dada nestas últimas, uma vez que envolve alguns conceitos importantes, conforme citados abaixo:

- Distância de visibilidade de travessia: é o trecho, ao longo da rodovia, visível ao motorista que se encontra parado nas proximidades da ponte, aguardando o instante oportuno de travessia. A segurança dos usuários nas pontes de operação Tipo “C” é diretamente relacionada com a capacidade do motorista em identificar o tráfego oposto e decidir corretamente quando atravessar

a ponte. Segundo o manual, pontes com mais de 20 metros de extensão provavelmente não permitem uma decisão segura, sendo classificadas como tendo uma “Visibilidade Restrita”.

- Distância de visibilidade de parada (DVP): consiste na distância mínima necessária que possibilite a parada segura de um veículo, trafegando perto ou na velocidade máxima permitida (velocidade diretriz), antes de alcançar um objeto na pista.

Para o cálculo da DVP, deve-se levar em consideração dois momentos distintos: o primeiro consiste na distância percorrida durante o tempo de percepção e reação, que compreende no intervalo entre a detecção do obstáculo por parte do motorista e o acionamento do sistema de freios; o segundo consiste na distância percorrida durante o tempo de frenagem, que compreende no intervalo entre o início do acionamento do sistema de freios e a parada total do veículo. O manual fornece uma tabela contendo a DVP mínima recomendada de acordo com a velocidade de aproximação do veículo, conforme demonstrada abaixo, calculada usando um tempo de percepção e reação de 2,5 segundos, em situação de asfalto molhado e trecho da via em nível.

Quadro 2 – Distância de visibilidade de parada mínima requerida de acordo com a velocidade de regulamentação

Velocidade do Veículo (km/h)	Distância de Visibilidade de Parada (m)
10	8
20	18
30	30
40	44
50	62
60	84
70	109
80	137
90	169
100	201
110	241
120	286

Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

Caso a distância de visibilidade existente nas imediações da ponte seja inferior aos valores exigidos e não for possível aumentá-la, deve-se reduzir o limite de velocidade através da instalação de placas de regulamentação.

Ainda de acordo com o manual, a potencialidade de perigo de uma ponte estreita está diretamente relacionada com o número e a gravidade dos acidentes que ali ocorrem durante um determinado período de tempo. Assim, é sugerido o cálculo de um fator de representação da ocorrência de acidentes para tornar possível a comparação do nível de segurança entre pontes semelhantes e para o estabelecimento de prioridades. O Fator Ponderado de Acidentes ($FPA_{2\text{ anos}}$) representa a intensidade e a severidade dos acidentes ocorridos durante os dois últimos anos e causados por influência da ponte estreita. Assim, normalmente consideram-se os acidentes que ocorrem no trecho da rodovia que inclui a ponte e mais dois segmentos de 100 metros, um para cada extremidade da mesma. O $FPA_{2\text{ anos}}$ é calculado através da Fórmula 1, apresentada abaixo:

$$FPA_{2\text{ anos}} = 9,5 * M + 3,5 * F + D \quad (1)$$

Onde:

$FPA_{2\text{ anos}}$ – Fator Ponderado de Acidentes observado no local para dois anos;

M – Número de acidentes com mortos, em dois anos;

F – Número de acidentes com feridos, em dois anos;

D – Número de acidentes com apenas danos materiais, em dois anos.

Um elevado FPA representa condições mais perigosas do que as condições típicas esperadas para uma ponte estreita. Um valor de referência esperado para condições típicas ($fpa_{2\text{ anos}}$) pode ser determinado através da análise dos dados de acidentes ocorridos em pontes de características semelhantes à ponte em estudo. Onde não forem possíveis essas análises, o manual fornece valores generalizados para comparação, de acordo com as características da rodovia na qual a estrutura está inserida. Estes valores são apresentados no Quadro 3.

Dessa forma, em locais onde o $FPA_{2\text{ anos}} > fpa_{2\text{ anos}}$, considera-se que a ponte estreita apresenta um risco elevado aos usuários, requerendo melhorias mais completas e eficientes.

Quadro 3 – Valores de $f_{pa_{2anos}}$ para condições típicas

			fpa 2 anos
Pontes localizadas em:	Áreas Urbanas	Vias Expressas	5
		Vias Arteriais	4
		Vias Coletoras	3
		Vias Locais	2
	Áreas Rurais	Vias de Classe 0	7
		Vias de Classe I	6
		Vias de Classe II	4
		Vias de Classe III	3
		Vias de Classe IV	2

Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

3.3. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

O manual elenca os seguintes tipos de melhoria para pontes estreitas de operação Tipo “C”, representando as condições mais típicas para as várias graduações de proteção:

- Melhoria Tipo C.1 – Placas de advertência;
- Melhoria Tipo C.2 – Sinalização Completa;
- Melhoria Tipo C.3.a – Sinalização completa com defensas – sem semáforos;
- Melhoria Tipo C.3.b – Sinalização completa com defensas – com semáforos;
- Melhoria Tipo C.4.a – Reconstrução do guarda-corpo – sem semáforos;
- Melhoria Tipo C.4.b – Reconstrução do guarda-corpo – com semáforos;
- Melhoria Tipo C.5 – Alargamento da ponte;
- Melhoria Tipo C.6 – Reconstrução da ponte.

Dentre todas as melhorias, as que apresentam melhor efetividade com relação ao aumento de segurança dos usuários são aquelas que compreendem o alargamento ou reconstrução da ponte. Tais melhorias, no entanto, requerem um estudo de viabilidade específico para cada caso, tornando difícil a generalização das instruções. Assim, o manual fornece detalhes sobre cada um dos demais tipos de melhoria, mais simples e menos onerosos, e cuja aplicabilidade pode ser generalizada para diversos casos.

Para auxiliar na escolha da alternativa de melhoria mais adequada, o manual fornece tabelas que permitem relacionar os diversos fatores que afetam a segurança nas pontes estreitas – tais como extensão, volume diário e classe da rodovia – com os tipos de melhoria a serem adotados. Inicialmente, é necessário realizar a classificação da intensidade do tráfego atendido pela ponte, a qual é função da classe da rodovia na qual a estrutura está inserida e do tráfego médio diário (TMD) por ela atendido. Segue abaixo o quadro fornecido pelo manual:

Quadro 4 – Classificação da intensidade de tráfego na estrutura

	Tráfego Médio Diário (TMD)		
	Alto	Médio	Baixo
Vias de Classe II	> 2000	700 - 2000	< 700
Vias de Classe III	> 1500	500 - 1500	< 500
Vias de Classe IV	> 1000	300 - 1000	< 300

Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

Em seguida, relaciona-se a intensidade do tráfego, obtida na tabela anterior, com dados de visibilidade da ponte e classe da rodovia na qual está inserida, obtendo-se assim a melhoria recomendada – conforme apresentado no Quadro 5. Para fins de classificação, o manual considera que todas as pontes com comprimento superior a 20 metros possuem condições de visibilidade restritas, de forma que medidas de segurança mais completas são sugeridas nestes casos.

Ao final do trabalho, anexou-se o desenho esquemático fornecido pelo manual, correspondente ao tipo de melhoria sugerido para a situação da ponte analisada no estudo de caso (conforme será visto no capítulo 4). Este desenho contém considerações sobre os tipos de placa de advertência a serem instaladas, bem como o distanciamento adequado para a sua instalação, além de detalhes de marcações no pavimento e instalação de defensas.

A seguir, será realizada uma breve revisão de alguns itens de segurança utilizados em pontes, a fim de facilitar o entendimento das recomendações que constam no manual. Estes itens serão subdivididos em estruturas de proteção lateral e métodos de controle de tráfego em pontes estreitas.

Quadro 5 – Melhorias em pontes estreitas – mão única na ponte com mão dupla na via

				Classe de Rodovia 0 e I	Classe de Rodovia II	Classe de Rodovia III	Classe de Rodovia IV
E ≤ 20 m	Visibilidade "Boa"	TMD	Baixo	O tipo de operação "C" não se aplica para estas classes de rodovia.	C-2	C-1	C-1
			Médio		C-3a	C-2	C-1
			Alto		C-3b	C-3a	C-2
	Visibilidade "Restrita"	TMD	Baixo		C-3b	C-3b	C-1
			Médio		C-3b	C-3b	C-2
			Alto		C-3b	C-3b	C-3b
E > 20 m	TMD	Baixo	C-3b		C-3b	C-1	
		Médio	C-3b		C-3b	C-3b	
		Alto	C-3b		C-3b	C-3b	

Fonte: Manual de Pontes Estreitas (DNER, 1979)

3.3.1. Estruturas de proteção lateral

Com o objetivo de garantir a segurança de motoristas e pedestres, é obrigatória a utilização de dispositivos básicos de proteção em pontes. Conforme o passar dos anos, em decorrência do aumento do tráfego e das cargas transportadas nas rodovias, as normas técnicas de construção de pontes foram sendo atualizadas, contemplando estruturas cada vez mais robustas e seguras. Pontes estreitas de sentido alternado são, entretanto, estruturas defasadas provenientes de normas antigas, com exigências mais brandas com relação à segurança dos usuários.

Serão apresentadas as estruturas básicas de segurança em pontes, quais sejam barreiras de concreto, guarda-corpo, guarda-rodas e defensas.

- a) **Barreira de concreto:** segundo o Manual de Projetos de Obras-de-Arte (DNER, 1996), barreiras de concreto armado são dispositivos de proteção lateral, que devem ter altura, capacidade resistente e perfil interno adequados para impedir a queda de um veículo desgovernado, absorver o choque lateral e propiciar a sua recondução à faixa de tráfego. O órgão adotou a utilização do padrão "New Jersey" no país, cujo detalhe é apresentado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Exemplo de barreira de concreto



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, DNIT, IPR, 2004

- b) **Guarda-rodas:** estes dispositivos consistem em peças de concreto fracamente armadas, podendo ser maciças ou não, nas quais se engastam peças pré-moldadas de concreto que compõem o guarda-corpo. Consistem em meros balizadores de tráfego, que pouca ou nenhuma proteção oferecem aos veículos. Encontram-se em pontes antigas dois modelos de guarda-rodas, ambos com altura de 0,3 m, quais sejam: os de largura 0,55 m (com 0,35 m de largura livre) e os de largura 0,9 m (com 0,70 m de largura livre).

Figura 4 – Guarda-rodas de 90 cm de largura, localizado na ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129.



Fonte: O autor (2020)

- c) **Guarda-corpos:** consistem em elementos de proteção exclusiva para pedestres, podendo ser constituídos por elementos pré-moldados de concreto ou por módulos metálicos. As peças de concreto possuem dois modelos padrão, com 0,6 m de altura nos guarda-rodas de 0,5 m de largura e de 0,9 m ou 1 m nos guarda-rodas de 0,9 m de largura, ambos modelos com o comprimento básico de 2,0 m. São estruturas pesadas e antiestéticas, mas que demandam menos manutenção. Os módulos metálicos, por sua vez, são mais leves, mas por vezes antieconômicos, uma vez que exigem manutenção obrigatória e periódica e estão sujeitos a roubos.

Figura 5 – Exemplo de guarda-corpo de concreto. Fotografia tirada na ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129.



Fonte: O autor (2020)

- d) **Defensas:** consistem em um anteparo metálico utilizado nas estradas de rodagem para evitar ou diminuir as possíveis más consequências oriundas de veículos desgovernados. Podem ser utilizadas em diversas situações que envolvam obstáculos laterais e objetos que possam oferecer risco, além de serem instaladas também em estradas com pistas separadas com canteiros centrais estreitos e pistas em aterros altos e/ou com taludes íngremes. No caso das pontes, são utilizadas para evitar a colisão entre os veículos e as estruturas de contenção lateral, direcionando o tráfego na direção correta.

Figura 6 – Exemplo de defesa metálica. Fotografia tirada na ERS-129.



Fonte: O autor (2020)

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004), as estruturas de proteção citadas acima são utilizadas em diversas configurações na malha federal, conforme os critérios vigentes na época do projeto e construção das obras-de-arte. Assim, observa-se uma grande heterogeneidade entre as seções transversais das pontes brasileiras. Entretanto, obras que não tiveram suas características alteradas, ou que sofreram pequenas alterações, podem ser facilmente identificadas no que se refere à época do projeto e à sua classe. As estruturas são subdivididas nos quatro grupos seguintes:

- Pontes projetadas até 1960;
- Pontes projetadas de 1960 a 1975;
- Pontes projetadas de 1975 a 1985;
- Pontes projetadas após 1985.

Segue abaixo um quadro resumo com as principais características de cada um dos modelos:

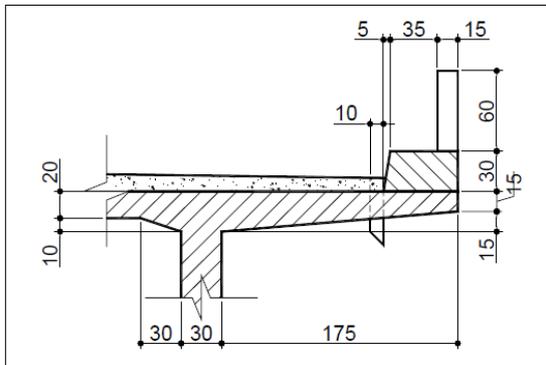
Quadro 6 – Resumo das características geométricas e estruturas de proteção lateral de pontes brasileiras.

Ano de Projeto	Largura Total (m)	Largura de Pista (m)	Classe	Estrutura de Proteção Lateral	Norma Técnica Vigente
Até 1960	8,3	7,2	24	Dois guarda-rodas de 0,55 m Dois guarda-corpos de 0,15/0,60 m	NB-1/1946 NB-2/1946
De 1960 à 1975	10,0	8,2	36	Dois guarda-rodas de 0,9 m Dois guarda-corpos de 0,15/0,90 m	NB-1/1960 NB-1/1961 NB-1/1962
De 1975 à 1985	≥ 10,8	≥ 10,0	36	Barreiras New Jersey de 0,4 m	NB-1/1978 NB-2/1960 NB-6/1960
Após 1985	12,8	12,0	45	Barreiras New Jersey de 0,4 m	NB-1/1978 NB-2/1987 NB-6/1982 (NBR 7488/84)

Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004)

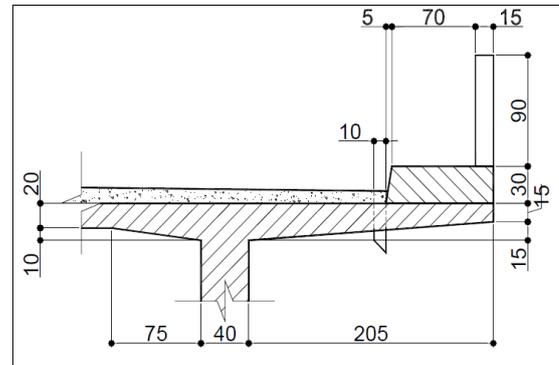
Nas imagens abaixo, são demonstrados os detalhes construtivos das estruturas de contenção lateral de cada um dos modelos apresentados no Quadro 6:

Figura 7 – Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas até o ano de 1960.



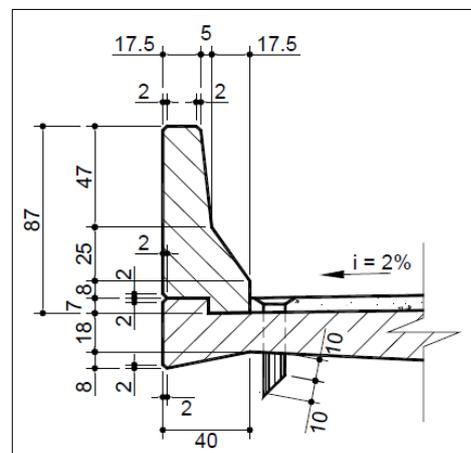
Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004)

Figura 8 - Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas entre 1960 e 1975.



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004)

Figura 9 – Detalhe da estrutura de contenção lateral típica de pontes construídas entre os anos de 1975 e 1985, bem como após 1985



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004)

3.3.2. Controle de tráfego em pontes estreitas

Conforme demonstrado no item anterior, uma das melhorias propostas pelo manual de pontes estreitas consiste na instalação de semáforos. No entanto, não são fornecidas maiores informações acerca do tipo de semáforo a ser utilizado – que pode ser de tempo fixo ou atuado pelo tráfego. Também não são realizadas considerações sobre a priorização de um sentido de tráfego através da utilização de placas de sinalização, buscando-se a diminuição das filas e a otimização da capacidade da estrutura. Assim,

considerou-se relevante a realização de uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, a fim de buscar comprovar a efetividade da utilização de semáforos para o caso de pontes estreitas, além de identificar as situações nas quais a sua aplicação se mostra mais adequada.

Um estudo realizado pelo Laboratório de Pesquisas de Transporte (TRL) do Reino Unido (1982) buscou comparar as performances entre os métodos de controle de tráfego em pontes de faixa única e sentido alternado através de simulações computacionais. Segundo o estudo, os principais métodos de controle utilizados são:

- a) Sentido preferencial não especificado;
- b) Sinalização de sentido preferencial;
- c) Semáforos;

Para a realização das simulações, considerou-se no modelo computacional um tipo de semáforo atuado provisório (móvel), utilizado em situações de obra na pista com obstrução na via, e cujo sistema é considerado relativamente simples. Dessa forma, ressalta-se no estudo que a adoção de semáforos atuados permanentes com detectores mais sofisticados tende a resultar em uma melhor otimização do fluxo através da flexibilização dos ciclos semaforicos, reduzindo assim os atrasos. A utilização destes equipamentos, no entanto, não foi considerada.

Dentre as conclusões obtidas, destaca-se a de que quanto maior o grau de priorização de um sentido de tráfego sobre o outro, maiores os atrasos gerados e menor a capacidade de fluxo da ponte. Assim, caso sejam atendidas as condições de visibilidade no local, a não especificação de sentido preferencial mostrou-se o método com melhor otimização do fluxo de veículos. Dentre os três métodos utilizados em pontes estreitas, o controle semaforico foi o que apresentou maiores atrasos. No entanto, a sua utilização se torna obrigatória para comprimentos de ponte superiores a 100 metros, distância a partir da qual o julgamento dos motoristas quanto às condições de travessia passa a ser prejudicado. Por fim, ressalta-se que podem haver diferenças entre os métodos com relação à segurança dos usuários, aspecto este que não foi analisado pelo estudo.

Não foram encontrados outros estudos que buscassem avaliar o desempenho de métodos de controle de tráfego incluindo a aplicação de semáforos atuados permanentes em pontes estreitas.

Na prática, encontrou-se exemplos de utilização de semáforos somente em casos de trechos muito longos e/ou com visibilidade extremamente restrita. Pode-se citar o caso da Nova Zelândia, onde, devido ao baixo volume de tráfego e restrições orçamentárias, diversas pontes de faixa única foram construídas no século passado, sendo estas paulatinamente substituídas – em 2015, contabilizou-se um total de 158 pontes estreitas ao longo da malha rodoviária do país. Dentre estas, observou-se a utilização de semáforos somente em pontes de extensão superior a 100 metros. São os casos das pontes de Beawmont (160 m),

Kawarau Falls (150 m) e Albert Town (115 m). A maioria das pontes estreitas, no entanto, opera sob o sistema de sinalização de sentido preferencial. Já no Brasil, não foram encontrados casos de utilização de semáforos em pontes de sentido alternado.

4. CARACTERIZAÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO SÃO DOMINGOS

Uma vez analisadas todas as recomendações técnicas pertinentes a pontes estreitas, com enfoque nas estruturas de operação do tipo “C”, neste capítulo serão abordadas todas as informações relevantes acerca da ponte sobre o Rio São Domingos, estrutura esta que compõe o estudo de caso do presente trabalho. Tais informações serão necessárias para identificar as atuais condições operacionais e físicas da estrutura, que serão comparadas com as recomendações técnicas apresentadas no capítulo 3. Assim, será possível identificar as alternativas de melhoria a serem adotadas (caso necessário), melhorias estas cuja viabilidade será avaliada juntamente com a opção de duplicação.

O presente capítulo será dividido da seguinte maneira:

- Localização;
- Caracterização da estrutura;
- Considerações sobre a substituição da ponte atual;
- Tráfego;
- Estimativa do atraso gerado pela estrutura;
- Histórico de acidentes;
- Diagnóstico da segurança da estrutura.

4.1. LOCALIZAÇÃO

A ponte sobre o Rio São Domingos localiza-se no km 169 da rodovia estadual ERS-129 (código 129ERS0210), no trecho situado entre os municípios de Casca e São Domingos do Sul, ambos no estado do Rio Grande do Sul. Este trecho da rodovia, cuja extensão é de 11,57 km entre as duas cidades – iniciando no km 166,76 (Casca) até o km 178,33 (São Domingos do Sul) –, é completamente pavimentado, de pista simples e situa-se em terreno montanhoso. Por conter rampas que atingem inclinação de 8%, o trecho da rodovia pode ser enquadrado como sendo de classe III, segundo os parâmetros de projeto para rodovias estaduais que constam na Norma de Projetos Rodoviários (DAER-RS, 1991).

Figura 10 – Imagem de satélite da ponte sobre o Rio São Domingos, na ERS-129.



Fonte: Google Earth (data da imagem: 20/02/2019)

Figura 11 – Imagem de satélite aproximada da ponte sobre o Rio São Domingos.

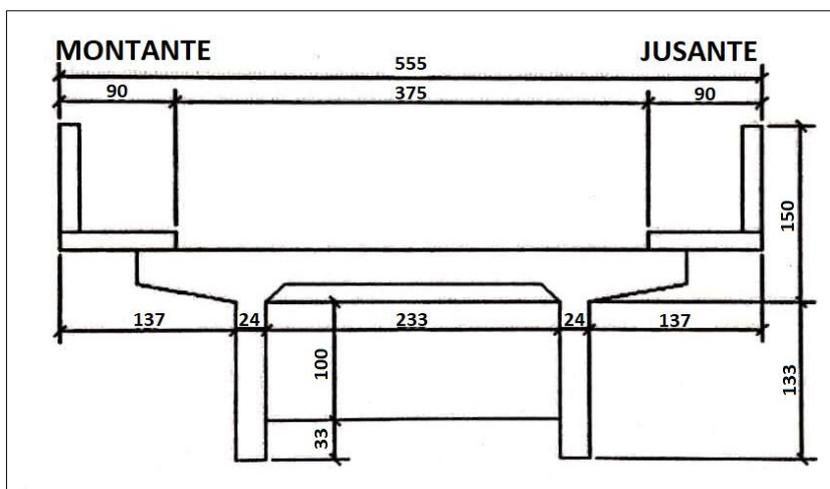


Fonte: Google Earth (data da imagem: 20/02/2019)

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA

A ponte consiste em uma estrutura de concreto armado, com 63 metros de extensão e largura total de 5,55 metros, a qual abrange a pista, com largura de 3,75 metros, e dois guarda-rodas de 0,9 metros cada, conforme ilustração da seção transversal. Dessa forma, consiste em uma ponte de faixa única e sentido alternado em uma rodovia de mão dupla, de forma que sua operação é do Tipo “C”.

Figura 12 – Desenho esquemático da seção transversal da ponte sobre o Rio São Domingos.



Fonte: Ficha de Inspeção Cadastral – DAER

Figura 13 – Detalhe do acesso à ponte sobre o Rio São Domingos (sentido Casca – São Domingos)



Fonte: o autor (2020)

Não se obteve acesso ao projeto da ponte atual, de forma que não foi possível obter dados documentais como data de inauguração, vida útil, carga de projeto e demais detalhes técnicos. Entretanto, em entrevista realizada com engenheiros do setor de projetos de Obras de Arte Especiais (OAE) do DAER, identificou-se que o projeto da estrutura muito provavelmente foi realizado pela Companhia Intermunicipal de Estradas Alimentadoras (CINTEA). Esta empresa, que operou entre os anos de 1969 e 1995, foi responsável pela construção de estradas intermunicipais de baixo volume de tráfego, conforme determinação do Art. 1º da Lei estadual nº 5.753, de 20 de maio de 1969:

“Art. 1º - É o Poder Executivo autorizado a constituir uma companhia sob a denominação de "Companhia Intermunicipal de Estradas Alimentadoras" do Rio Grande do Sul - CINTEA - com o objetivo de realizar estudos e elaborar projetos de construção, melhoria e conservação de estradas situadas no âmbito municipal, identificadas como "alimentadoras" do sistema rodoviário estadual e federal, bem como praticar todo e qualquer ato ligado à consecução desse resultado. ”

Por ocasião da extinção da empresa, todas as estradas e projetos sob sua jurisdição foram transferidos para o DAER. Por se tratarem de projetos antigos, disponíveis apenas em meio físico, estes atualmente não se encontram propriamente identificados e digitalizados, tornando difícil o acesso às informações sobre estas estruturas. Assim, uma vez que a CINTEA executava pontes de classe TB-24 e TB-36² – devido à norma de pontes vigente na época – convencionou-se no DAER que, na ausência de projeto e em função da segurança, todas as pontes de faixa única seriam consideradas classe TB-24.

² Estas classes se referem à carga de projeto à qual a ponte foi projetada. Assim, as classes TB-24 e TB-36 correspondem às cargas de projeto de, respectivamente, 24 e 36 toneladas.

Conforme abordado no capítulo 3, existe a possibilidade de inferir a data de projeto e a classe de pontes antigas apenas pela visualização da seção transversal e suas estruturas de segurança. Conforme demonstrado na Figura 12 e verificado *in loco*, observa-se que a ponte é dotada de dois guarda-rodas de 90 cm de largura por 30 cm de altura, bem como guarda-corpos de concreto de 1 m de altura. Dessa forma, conclui-se que a ponte foi construída entre os anos de 1960 e 1975 e que esta seria de classe 36. Como a classificação demonstrada no capítulo 3 é válida para rodovias federais e não se sabe o padrão seguido pela CINTEA, será adotada neste trabalho a mesma convenção do DAER, que considera a estrutura como sendo de classe 24.

4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DA PONTE ATUAL

O trecho da ERS-129 no qual a ponte está inserida, originalmente constituído por estrada de chão, teve sua pavimentação concluída em 2008, obra esta cujo projeto data do início dos anos 2000. Assim, por ocasião da execução de projetos de melhoria da infraestrutura do trecho, foi realizado também um projeto de duplicação da ponte sobre o Rio São Domingos, a fim de cumprir as exigências normativas da época e de melhor atender ao crescente tráfego no local. No entanto, devido a restrições orçamentárias, apenas as obras de pavimentação foram executadas, mantendo-se a ponte original e postergando-se a duplicação.

Entretanto, constatou-se que a permanência da ponte antiga se mostra inadequada não só no tocante à fluidez do tráfego de veículos e segurança dos usuários, mas também no que diz respeito a integridade estrutural. De acordo com estudos hidrológicos realizados quando da execução do projeto de duplicação, identificou-se que a estrutura atual apresentaria insuficiência de vazão em um evento de chuva com período de retorno de 100 anos, uma vez que o nível do rio atingiria a cota da ponte. Dessa forma, o projeto prevê a demolição da ponte atual, seguida pela construção de uma nova ponte de classe TB-45, cuja cota seria elevada em 3 metros acima da cota atual a fim de viabilizar a vazão do rio.

Uma vez que a nova ponte é mais alta, fez-se necessário o alongamento do seu comprimento a fim de adequá-la ao traçado da rodovia, resultando em uma extensão de 90 metros. Com o objetivo de diminuir custos de terraplenagem, pavimentação e desapropriações, o projeto prevê a construção da nova estrutura ao lado da ponte existente, à jusante, aproveitando-se ao máximo o traçado da rodovia.

Por se tratar de um projeto realizado no ano 2000, este não cumpre as exigências das normas técnicas atuais. Como exemplo, pode-se citar a atualização das normas NBR 7187 e NBR 6118, que tratam, respectivamente, de procedimentos para execução de pontes em concreto armado e protendido e projeto de estruturas de concreto. Assim, de acordo com os engenheiros do DAER, para a execução da obra seriam necessárias diversas alterações no projeto original, de forma que convém a execução de um

novo projeto. No entanto, para fins de realização da análise de viabilidade econômica, será adotado neste trabalho o comprimento da nova ponte conforme especificado no projeto de duplicação original (90 metros), mas com valores de implementação condizentes com a construção de estruturas nos padrões normativos atuais.

4.4. TRÁFEGO

O conhecimento das informações de tráfego de uma obra-de-arte rodoviária é essencial para a determinação da eficiência do desempenho da estrutura, para a avaliação das opções de melhoria passíveis de implementação e para a realização de um estudo de viabilidade econômica para a sua duplicação. Dentre estas informações, destaca-se o volume diário médio (VDM), o fluxo de veículos no horário de pico, a composição do tráfego por tipo de veículo e projeção do tráfego futuro. A seguir, serão fornecidos mais detalhes sobre o tráfego circulante na ponte em estudo.

4.4.1. Tráfego atual

A última contagem de tráfego no trecho da ERS-129 onde a ponte está inserida foi realizada pelo DAER em janeiro de 2019, de forma que os dados obtidos podem ser considerados atuais. A contagem foi realizada no km 168,3, durante um período de sete dias, 24 horas por dia. Uma vez que não há rodovias vicinais entre o posto de contagem e a ponte, o que resultaria em possibilidade de fuga e/ou acréscimo de tráfego, pode-se considerar que a totalidade dos veículos contabilizados na coleta passa pela estrutura. Segue abaixo um quadro apresentando os valores médios de tráfego em ambos os sentidos, contendo também a composição do tráfego por tipo de veículo.

Quadro 7 – Dados de coleta de tráfego realizada em janeiro/2019 na ERS-129 (trecho entre Casca e São Domingos do Sul).

TIPOS DE VEÍCULO		Valores Médios - 7 dias			Porcentagem sobre o VDM
		AB	BA	Total	
Passeio		864	910	1775	76,2%
Coletivo		19	16	34	1,5%
Veículos de Carga	Carga Leve	71	68	139	6,0%
	Carga Média	63	54	117	5,0%
	Carga Pesada	103	92	195	8,4%
	Carga Ultra Pesada	39	31	70	3,0%
Volume Diário Médio (VDM)		1159	1171	2330	–

Fonte: DAER – RS (2019)

Onde:

AB: sentido Casca – São Domingos do Sul

BA: sentido São Domingos do Sul – Casca

O Quadro 8 contém a especificação das cargas e números de eixo utilizados para a classificação dos veículos de carga, conforme definido nas Instruções de Serviço para Estudos de Tráfego (DAER, 2010).

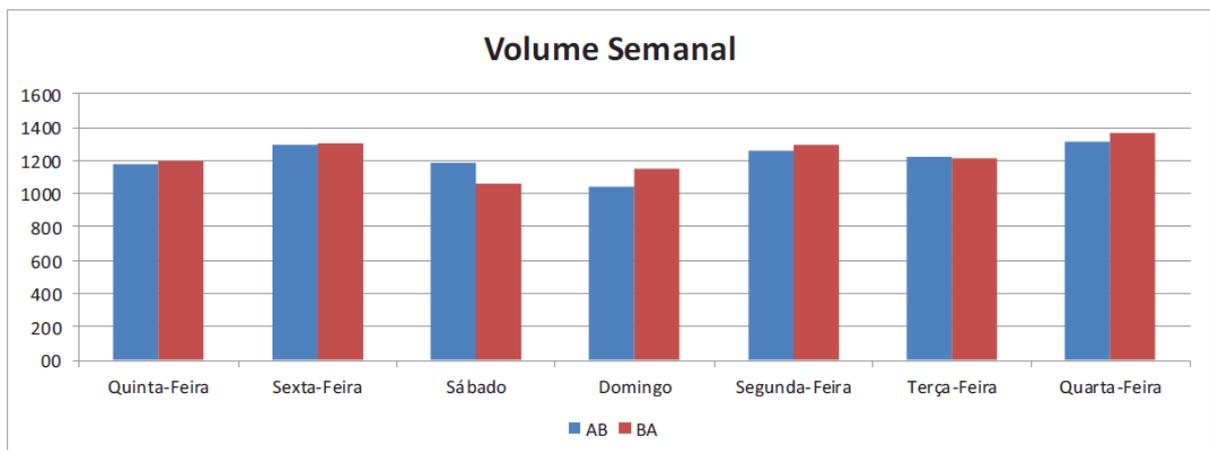
Quadro 8 – especificação das cargas transportadas por classe de veículo.

Classe	Nº Eixos	Carga
Leve	2	até 5 ton
Média	2 a 3	Entre 5 e 16 ton
Pesada	3	Entre 16 e 26 ton
Ultrapesada	4 ou mais	Acima de 26 ton

Fonte: Instruções de Serviço para Estudos de Tráfego (DAER, 2010)

Segue abaixo a representação do fluxo total de veículos em cada um dos dias da coleta, separado por sentido de tráfego. Observa-se que os volumes são muito semelhantes em ambos os sentidos, não sendo possível identificar um sentido com maior demanda.

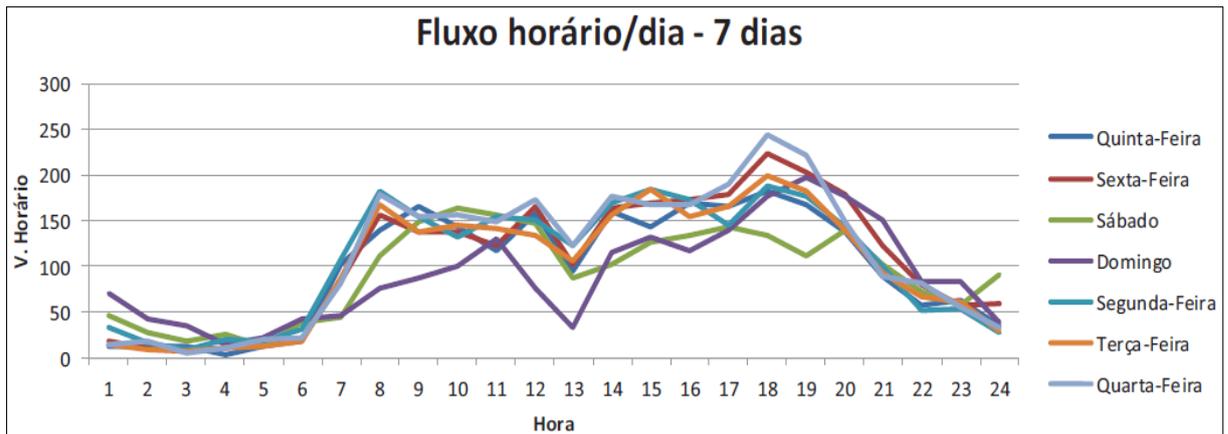
Figura 14 – Fluxo diário de veículos por sentido de tráfego



Fonte: DAER (2019)

Para se determinar a fila máxima a se formar na ponte – necessária para a avaliação da ocorrência ou não de congestionamento no local – torna-se necessário o conhecimento do fluxo de veículos no horário de pico. Este valor pode ser identificado a partir da observação do fluxo horário ao longo dos dias de contagem, conforme apresentado no quadro disponível no Anexo A. Os gráficos gerados a partir dos dados de fluxo horário relativos a cada dia de coleta são apresentados na Figura 15 abaixo.

Figura 15 – Gráficos representando o fluxo horário diário ao longo da semana de coleta.



Fonte: DAER (2019)

Durante todos os dias úteis da semana, os maiores fluxos horários foram observados no intervalo das 17h às 17:59 h. A quarta-feira foi o dia em que se observou o maior fluxo horário, contabilizando-se um total de 244 veículos. No sábado e no domingo, os intervalos de maior fluxo foram, respectivamente, das 9h às 9:59h e das 18h às 18:59. A coleta não discriminou, no entanto, o fluxo horário em cada um dos sentidos de tráfego, sendo apresentado apenas o fluxo horário total, de forma que não é possível concluir a ocorrência de movimento pendular.

Não foi possível realizar o registro fotográfico da ocorrência de filas no horário de pico de um dia típico, que consiste na situação mais crítica. No entanto, em visita realizada no local em um dia de fim de semana e fora do horário de pico, já foi possível observar a formação de filas de até três veículos, conforme demonstrado na Figura 16:

Figura 16 – Registro da formação de fila de veículos no acesso à ponte. Na imagem, pode-se observar três veículos na fila.



Fonte: O autor (2020)

4.4.2. Estimativa de demanda futura

Para a determinação dos benefícios obtidos após a implementação de uma nova obra rodoviária, torna-se necessário conhecer o volume do tráfego de veículos circulante ao longo do horizonte de projeto da estrutura. Especificamente no caso de análises de viabilidade de projetos rodoviários, é usual a adoção de um período de análise de 20 anos a partir do ano de conclusão da obra.

Uma vez que o sistema de transporte permite o intercâmbio tanto de pessoas quanto de bens entre diferentes zonas de tráfego, o comportamento da demanda em cada caso tende a ser distinto (DNIT, 2006). Esta, por sua vez, apresenta forte relação com diversas variáveis socioeconômicas. Pode-se citar como exemplo a renda, a frota de veículos e o nível de emprego, no caso de tráfego de passageiros, e o PIB ou a produção industrial e agrícola para o tráfego de carga. Assim, torna-se necessário a elaboração de modelos que estabeleçam correlações matemáticas entre estas variáveis socioeconômicas e o comportamento do tráfego. A elaboração de tais modelos tende a ser uma tarefa complexa, uma vez que envolve diversas variáveis, requerendo assim estudos aprofundados de cada caso.

Na ausência de dados e análises mais completos, é possível utilizar métodos de projeção com base em dados históricos de tráfego. Tais métodos se baseiam no ajuste de funções que mais se aproximam da variação constatada, e da sua extrapolação para os anos subsequentes. Tratam-se de projeções mais rudimentares e que tendem a resultar em maiores erros, uma vez que não levam em consideração a

influência das variáveis socioeconômicas citadas anteriormente. Entretanto, considerando-se as limitações do estudo, serão adotados nesse trabalho a fins de simplificação.

Segundo o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), a projeção de tráfego com base em dados históricos pode ser realizada a partir da aplicação de três métodos, conforme exemplificado a seguir:

- a) Projeção linear: admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão aritmética. Normalmente é utilizada para períodos inferiores a cinco anos, e pode ser expressa conforme a Fórmula 2 abaixo:

$$V_n = V_0 * (1 + n * a) \quad (2)$$

Onde:

V_n = volume de tráfego no ano “n”

V_0 = volume de tráfego no ano base

a = taxa de crescimento anual

n = número de anos decorridos após o ano base

- b) Projeção geométrica ou exponencial: admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão geométrica, conforme a Fórmula 3:

$$V_n = V_0 * (1 + a)^n \quad (3)$$

- c) Projeção com o emprego da logística: utiliza o ajuste da curva logística aos valores históricos, condicionando-a ao valor de saturação ou capacidade de uma rodovia. Pode ser expressa conforme a Fórmula 4:

$$V_n = \frac{C}{1 + ke^{-b(n-n_0)}} \quad (4)$$

Onde:

V_n = volume de tráfego no ano “n”;

C = capacidade da rodovia;

k = constante;

b = constante;

n = ano a que se refere o V_n ;

n_0 = ano base.

Com relação ao trecho da ERS-129 tratado neste estudo, se dispõe de duas contagens volumétricas realizadas nos anos de 2008 e 2019 (conforme apresentado no item anterior), cujos dados são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Contagens volumétricas realizadas no trecho da ERS-129 em estudo, relativas aos anos de 2008 e 2019

Ano	Passeio	Coletivo	Carga					VDM	Porcentagens sobre o VDM		
			Leve	Média	Pesada	Ultra Pesada	Total		Passeio	Coletivo	Carga
2008	593	21	33	38	70	1	142	756	78,4%	2,8%	18,8%
2019	1775	34	139	117	195	70	521	2330	76,2%	1,5%	22,4%

Fonte: DAER-RS

Uma vez que não há previsão de duplicação da ponte sobre o Rio São Domingos nos próximos anos, será considerado um cenário hipotético a fins de permitir a projeção de tráfego. Assim, considerar-se-á a construção de uma nova estrutura ao longo do ano de 2024, com abertura para o tráfego em 2025. Dessa forma, a previsão de tráfego será realizada para os anos de 2025 a 2044, totalizando um período de análise de 20 anos.

Dentre os métodos fornecidos pelo DNIT, inicialmente adotou-se a progressão geométrica, considerando-se o expressivo aumento no volume de tráfego observado no período entre contagens. Assim, buscou-se ajustar uma curva para cada classe de veículo (considerando-se os veículos de carga como uma categoria única), a fim de se obter as taxas de crescimento anual observadas entre 2008 e 2019. Bons ajustes aos valores reais observados foram obtidos utilizando-se taxas de crescimento de 12,5% a.a. para veículos de carga, 10,5% a.a. para veículos de passeio e 4,5% a.a. para coletivos. No entanto, tais taxas se mostram inadequadas para a extrapolação ao longo do período de análise do projeto, uma vez que resultaram em um valor de VDM muito superior à capacidade da via no último ano de análise.

O Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) destaca ainda que, de acordo com a experiência em projetos rodoviários, observou-se que o tráfego costuma crescer a taxas anuais de variação relativamente lenta. Assim, tem sido comum, à falta informações de variáveis socioeconômicas, adotar-se taxas de crescimento anual de 3%, taxa esta que também é adotada pelo DAER-RS. Dessa forma, aplicou-se as projeções linear e geométrica utilizando-se a taxa de crescimento sugerida por estes órgãos.

Por fim, realizou-se também a projeção de tráfego com o emprego da curva logística. Para a aplicação da equação, inicialmente torna-se necessário conhecer a capacidade da via. Esta foi determinada a partir da verificação de estudos realizados pelo Programa Estadual de Logística e Transportes (PELT-RS, 2014), onde foi realizada uma análise da rede viária estadual, determinando a capacidade e o nível de

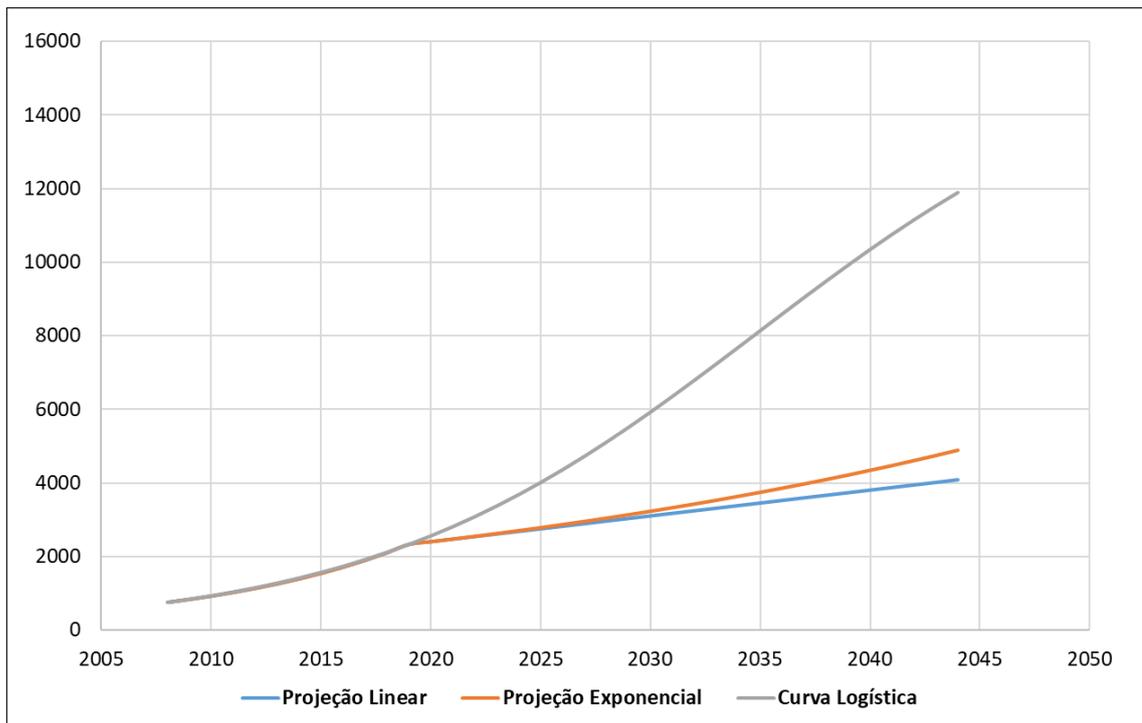
serviço de diversas estradas. Este estudo determinou que, para um VMD de 2100 veículos, previstos para o ano de 2019 no trecho da ERS-129 onde a ponte está inserida, a via estaria operando a 13% da capacidade. Sendo assim, conclui-se que a via atinge o limite da sua capacidade para um VDM de 16154 veículos.

Seguem abaixo os resultados obtidos a partir da aplicação dos três métodos de projeção, compilados no Quadro 10, bem como o gráfico apresentando curvas de cada uma:

Quadro 10 – Resultados das projeções de tráfego realizadas para a rodovia em estudo.

Ano de Projeto	Ano	VDM Exponencial (3% a.a.)	VDM Linear (3% a.a.)	VDM Curva Logística
–	2019	2331	2331	2331
–	2020	2401	2401	2564
–	2021	2473	2471	2815
–	2022	2547	2541	3086
–	2023	2624	2611	3376
0	2024	2703	2681	3685
1	2025	2784	2751	4014
2	2026	2867	2821	4362
3	2027	2953	2891	4728
4	2028	3042	2961	5112
5	2029	3133	3031	5511
6	2030	3227	3101	5926
7	2031	3324	3171	6353
8	2032	3424	3240	6790
9	2033	3526	3310	7235
10	2034	3632	3380	7685
11	2035	3741	3450	8138
12	2036	3853	3520	8590
13	2037	3969	3590	9039
14	2038	4088	3660	9483
15	2039	4211	3730	9917
16	2040	4337	3800	10341
17	2041	4467	3870	10752
18	2042	4601	3940	11147
19	2043	4739	4010	11526
20	2044	4881	4080	11888

Fonte: O autor (2020)

Figura 17 – Curvas relativas às projeções de tráfego realizadas

Fonte: O autor (2020)

Analisando-se as três projeções, observa-se que a curva logística apresenta, para o último ano de projeto, um VDM muito superior aos valores obtidos pelas projeções linear e geométrica. Isto se dá pelo fato da curva estar condicionada à capacidade da via seguindo a tendência de crescimento dos anos anteriores, que é considerado extremamente alto. Assim, levando-se em consideração o panorama atual da economia do estado e do país, em que vigora uma pandemia viral cujas consequências econômicas são extremamente imprevisíveis, torna-se mais prudente a escolha de um crescimento de tráfego mais modesto para a análise de viabilidade.

Esta escolha está em favor da segurança, uma vez que, com um tráfego menor, menor será a economia de tempo gerada pela duplicação da estrutura, diminuindo assim os benefícios por ela gerados. Logo, caso a duplicação seja viável para um tráfego pequeno, conseqüentemente também o será para um tráfego maior. Portanto, serão adotados os dados de tráfego decorrentes da projeção geométrica.

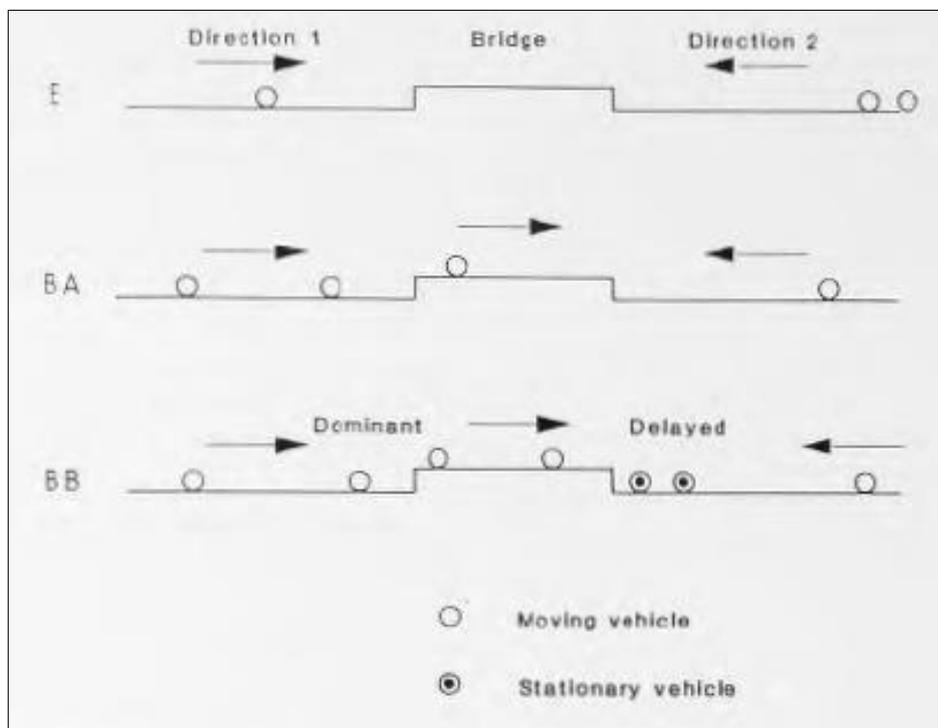
4.5. ESTIMATIVA DO ATRASO GERADO PELA ESTRUTURA

Para a realização da estimativa de atraso ocasionado pela ponte, utilizou-se como base o estudo realizado por Bennett e Saunders (1990), intitulado *Delays and Conflicts at One Lane Bridges*. O estudo

tem por objetivo a determinação dos custos econômicos provenientes dos atrasos gerados por pontes de uma faixa e sentido alternado.

A fim de estabelecer a dinâmica estabelecida pelo gargalo, os autores estabelecem um sistema rodovia-ponte, o qual pode assumir três estados, conforme demonstrado na Figura 18. O estado vazio (E) é definido como aquele no qual a ponte está desocupada; o primeiro estado ocupado (BA) é aquele no qual a ponte está ocupada, mas sem competição imediata no sentido oposto; por fim, o segundo estado ocupado (BB) é aquele no qual um sentido torna-se dominante sobre o outro, que é forçado a ceder a passagem. Assim, define-se como conflito a transição do estado BA para o estado BB. A taxa de chegada dos veículos na estrutura se dá de acordo com a distribuição de Poisson.

Figura 18 – Estados de ocupação de pontes de faixa única e sentido alternado.



Fonte: Bennett e Saunders (1990).

Para a realização do estudo, os autores se valeram da simulação computacional com o auxílio do programa SIMSCRIPT. Foram realizadas simulações para quatro volumes horários de tráfego (200, 400, 600 e 800 veículos por hora, combinados nas duas direções) e cinco comprimentos de ponte (10, 20, 50, 100 e 200 metros). Cada simulação foi equivalente a 12 horas na rodovia. Após a simulação, foram obtidos os seguintes parâmetros horários:

- Número de veículos parados;
- Número de veículos atrasados sem parar;

- Número médio de veículos na fila (incluindo o estado vazio);
- Número máximo de veículos na fila;
- Tempo médio parado na fila;
- Tempo máximo de espera na fila;
- Atraso médio por veículo;
- Número de conflitos.

Dentre todos os parâmetros, aquele de maior relevância para o estudo de viabilidade econômica deste trabalho é o atraso médio por veículo. Segundo os autores, este valor inclui não só o tempo em que os veículos permanecem estacionários enquanto aguardam o tráfego no sentido oposto, mas também, o tempo gasto com mudanças de velocidade. Estas incluem a desaceleração inicial (que pode ou não levar a uma parada total), seguida pela aceleração para a retomada da velocidade de cruzeiro. Para o cálculo do tempo gasto com mudança de velocidade, foi utilizada no estudo uma proporção de 10% de veículos de carga na composição do tráfego.

Após a realização das simulações, os autores ajustaram equações aos valores obtidos no programa, estabelecendo assim funções do atraso médio horário por veículo. Por fim, realizou-se a integração destas equações em conjunto com funções de distribuição horária do volume de tráfego (uma para volumes baixos e outra para volumes médios a altos). A integração se deu conforme demonstrado na Fórmula 5. Cabe ressaltar que as funções de distribuição horária utilizadas no estudo se aplicam para as condições de tráfego da Nova Zelândia, de forma que os autores sugerem a utilização de funções específicas para o local a ser estudado.

$$\int_0^{\infty} D(H) * F(H) dH \quad (5)$$

onde:

D (H) é o atraso total;

F (H) é a distribuição da frequência;

H é o fluxo horário.

Ao final do artigo, foram geradas tabelas que fornecem o atraso total diário gerado pela estrutura, em função da velocidade operacional da rodovia (distante do gargalo), do comprimento da ponte e do volume diário médio (VDM) do local. Segundo os autores, para valores intermediários de comprimento de ponte e de VDM, é possível realizar interpolação linear.

Uma vez que não foi possível determinar uma função de distribuição do volume de tráfego específica para o caso da ponte sobre o Rio São Domingos, optou-se por utilizar os valores da tabela fornecida pelo estudo. Como o tráfego da ponte conta com uma proporção de 21,4% de veículos pesados, o que acarreta em um maior tempo perdido em mudanças de velocidade, considera-se que esta simplificação está a favor da segurança.

Assim, utilizou-se os dados que constam na Figura 19, gerados para uma velocidade de cruzeiro de 80 km/h, velocidade esta que é a mais próxima da velocidade operacional desenvolvida no trecho onde a ponte está inserida. Com estes dados, foram realizadas as interpolações a fim de estimar o tempo total perdido por ano devido a estrutura, e que será considerado como benefício após a duplicação. O Quadro 11 apresenta o resumo dos resultados obtidos para cada ano ao longo da vida de projeto da estrutura.

Figura 19 – Atraso diário total gerado em pontes de faixa única e sentido alternado, de acordo com o VDM e o comprimento da estrutura, para uma rodovia com velocidade de cruzeiro de 80 km/h.

Total Delay in Minutes per Day: For Cruise Speed = 80 km/h											
AADT Bridge Length (m)	AADT										
	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	7000
10	0	1	2	6	13	21	29	34	50	119	457
20	0	2	4	13	27	47	68	87	132	280	889
30	1	3	6	21	45	78	116	153	230	452	1237
40	1	4	9	31	65	111	165	224	332	618	1513
50	1	5	11	40	83	141	211	291	425	766	1729
60	2	6	14	48	99	166	249	345	499	881	1896
80	2	7	17	59	122	204	303	421	601	1036	2125
100	3	9	21	69	141	233	346	477	673	1141	2283
120	3	10	24	80	160	264	389	533	745	1243	2434
140	4	12	28	92	181	297	434	592	818	1345	2585
160	4	14	33	104	203	330	479	650	889	1442	2725
180	5	16	37	116	225	363	523	705	953	1524	2842
200	5	18	42	128	246	393	563	752	1005	1584	2929

Fonte: Bennett e Saunders (1990).

Quadro 11 – Atraso total diário e anual gerados na ponte em estudo.

Ano de Projeto	Ano	VDM	Atraso Diário (min)	Atraso Anual (h)
1	2025	2784	220	1339
2	2026	2867	234	1426
3	2027	2953	249	1515
4	2028	3042	265	1615
5	2029	3133	284	1725
6	2030	3227	302	1838
7	2031	3324	321	1955
8	2032	3424	341	2076
9	2033	3526	365	2219
10	2034	3632	398	2422
11	2035	3741	433	2631
12	2036	3853	468	2847
13	2037	3969	504	3069
14	2038	4088	549	3337
15	2039	4211	596	3628
16	2040	4337	646	3928
17	2041	4467	696	4236
18	2042	4601	749	4554
19	2043	4739	802	4882
20	2044	4881	858	5219

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.6. HISTÓRICO DE ACIDENTES

Conforme visto no capítulo 3, a segurança de uma ponte estreita pode ser diretamente relacionada com o número de acidentes nela ocorridos. Além de fornecer subsídios para a caracterização da segurança da estrutura, o histórico de acidentes também será utilizado na estimativa de benefícios resultantes da construção da nova ponte.

As informações fornecidas no quadro a seguir foram retiradas da base de dados estatísticos do Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM-RS). O histórico de acidentes apresentado é referente aos últimos dois anos, uma vez que este é o período preconizado pelo Manual de Pontes Estreitas para o cálculo do Fator Ponderado de Acidentes (FPA_{2 anos}). Serão apresentados dados de acidentes para cada quilômetro do trecho da rodovia na qual a ponte está inserida, a fim de verificar o ponto crítico com relação a segurança dos usuários.

Quadro 12 – Histórico de acidentes ocorridos na rodovia ERS-129, entre os quilômetros 166 e 178, compreendendo o período de maio/2018 a maio/2020.

Ranqueamento	Km	Número de Acidentes com apenas Danos Materiais	Número de Acidentes com Feridos	Número de Acidentes com Mortos	Total
1	169	6	3	1	10
2	167	3	1	0	4
3	175	2	1	0	3
4	172	0	2	0	2
5	168	0	2	0	2
6	171	1	1	0	2
7	178	1	1	0	2
8	177	0	1	0	1
9	170	1	0	0	1
10	166	1	0	0	1
11	176	1	0	0	1

Fonte: Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM-RS)

Verifica-se assim que o local com maior índice de acidentes, bem como com a única ocorrência de morte, é aquele no qual a ponte está inserida. Aplicando-se a Fórmula 1, obtém-se o FPA_{2anos} :

$$FPA_{2anos} = 9,5 * 1 + 3,5 * 3 + 6 = 26$$

Uma vez que o valor de referência (fpa_{2anos}) para estruturas em vias de classe III é igual a 3, verifica-se que a ponte apresenta alto grau de periculosidade.

4.7. DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA

A fim de determinar as condições de segurança que uma ponte oferece aos usuários, diversos aspectos devem ser analisados. Dentre estes, pode-se ressaltar a integridade física da estrutura, a correta sinalização do local (especialmente em se tratando de pontes estreitas) e a presença de estruturas de proteção lateral. Assim, este item será subdividido em duas partes, quais sejam:

- Condições estruturais;
- Medidas de segurança de tráfego.

4.7.1. Condições estruturais

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004), há diversos tipos de inspeção a serem realizados ao longo da vida útil de uma estrutura. Dentre os tipos elencados pelo manual, destaca-se a inspeção rotineira. Esta consiste em uma inspeção programada, com intervalos em geral de um a dois anos, destinada a coletar observações e/ou medições para identificar qualquer anomalia em desenvolvimento ou qualquer alteração com relação à vistoria anterior.

Nas rodovias estaduais gaúchas, o DAER é o órgão responsável por tais inspeções rotineiras, que são realizadas a cada dois anos pelos engenheiros da Superintendência de Obras de Arte (SOA). Nestas vistorias, realiza-se uma inspeção visual completa nas estruturas, de forma a identificar o seu estado de conservação com relação aos seguintes aspectos:

- Laje;
- Vigamento Principal;
- Mesoestrutura;
- Infraestrutura;
- Pista/Acesso/Complementos.

Tais observações são registradas na Ficha de Inspeção Rotineira, onde são atribuídas notas de 1 a 5 para cada um dos aspectos citados, de acordo com o seu estado de conservação. Ao final, é atribuída à estrutura uma nota geral, que corresponde à menor das notas atribuídas em cada categoria. O critério utilizado para a atribuição de notas é apresentado no Anexo B.

Obteve-se acesso à última inspeção rotineira realizada na ponte sobre o Rio São Domingos, que data de janeiro de 2018. De acordo com o documento, a ponte recebeu nota geral 3 (estado regular), correspondente à nota atribuída à categoria Laje, que apresentou patologias como armadura exposta e degradação do concreto, com sinais de escorrimento de água e biodegradação. Entretanto, em todos os outros aspectos a ponte recebeu notas 4 e 5. Assim, apesar das patologias observadas, a estrutura não apresenta risco iminente com relação à estabilidade. Assim, recomenda-se o acompanhamento de evolução das patologias a fim de se detectar em tempo hábil um eventual agravamento estrutural. Segue abaixo o quadro resumo das notas atribuídas à ponte:

Quadro 13 – Notas conferidas aos diversos aspectos da ponte sobre o Rio São Domingos, em inspeção rotineira realizada em janeiro/2018.

Categoria	Nota	Patologia Observada
Laje	3	Concreto degradado com escoamento de água e biodeterioração na borda da laje ao longo de toda a estrutura.
Vigamento Principal	4	Grande índice de biodeterioração devido a escoamento de água da laje em balanço
Mesoestrutura	4	Armadura exposta em alguns pontos da estrutura.
Infraestrutura	5	—
Pista/Acesso/Complementos	4	Pequeno degrau no pavimento junto às cabeceiras da estrutura.
Geral	3	—

Fonte: Ficha de Inspeção Rotineira (DAER, 2018)

Ainda com relação à segurança estrutural, é imprescindível que sejam atendidos os limites de carga da estrutura delimitados em projeto, a fim de garantir o seu desempenho e durabilidade. Segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010), submeter uma ponte, continuamente, a cargas que provocam solicitações iguais ou próximas de sua capacidade resistente diminuem a sua durabilidade.

Conforme citado no item 4.2., a ponte em estudo é pertencente à classe 24, isto é, foi projetada para um trem-tipo de 24 toneladas. No entanto, conforme os dados de tráfego apresentados no Quadro 7, observa-se que 11,4% do volume diário é composto por veículos cujas cargas ultrapassam a capacidade da ponte. Tal fato pôde também ser verificado in loco.

Conforme apresentado na Figura 20, observa-se a travessia de um caminhão trator trucado com semirreboque, cujo peso bruto total máximo é de 48,5 toneladas; na Figura 21, por sua vez, observa-se a travessia simultânea de dois caminhões, cujas cargas combinadas superam a capacidade da ponte. É possível observar também a inconsistência da informação fornecida pela placa de sinalização junto à cabeceira da estrutura, que informa erroneamente um limite de carga de 45 toneladas. Assim, conclui-se que a estrutura está sujeita a uma deterioração acelerada, diminuindo-se assim a sua durabilidade.

Figura 20 – Detalhe de um caminhão trator trucado com semirreboque atravessando a ponte sobre o Rio São Domingos. A composição possui peso bruto total máximo de 48,5 toneladas.



Fonte: O autor (2020).

Figura 21 – Detalhe da travessia simultânea de dois caminhões sobre a ponte.



Fonte: O autor (2020).

4.7.2. Medidas de segurança de tráfego

Conforme apresentado no item 3.3., o Manual de Pontes Estreitas preconiza uma série de melhorias para pontes de operação tipo “C” conforme os dados de tráfego, comprimento da ponte e classe da rodovia na qual a mesma está inserida. Assim, uma vez que a ponte sobre o Rio São Domingos está inserida em uma rodovia de classe III, possui intensidade de tráfego alta ($VDM > 1500$ veículos) e extensão de 63 metros, a melhoria recomendada, de acordo com o Quadro 5, é do tipo C-3b. Esta consiste na instalação de sinalização completa com defensas e com semáforos.

Tal melhoria, no entanto, baseia-se no fato de que, segundo o manual, todas as pontes com extensão superior a 20 metros são consideradas como tendo “visibilidade restrita”. Caso fosse considerada como tendo “visibilidade boa”, a melhoria a ser recomendada para a ponte em estudo seria do tipo C-3a, que dispensa a utilização de semáforos.

Conforme citado no item 3.3.2., o estudo realizado considera que o julgamento dos motoristas quanto às condições de travessia passa a ser prejudicado em estruturas cujo comprimento supere o limite de 100 m de extensão. Além disso, conclui que, em casos onde as condições de visibilidade são adequadas, a utilização de semáforo apresenta menor eficiência quanto à otimização do fluxo de veículos em comparação com os métodos de especificação (ou sua ausência) de sentido preferencial. A experiência prática, por sua vez, demonstrou a utilização de semáforos apenas em estruturas com mais de 100 m de extensão.

Assim, julgou-se adequada a realização de uma análise mais detalhada com relação às condições de visibilidade no local. Inicialmente, verificou-se o sentido Casca – São Domingos do Sul, cuja visão do motorista no ponto de parada obrigatória pode ser observada na Figura 22. Considerando a geometria da pista no trecho subsequente à ponte, que compõe uma curva aberta em aclave, verifica-se que os motoristas detêm um bom campo de visão, à exceção do trecho oculto pela árvore destacada na imagem.

Através da observação de imagem aérea (Figura 23), verifica-se que, uma vez realizada a poda da árvore destacada, os motoristas passam a deter um ângulo de visão que permite a clara detecção do tráfego oposto ao longo de uma extensão de pista de 400 metros (medição realizada no programa Google Earth), sendo esta definida como a distância de visibilidade de travessia (DVT), definida no item 3.2.

Figura 22 – Visão dos motoristas junto ao ponto de parada obrigatória para acesso à ponte, no sentido Casca – São Domingos do Sul.



Fonte: O autor (2020)

Figura 23 – Imagem aérea apresentando o ângulo de visão e a distância de visibilidade de travessia dos motoristas no sentido Casca – São Domingos do Sul



Fonte: Google Earth (data da imagem: 20/02/2019)

A visão dos motoristas junto à placa de parada obrigatória no sentido São Domingos do Sul - Casca, por sua vez, é demonstrada na Figura 24. Neste sentido, a geometria da pista no trecho subsequente, que consiste em uma curva em nível, resulta em uma visão mais restrita, uma vez que esta é obstruída pela vegetação existente junto ao acostamento.

A partir da visão aérea (Figura 25), verifica-se que, uma vez realizada a capina da vegetação rasteira presente na lateral da pista, os motoristas passam a deter um ângulo de visão que permite a detecção do tráfego oposto ao longo de uma extensão de pista de 275 metros.

Figura 24 – Visão dos motoristas junto ao ponto de parada obrigatória para acesso à ponte, no sentido São Domingos do Sul – Casca.



Fonte: O autor (2020)

Figura 25 – Imagem aérea apresentando o ângulo de visão e a distância de visibilidade de travessia dos motoristas no sentido São Domingos do Sul – Casca.



Fonte: Google Earth (data da imagem: 20/02/2019)

Logo, conclui-se que, uma vez realizadas as podas nos locais indicados, a visibilidade de travessia dos motoristas pode ser considerada adequada em ambos os sentidos. Sendo assim, a melhoria sugerida pelo manual passa a ser do tipo C-3a, que consiste em sinalização completa com defensas e sem semáforo. As especificações com relação a implantação das medidas sugeridas constam no Anexo C.

Com relação à sinalização vertical e horizontal de advertência quanto ao obstáculo composto pela ponte, verificou-se que o local atualmente encontra-se bem sinalizado, cumprindo todas as instruções – e indo além – previstas pelo manual. São observadas diversas placas de advertência, as quais iniciam a mais de 300 metros de ambas as cabeceiras. Dentre elas, destacam-se as de ponte estreita (código A-22), instaladas a 200 metros das cabeceiras e com indicação de distância à ponte, bem como diversas placas consecutivas com numeração decrescente, a fim de incentivar a diminuição de velocidade. Com relação à sinalização horizontal, destaca-se as linhas de estímulo à redução de velocidade, bem como inscrições no pavimento e linhas de retenção junto às cabeceiras. No entanto, todas as sinalizações horizontais – incluindo as linhas divisoras de fluxo – encontram-se desgastadas, dificultando a sua visualização por parte dos motoristas.

Figura 26 – Placas de advertência instaladas na rodovia, no sentido Casca – São Domingos do Sul.



Fonte: O autor (2020)

Figura 27 – Placas de advertência instaladas na rodovia, no sentido São Domingos do Sul - Casca.



Fonte: O autor (2020)

As defensas metálicas, por sua vez, foram instaladas em uma extensão muito além àquela prevista no manual: no sentido AB, iniciam a cerca de 350 metros da cabeceira; no sentido BA, a 200 metros. As estruturas são dotadas de refletores de luz ao longo de toda a sua extensão, conforme preconiza o manual, e podem ser observadas na Figura 27.

As distâncias de visibilidade de parada (DVP) no local, por sua vez, são consideradas adequadas. Foram instaladas placas de regulamentação de velocidade de, respectivamente, 60 km/h, 40 km/h e 30

km/h em ambas as aproximações da ponte, cujas distâncias ao ponto de parada obrigatória, em cada um dos sentidos, é demonstrado no Quadro 14. Assim, verifica-se que as DVP estão em concordância com as distâncias limite fornecidas no Quadro 2, apresentado no item 3.2. Na Figura 28, são ilustrados os posicionamentos de cada placa de regulamentação.

Quadro 14 – Distâncias entre as placas de regulamentação de velocidade e o ponto de parada obrigatória, em ambos os sentidos de tráfego.

Limite de Velocidade	Distância ao ponto de parada (m)	
	Sentido AB	Sentido BA
30 km/h	125	125
40 km/h	270	275
60 km/h	400	580

Fonte: O autor (2020)

Figura 28 – Posicionamento das placas de regulamentação de velocidade nas aproximações da ponte.



Fonte: Google Earth (data da imagem: 20/02/2019)

O pavimento asfáltico apresenta-se bastante deteriorado em diversos pontos nos trechos de aproximação da ponte, conforme apresentado nas Figuras 29 e 30. Dessa forma, os motoristas, ao desviarem de buracos e irregularidades, acabam por ocupar a faixa do sentido oposto. Também se observa desgaste no pavimento ao longo da extensão da ponte, bem como degraus nas cabeceiras (como foi apontado na inspeção rotineira do DAER).

Figura 29 – Detalhe (1) da deterioração do pavimento nas proximidades da ponte.



Fonte: O autor (2020)

Figura 30 – Detalhe (2) da deterioração do pavimento nas proximidades da ponte.



Fonte: O autor (2020)

Por fim, verifica-se que os módulos de concreto que compõem o guarda-corpo da ponte apresentam sinais de desgaste e pontos com exposição de armadura. Além disso, observa-se a ausência de módulos de concreto em dois pontos da estrutura (provavelmente em decorrência do impacto de algum veículo) cujos vãos foram preenchidos com tábuas de madeira, conforme demonstrado nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Detalhe da ausência de módulos de concreto que compõem o guarda-corpo na lateral da ponte à jusante.



Fonte: O autor (2020)

Figura 32 – Detalhe da ausência de módulos de concreto que compõem o guarda-corpo na lateral da ponte à montante.



Fonte: O autor (2020)

Conclui-se que, com respeito à sinalização, que tem por objetivo alertar os motoristas quanto à presença do obstáculo na via, todas as medidas cabíveis foram tomadas. As distâncias de visibilidade de parada também estão condizentes com o sugerido pelo manual, caso as velocidades limite sejam

respeitadas. Uma vez realizadas as podas na vegetação adjacente à pista, as boas condições de visibilidade dispensam a utilização de semáforos. Assim, os aspectos que apresentam maior perigo aos motoristas são as condições do pavimento (no curto prazo), e a extrapolação do limite de carga da estrutura (a longo prazo); já para os pedestres, o maior perigo advém do estado precário do guarda-corpo – além da ausência de uma barreira de concreto entre o guarda-rodas e a pista de rolamento, alternativa esta que se mostra inviável devido ao limite de carga da estrutura.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ANÁLISE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica consiste em uma série de estudos que têm por objetivo básico identificar os custos e benefícios de um projeto, servindo principalmente como uma ferramenta comparativa entre diversas alternativas de investimento. Dessa forma, esta é utilizada como subsídio técnico para auxiliar os órgãos públicos a identificarem se um projeto deve ou não ser realizado. Segundo World Bank (2005), a avaliação econômica não substitui a função dos tomadores de decisão, mas sim serve como uma fonte de informação para auxiliar no processo de tomada de decisões.

Ainda sobre o conceito de análise econômica, Adler (1987, p. 4) afirma:

O objetivo básico da avaliação econômica de um projeto é mensurar os seus custos e benefícios econômicos do ponto de vista do país como um todo, a fim de determinar se os benefícios da rede são pelo menos equivalentes aos que seriam obtidos através de outras oportunidades de investimento. (Tradução própria)

Assim, para que um projeto seja economicamente viável, não basta apenas que os benefícios superem os custos, mas também a diferença entre eles deve gerar um saldo pelo menos igual àquele gerado pelo custo de oportunidade do capital. De acordo com a Comissão Europeia (2014), o custo de oportunidade é definido como o ganho potencial da melhor alternativa perdida, quando uma escolha deve ser feita entre diversas alternativas mutuamente exclusivas. No caso específico de investimentos públicos no Brasil, utiliza-se a Taxa Social de Desconto (TSD), fator muito utilizado em análises Custo-Benefício e que reflete a percepção da sociedade quanto ao custo de oportunidade do capital, ou seja, o valor social de usos alternativos dos recursos envolvidos no projeto (IPEA, 2019).

Apesar de ser um erro comum, não se deve confundir os custos e benefícios avaliados na análise econômica com despesas e receitas. Estas últimas são típicas da análise financeira, muito empregada pela iniciativa privada, que tem por objetivo determinar se um projeto é autossuficiente financeiramente. Sobre este assunto, Dalbem et al. (2010, p. 88) afirmam:

Do ponto de vista da iniciativa privada, a viabilidade de um projeto é determinada por meio de uma análise monetária que comprove que suas receitas esperadas serão maiores do que os seus custos de investimento e de operação. Do ponto de vista da sociedade, no entanto, os benefícios futuros de um projeto têm uma abrangência mais ampla do que apenas a geração de receitas, e podem incluir fatores como o desenvolvimento econômico de um setor, de uma região, melhoria da qualidade de vida, benefícios de redução de tempo de transporte, de acidentes e outros. Dessa forma, no contexto de uma *avaliação econômica*, um projeto pode ser considerado de interesse para a sociedade ainda que não gere o retorno financeiro exigido pelo investidor privado.

No que tange especificamente a investimentos na área de transportes, os projetos geralmente tendem a impactar diversas partes de interesse – tais como operadores de transporte, usuários individuais, residentes e comerciantes locais e proprietários de terra e/ou imóveis – cada qual analisando os impactos

do projeto a partir do seu ponto de vista. A análise de viabilidade econômica, no entanto, busca a avaliação de projetos de um ponto de vista social, isto é, que benefícios e custos o projeto vai gerar para a rede de transportes e para a sociedade no geral. Tais benefícios e custos devem ser mensurados o tanto quanto possível em unidades monetárias (World Bank, 2005).

É importante ressaltar que devem ser identificados os benefícios líquidos do projeto, também chamados de benefícios incrementais. Logo, caso um novo projeto capture uma demanda já existente e atendida por outros meios, deverão ser contabilizados apenas os benefícios adicionais para a sociedade (Dalbem et al, 2010).

A complexidade da avaliação econômica deve ser proporcional à magnitude do projeto e dos riscos envolvidos (World Bank, 2005). Isso se deve ao fato de que a sua elaboração por si só já consome recursos, uma vez que envolve a realização de uma série de análises multidisciplinares e pesquisas de campo. Assim, projetos cujos investimentos necessários são menores admitem análises mais simplificadas, ao passo que projetos de grande magnitude e abrangência requerem análises com um maior nível de aprofundamento e detalhamento e, portanto, mais onerosas tanto em termos financeiros quanto em relação ao tempo necessário para a sua realização.

5.1. MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Sobre as metodologias para a realização de análises econômicas, Dalbem et al (2010, p. 88) afirmam:

Metodologias de avaliação econômica foram inicialmente desenvolvidas nos países da Europa e dos Estados Unidos na década de 1960, seguindo a tendência de um maior acompanhamento e questionamento por parte da sociedade quanto à melhor forma de investir recursos escassos. Atualmente já existem algumas práticas consolidadas nesses países, embora ainda continue grande o desafio de transformar os potenciais benefícios econômicos de um projeto em valores tangíveis.

As metodologias mais comumente empregadas em análises de viabilidade econômica são: Análise Custo-Benefício, Análise Custo-Efetividade e Análise Multicritério. A seguir, serão fornecidas mais informações sobre cada um destes métodos.

5.1.1. Análise Custo-Benefício

A análise custo-benefício (ACB) consiste na monetização de todos os custos e benefícios líquidos quanto possível gerados por um projeto. Segundo Adler (1987), a grande dificuldade desta análise consiste em monetizar aspectos que não possuem um valor de mercado, tais como o valor de uma vida, o valor do

tempo economizado em uma viagem ou o conforto. Para tais estimativas, alguns métodos foram desenvolvidos, tais como pesquisas de preferência declarada e preferência revelada, que buscam determinar a disposição do usuário a pagar pelos benefícios provenientes da melhoria da infraestrutura.

Tais custos e benefícios devem ser estimados para cada ano ao longo de toda a vida útil do projeto, de forma a possibilitar a confecção do seu fluxo de caixa. Por fim, realiza-se a comparação entre os custos e benefícios a fim de determinar se um projeto é economicamente viável. Tal comparação, no entanto, deve levar em consideração o fator tempo, uma vez que gastos despendidos atualmente possuem um custo econômico maior do que gastos futuros. Dessa forma, torna-se necessário comparar todos os valores em um período comum, o que é possível através da utilização de indicadores econômicos com a aplicação de uma taxa de desconto apropriada. Este assunto será abordado no item 5.2.

O World Bank (2005) tece algumas críticas com relação à análise custo-benefício³, especialmente no que se refere a projetos de grande magnitude. Os principais pontos abordados relacionam-se à incapacidade do método em analisar os impactos do projeto na economia do país como um todo, uma vez que a análise é focada nos usuários e provedores do sistema de transporte, abordando fatores que não são relacionáveis ao crescimento da economia (que é medido pelo PIB), tais como segurança, meio ambiente e tempo de lazer. Além disso, impactos relacionados à mudança de preços de mercado ou salários, bem como redução da pobreza e aspectos como quem ganha e quem perde com a execução do projeto são questões que também não são abordadas pela análise.

Além das questões econômicas, a ACB apresenta dificuldades em avaliar as externalidades geradas por um projeto. De acordo com a Comissão Europeia (2014), entende-se por externalidades todos os custos e benefícios provenientes de um projeto que recaem em terceiros, ou seja, aqueles que não sofrem impacto direto. Alguns exemplos de externalidades geradas em projetos de transporte são: geração de ruído, poluição do ar, deterioração da paisagem, vibrações, entre outros.

Apesar destas críticas, a ACB continua sendo o método mais difundido e utilizado para a análise de projetos. Para sanar as suas deficiências, a recomendação é de que, sempre que possível, este método seja utilizado em conjunto com outros métodos de avaliação econômica, tais como a análise custo-efetividade ou a análise multicritério, a fim de cobrir todas as lacunas. A seguir, serão explicados estes outros métodos.

³ Mais informações em: WORLD BANK. TRN-5. Transport Notes. **A framework for the economic evaluation of transport project.** Washington D.C., 2005.

5.1.2. Análise Custo-Efetividade

Existe uma vasta quantidade de projetos cujos benefícios não são facilmente mensuráveis em termos monetários ou não possuem preço de mercado prontamente acessível. Este é o caso de grande parte dos investimentos realizados em áreas como saúde e educação, cujos benefícios tendem a ser mais sociais do que econômicos. Nestes casos, a análise custo-benefício tem a sua aplicação limitada, sendo mais recomendável a utilização da análise custo-efetividade (ACE).

A análise custo-efetividade é apropriada sempre que um projeto possua um único objetivo e cujos benefícios possam ser medidos em unidade não-monetária, como por exemplo “número de vacinas aplicadas” ou “número de crianças imunizadas” (World Bank Handbook, 1998). Assim, a ACE é utilizada como uma forma de triagem e ranqueamento de projetos que possuam o mesmo objetivo, como, por exemplo, a redução da pobreza, de forma a auxiliar na escolha daquele que tende a contribuir mais fortemente para o alcance deste objetivo com a menor quantidade de recursos (World Bank, 2005).

A determinação dos custos de projeto na ACE é feita da mesma maneira que na ACB, de forma que a sua principal diferença consiste na análise dos benefícios. Diferentemente da análise custo-benefício, onde os projetos normalmente são definidos como “viáveis” ou “não-viáveis” a partir da comparação entre a Taxa Interna de Retorno (TIR) frente ao custo de oportunidade do capital, a ACE, por não mensurar os benefícios em termos monetários, não permite a realização de tal comparação. Desta forma, a ACE não determina se um projeto é economicamente viável, cabendo aos tomadores de decisão a escolha entre realizar ou não o projeto.

Segundo o World Bank (2005), apesar de muito utilizada no setor social, a ACE raramente é utilizada no setor de transportes. Isso se deve largamente à crença de que os impactos da intervenção de transportes são principalmente de natureza econômica e, por isso, devem ser mensurados. Com o aumento do foco na questão da pobreza e nos impactos sociais do transporte, entretanto, a ACE vem se tornando mais proeminente nessa área. Assim, os tipos de projetos mais adequados para a sua aplicação são aqueles em rodovias rurais de baixo volume de tráfego, onde os benefícios sociais tendem a superar os benefícios econômicos.

5.1.3. Análise Multicritério

Também chamada de análise custo-efetividade ponderada, a análise multicritério (em inglês, multi-criteria analysis ou MCA) é muito semelhante à análise custo-efetividade descrita no item anterior, uma vez que também é utilizada em casos em que a monetização dos benefícios se mostra inviável. A sua

principal diferença é que, ao passo em que a ACE compara projetos que possuam apenas um objetivo, a MCA é utilizada para analisar projetos com dois ou mais objetivos.

Assim, o primeiro passo consiste em atribuir pesos conforme a importância de cada um dos benefícios obtidos no projeto com relação a um único objetivo em comum. Esta atribuição é normalmente é derivada do julgamento de uma ou várias fontes, tais como opiniões de experts, preferências políticas, visão da comunidade, etc. Por fim, multiplica-se cada um dos benefícios pelos seus pesos correspondentes, de forma a obter uma única medida, que é então dividida pelo custo do projeto, produzindo um índice que permite a comparação entre diversos projetos (World Bank, 2005).

5.2. INDICADORES ECONÔMICOS

Conforme citado anteriormente, para a realização da análise custo-benefício torna-se necessário comparar os valores relativos aos custos e benefícios, alusivos a cada um dos anos ao longo da vida útil do projeto, em um período comum, a fim de considerar a influência do tempo no valor do dinheiro. Para isso, são utilizados alguns indicadores econômicos, quais sejam:

- Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Relação Benefício-Custo (B/C).

Tais indicadores se baseiam na aplicação de um fator de desconto utilizado para trazer fluxos econômicos ao valor presente. Assim, antes da definição mais detalhada de cada um destes indicadores, é importante definir o conceito desta taxa de desconto, também conhecida como taxa mínima de atratividade (TMA). Sobre a TMA, Casarotto et al (2010, p. 97) afirmam:

Ao se analisar uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. A nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. Esta é, portanto, a Taxa Mínima de Atratividade.

No caso de investimentos na área de infraestrutura de transportes, a TMA pode ser também chamada de taxa social de desconto (TSD). Segundo o IPEA (2019, p. 1), “o fator de desconto deve refletir a percepção da sociedade quanto ao custo de oportunidade do capital, ou seja, o valor social de usos alternativos dos recursos investidos no projeto”. O IPEA também define a TSD como sendo o principal parâmetro de uma análise ACB: primeiramente por que esta taxa será utilizada como critério de comparação para a determinação entre investir ou não; em segundo lugar por que, uma vez que os projetos

em infraestrutura possuem uma vida útil longa, o valor presente líquido (VPL) torna-se bastante sensível a esta taxa de desconto.

O Banco Mundial convencionou a utilização de uma taxa de desconto de 12% ao ano (a.a.) ao avaliar os projetos por ele financiados. Esta taxa não reflete necessariamente o custo de oportunidade do capital dos países financiados, mas pode ser vista como um dispositivo de racionalização dos fundos da instituição, de forma a priorizar os projetos que oferecem maior rentabilidade. O Banco Mundial (World Bank, 2005) afirma, também, que uma taxa de desconto diferente de 12% a.a. pode ser utilizada, desde que bem justificada, e que taxas abaixo de 10% a.a. dificilmente se justificam nos países em desenvolvimento.

O Ipea realizou, no ano de 2019, um exercício para estimar a taxa de desconto social para investimentos em infraestrutura no Brasil. De acordo com o estudo realizado pela instituição (IPEA, 2019), “para projetos de infraestrutura avaliados a partir de 2019, o valor recomendado para a taxa social de desconto no Brasil é de 10% real ao ano (a.a.), com análise de sensibilidade entre 8% e 12%”.

Feitas as considerações sobre a taxa de desconto, a seguir serão abordados mais detalhadamente cada um dos indicadores econômicos mais utilizados em análises de viabilidade econômica de projetos.

5.2.1. Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Contador (2010), o VPL consiste em um critério de análise econômica isento de falhas técnicas, cuja definição é dada conforme se segue:

Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados à taxa ou taxas adequadas de desconto. O projeto será viável se apresentar um VPL positivo e, na escolha entre projetos alternativos, a preferência recai sobre aquele com maior VPL positivo. (Contador, 2010, p. 47):

Ainda segundo o autor, o VPL é função dos valores e formato assumido pelo seu fluxo de caixa, consistindo em uma função decrescente da taxa de desconto quando esta consiste em um valor fixo – o que é considerado na maioria dos projetos em infraestrutura de transporte.

O VPL é calculado conforme as fórmulas abaixo:

$$VPL = B_0 - C_0 + \frac{B_1 - C_1}{1+r} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (6)$$

Ou, de forma sintetizada:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

Onde:

VPL é o valor presente líquido;

B_t são os benefícios no ano t ;

C_t são os custos no ano t ;

r é a taxa social de desconto (TSD);

n é o total de anos do horizonte de projeto

5.2.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Contador (2010, p. 52), “Por definição, Taxa Interna de Retorno (TIR) é aquela taxa de juros que iguala a zero o valor presente líquido de um projeto”. Logo, é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos benefícios de um projeto ao valor presente de seus custos. Ainda segundo o autor, a TIR consiste em um dos indicadores mais utilizados como parâmetro de decisão. Segue abaixo a sua equação, que é a muito semelhante à Fórmula 7, apenas considerando o VPL igual à zero:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+TIR)^t} \quad (8)$$

Onde:

TIR é a taxa interna de retorno

B_t são os benefícios no ano t ;

C_t são os custos no ano t ;

r é a taxa social de desconto (TSD)

n é o total de anos do horizonte de projeto

Para que um projeto seja considerado viável a partir do critério da TIR, esta deve ser maior ou igual que o custo de oportunidade dos recursos para a sua implantação, ou seja, maior ou igual à TMA. Além disso, considera-se que quanto maior for a TIR de um projeto, maior será a sua atratividade. Destaca-se que um dos pontos positivos deste indicador é que este dispensa informações externas ao projeto, bastando que se conheça o seu fluxo de caixa e que se tenha noção do custo de oportunidade do capital.

Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados ao utilizar o método. Casarotto (2010) alerta que a comparação entre a TIR de duas alternativas não permite afirmar que, se $TIR_A > TIR_B$, então A deve ser

preferido a B, de forma que, para se identificar qual dos projetos é mais atrativo, deve-se realizar outras análises⁴.

Contador (2010) ressalta também a dificuldade decorrente da característica da equação, que acaba por gerar um polinômio de grau n (onde n é o total de anos da vida útil do projeto), de forma que por vezes há a possibilidade de obtenção de raízes múltiplas na Fórmula 8. Uma vez que, em princípio, a TIR só faz sentido quando todas as raízes forem iguais, reais e positivas, e que não necessariamente esta situação sempre irá ocorrer – principalmente nos casos em que os fluxos de caixa possuem muitas mudanças de sinal ou naqueles em que os benefícios antecedem os custos – o método acaba por induzir a interpretações erradas em alguns casos. Assim, o autor recomenda que a TIR seja utilizada para avaliar projetos cujos fluxos de caixa possuam apenas dois períodos (uma inversão de sinal) e com investimentos antecedendo os benefícios. Este é o caso da maioria dos investimentos em infraestrutura rodoviária, onde os benefícios somente serão observados após a inauguração da obra.

5.2.3. Relação Benefício-Custo (B/C)

Consiste na relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos (Contador, 2010). Segue a mesma lógica do VPL, isto é, a comparação dos fluxos de caixa na data zero, mas considerando o quociente entre benefícios e custos ao invés do seu saldo (Senna, 2014). Logo, pela definição, sempre que o VPL for positivo, a relação B/C também o será. Assim, um projeto é considerado viável quando apresentar um B/C maior que a unidade, e quanto maior esta relação, mais atraente o projeto.

Matematicamente, os sinais do fluxo de caixa são desconsiderados, caso contrário, seria inevitável que a relação benefício/custo resultasse em valores menores que zero. Pode ser expressa pela Fórmula 9, conforme formulação citada por Buarque (1984):

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (9)$$

Onde:

B/C é a relação benefício-custo;

B_t são os benefícios no ano t ;

C_t são os custos no ano t ;

r é a taxa social de desconto (TSD);

n é o total de anos do horizonte de projeto

⁴ Mais informações em: CONTADOR, C. R. **Projetos Sociais: avaliação e prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

5.3. CUSTOS RODOVIÁRIOS

Conforme citado nos itens anteriores, independentemente do método de análise de viabilidade econômica a ser utilizado, torna-se necessário a quantificação dos custos relativos à execução do projeto, custos estes que devem ser estimados ao longo de toda a sua vida útil.

A tarefa de estimar os custos de obras relacionadas a infraestrutura de transportes é uma atividade complexa, uma vez que, caso feita de forma detalhada, envolve a inclusão de todos os custos unitários de materiais e serviços, bem como seus quantitativos, ao longo de todo o processo. Tais parâmetros variam conforme as particularidades de cada projeto. Assim, a fim de permitir a realização de estudos de viabilidade expeditos, os órgãos responsáveis pela infraestrutura de transportes fornecem referências de custos baseados em informações históricas e soluções padronizadas. Como exemplo, pode-se citar o relatório de Custos Médios Gerenciais fornecido anualmente pelo DNIT.

De maneira geral, no que tange aos projetos rodoviários, os custos podem ser subdivididos nas seguintes categorias:

- a) **Custo de implantação:** se refere aos custos relativos à elaboração do projeto e execução da infraestrutura, em casos de estruturas novas, ou à implementação de melhorias no caso de estruturas já existentes.
- b) **Custo de manutenção e conservação:** de acordo com o DNIT, o custo de conservação é aquele destinado ao conjunto de operações que buscam preservar as características técnicas e operacionais de uma rodovia ou obra-de-arte de acordo com sua concepção original. Tais operações de conservação podem ser subdivididas em conservação corretiva, periódica ou rotineira. Já o custo de manutenção, por sua vez, é o “[...] custo do conjunto de intervenções, de caráter periódico, efetivado ao final de cada ciclo de vida útil da rodovia, para fornecer suporte estrutural, compatível com a estrutura existente e o tráfego esperado, e tornar a rodovia apta a cumprir novo ciclo de vida” (DNIT, 2006, p. 38). Pode ser subdividido em operações de restauração e reconstrução.
- c) **Custo de operação:** custos necessários para a garantia do conforto e segurança dos usuários. São exemplos de custos de operação aqueles empregados na iluminação, sinalização, patrulhamento, serviço de atendimento de emergência, entre outros.

5.4. BENEFÍCIOS DE UM PROJETO RODOVIÁRIO

Segundo Adler (1987), o cálculo dos benefícios provenientes de um projeto rodoviário normalmente envolve problemas mais complexos em comparação ao cálculo dos seus custos. Isso se deve ao fato de que muitos dos benefícios gerados, ainda que diretos – tais como conforto ou economia de tempo –, não possuem um valor de mercado. Já os benefícios indiretos, como por exemplo o estímulo da economia, não podem ser garantidos em todos os casos.

Ainda segundo o autor, para estimar os benefícios, a lógica a ser utilizada é a análise das situações “sem projeto x com projeto”. Assim, deve-se calcular os custos que seriam despendidos na situação sem o projeto e compará-los com aqueles despendidos caso o mesmo seja realizado.

Em projetos de transportes, os principais benefícios obtidos são:

- Redução no tempo de viagem;
- Redução do número de acidentes;
- Redução dos custos operacionais.

5.4.1. Redução do tempo de viagem

Segundo o World Bank (2005), a redução no tempo de viagem consiste no principal benefício obtido em projetos de transporte, podendo contabilizar 80% dos benefícios totais em países desenvolvidos.

Dalbem et al (2010, pág 99) afirmam que “o princípio básico na avaliação do tempo é a de que os indivíduos, sujeitos à restrição das horas do dia que podem dedicar ao trabalho, ao lazer e ao tempo que perdem em trânsito, procuram maximizar sua riqueza e bem-estar”.

Assim, para o cálculo dos benefícios monetários advindos da redução no tempo de viagens, torna-se necessário definir o valor do tempo. Esta estimativa pode ser realizada a partir de pesquisas de preferência declarada, que buscam determinar o quanto um usuário está disposto a pagar (*willingness-to-pay*) pelo tempo economizado.

Via de regra, os estudos de monetização do tempo realizam a distinção entre o tempo gasto em viagens realizadas a trabalho (*working trips*) e viagens de não trabalho (*non-working trips*). Estas se referem a viagens realizadas para fins de lazer, negócios pessoais ou trajeto trabalho/casa, e cujo valor do tempo tende a ser sensivelmente menor àquele das viagens a trabalho.

5.4.2. Redução de acidentes

Outro benefício esperado a partir da implementação de projetos rodoviários consiste na redução do número de acidentes. Isso se deve ao fato de que, principalmente nos países em desenvolvimento, as fatalidades são altamente influenciadas pelas condições da infraestrutura. Pode-se citar como exemplos a presença de pavimentos estreitos e desgastados, traçado da via inadequado ou ausência de sinalização.

Adler (1987) ressalta, no entanto, que os acidentes são resultado de uma interação complexa entre veículo, estrada, ambiente e fator humano – sendo este último o maior causador de acidentes, inclusive em países desenvolvidos. Assim, o autor conclui que, para o propósito da redução de acidentes, a conscientização dos motoristas e a aplicação das leis de segurança de tráfego podem ser mais importantes do que intervenções na infraestrutura.

Para a estimativa dos benefícios econômicos relativos à diminuição de acidentes, é necessário primeiramente estabelecer os custos envolvidos na sua ocorrência. Segundo o DNIT (2004), a composição do custo dos acidentes envolve os seguintes aspectos:

- a) Custos relativos a danos pessoais: incluem custos médico-hospitalares, custos relativos à perda de rendimentos futuros e custo de funeral.
- b) Custos relativos a danos materiais: incluem custos de danos a veículos, danos à carga e danos à propriedade.
- c) Custos indiretos: custos de congestionamento, custos operacionais de atendimento ao cliente, custos judiciais e perdas refletindo o valor da vida humana em termos de dor e sofrimento.

Em termos práticos, em análises econômicas é comum a adoção de valores padronizados para a ocorrência de acidentes de acordo com a sua gravidade, valores estes fornecidos pelos órgãos competentes. Assim, os acidentes são normalmente subdivididos em: acidentes com mortos, acidentes com feridos e acidentes sem vítimas.

5.4.3. Redução dos custos operacionais dos veículos

Os custos operacionais de veículos compreendem aqueles despendidos tanto pelos usuários quanto pelos provedores de serviços rodoviários, e sua redução compõe uma importante parcela dos benefícios advindos de projetos rodoviários. Segundo Barreto (1999), podem ser separados em custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos representam as despesas que independem do grau de utilização do veículo, tais como:

- a) Depreciação;
- b) Remuneração de capital;
- c) Licenciamento/seguro obrigatório;
- d) Seguro facultativo;
- e) Salário e encargos (motorista);
- f) Taxas administrativas.

Já os custos variáveis são aqueles cujas despesas são proporcionais à utilização do veículo, tais como:

- a) Combustível;
- b) Pneus;
- c) Óleos lubrificantes;
- d) Manutenção (mão-de-obra de oficina e peças);
- e) Lavagem completa.

Os principais componentes dos custos operacionais de veículos são detalhados no Quadro 15, que apresenta a sua percentagem de contribuição conforme o tipo de veículo.

Quadro 15 – Percentagem de contribuição dos diferentes componentes na composição dos custos operacionais, de acordo com o tipo de veículo.

Componente	Porcentagem de Contribuição	
	Carros Privados	Caminhões
Combustível	10 - 35	10 - 30
Óleo Lubrificante	< 2	< 2
Peças de Reposição	10 - 40	10 - 30
Manutenção (mão-de-obra)	< 6	< 8
Pneus	5 - 10	5 - 15
Depreciação	15 - 40	10 - 40
Salário e encargos (motorista)	0	5 - 50
Outros custos	10 - 15	5 - 20

Fonte: “A guide to Road Project Appraisal”. Overseas Road Note 5, Overseas Development Administration, 1988, p51 [i].

Segundo o World Bank (2005), estes custos variam de acordo com o tipo de veículo, condições do pavimento e a velocidade operacional desenvolvida na via. Logo, os custos operacionais dos veículos estão relacionados com o padrão de projeto da rodovia (asfalto ou estrada de chão), a estratégia de

manutenção, a influência ambiental, a composição do tráfego e o nível de serviço da rodovia (que influencia a velocidade dos veículos).

Dentre as categorias citadas, a implementação de melhorias na infraestrutura rodoviária atua principalmente sobre a redução dos custos variáveis. Dentre estes, a redução de consumo de combustível representa a maior parcela, especialmente nas obras que resultam na diminuição da distância de viagem ou no aumento da velocidade média operacional dos veículos.

6. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PONTE EM ESTUDO

Neste capítulo, será realizada a análise de viabilidade econômica simplificada da implantação de melhorias na ponte sobre o Rio São Domingos, cujas características físicas e operacionais foram abordadas no capítulo 4.

Assim, este capítulo será subdividido nos seguintes itens:

- Escolha do método de análise;
- Definição das alternativas de melhoria;
- Cálculo dos custos;
- Cálculo dos benefícios;
- Confecção do fluxo de caixa;
- Cálculo dos indicadores econômicos.

6.1. ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE

Uma vez que projetos realizados especificamente na área de infraestrutura de transportes tendem a gerar diversos benefícios, a análise custo-efetividade (ACE) não se mostra como a alternativa mais adequada, visto que analisa a efetividade de um projeto pelo desempenho de apenas um parâmetro. A análise multicritério (MCA), por sua vez, confere um alto grau de subjetividade à avaliação econômica, uma vez que consiste em uma análise puramente qualitativa. Além disso, nenhum dos dois métodos supracitados contribuem para a decisão investir/não investir, sendo adequados apenas para o ranqueamento entre diversas alternativas de investimento.

Assim, apesar das simplificações necessárias para a sua aplicação, julgou-se mais adequada a adoção da análise custo-benefício (ACB) por se tratar de um método mais claro e objetivo, facilitando a interpretação dos resultados. Além disso, tal método é largamente utilizado na avaliação de projetos de transporte, e sua aplicação é recomendada por diversos órgãos competentes.

6.2. DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE MELHORIA

As melhorias sugeridas pelo Manual de Pontes Estreitas para aplicação em pontes de faixa única e sentido alternado, citadas no capítulo 3, podem ser divididas em três grupos, quais sejam:

- a) Adequação da sinalização e estruturas de contenção lateral;
- b) Duplicação da estrutura;

- c) Construção de uma nova ponte com duas faixas.

Com relação à adequação da sinalização, verificou-se que todas as medidas sugeridas pelo manual foram tomadas e até extrapoladas. Estão pendentes apenas a poda da vegetação adjacente, a repintura da sinalização horizontal no pavimento e a instalação dos módulos de concreto ausentes no guarda-corpo, pendências estas cujo custo de implementação é considerado baixo. Assim sendo, considera-se que os motoristas estão bem alertados quanto ao obstáculo a ser encontrado e, caso respeitado o limite de velocidade e a sinalização, a estrutura apresenta o máximo de segurança que uma ponte deste tipo pode fornecer.

A duplicação da estrutura – isto é, a construção de uma nova ponte de faixa única adjacente à ponte existente – não se mostra adequada. Primeiramente pela questão hidrológica, uma vez que a cota da ponte atual não permite a vazão do rio para uma chuva de período de retorno de 100 anos. Em segundo lugar, pela classe de projeto da ponte atual frente à demanda de tráfego, que é composto por veículos cuja carga excede a carga de projeto da estrutura. Para a aplicação de tal medida, além da construção da estrutura adjacente, seria necessária a execução de um reforço da estrutura atual, o que resultaria em um grande dispêndio de recursos para uma solução incompleta.

Logo, conclui-se que, uma vez que todas as medidas paliativas já foram adotadas, a alternativa de melhoria cabível de implementação é a construção de uma nova ponte de classe TB-45, com duas faixas de tráfego, conforme previsto no projeto realizado no início dos anos 2000. Assim, uma vez que a ACB busca avaliar as melhorias através da comparação dos cenários “sem projeto x com projeto”, serão consideradas as seguintes alternativas:

- a) Hipótese nula (não fazer nada): consiste no cenário “sem projeto”, e considera as condições atuais da infraestrutura, servindo como referência para a avaliação da alternativa seguinte;
- b) Construção de uma nova ponte com duas faixas: consiste no cenário “com projeto”, cujos benefícios adicionais serão analisados.

6.3. CÁLCULO DOS CUSTOS

Conforme abordado no capítulo 5, os custos considerados em um projeto rodoviário são: custo de implantação, custo de manutenção e conservação, e custo de operação. Estes custos serão detalhados a seguir.

6.3.1. Custo de implantação

Para a estimativa do custo de implantação da nova ponte, primeiramente torna-se necessário conhecer alguns parâmetros básicos de projeto, tais como localização da estrutura e seu comprimento. Assim, na ausência de um projeto mais recente, serão adotados os parâmetros relativos ao projeto realizado no início dos anos 2000, conforme citado no item 4.3. Este prevê a construção de uma nova ponte classe TB-45 adjacente à ponte atual (à jusante), com comprimento de 90 metros.

As referências de custo para implantação da estrutura – isto é, os custos relativos à elaboração do projeto e à execução da obra – foram obtidas através de entrevista realizada com os engenheiros da Superintendência de Obras de Arte do DAER-RS. Considerando-se que os valores podem variar conforme a particularidade de cada obra – relativo a diferenças no tipo de fundação requerida e a quantidade de aterro necessária –, é fornecido um intervalo contendo o limite inferior e superior de custos por metro linear para a construção de uma ponte de 11,8 metros de largura, dos quais será considerado o valor médio. Tais valores, apresentados no Quadro 16, já incluem o custo de elaboração do projeto, que gira em torno de 3 a 6% do valor total de implantação. Uma vez que o período de construção considerado é de um ano, a totalidade deste valor será despendida no ano zero de projeto, relativo à 2024.

Quadro 16 – Referência de custos para a implantação da nova ponte.

Custo Linear (R\$/m)		Comprimento da Estrutura (m)	Custo do Projeto (R\$)		
Limite Inferior	Limite Superior		Limite Inferior	Limite Superior	Custo Médio
40.000,00	50.000,00	90	3.600.000,00	4.500.000,00	4.050.000,00

Fonte: DAER – RS (2020).

Cabe ressaltar que os valores fornecidos acima se referem exclusivamente à construção da nova estrutura, não considerando os custos de demolição da ponte antiga ou dos aterros e pavimentação necessários para a conformação do traçado da rodovia no local. Tais custos não serão considerados devido à falta de maiores informações de projeto.

6.3.2. Custos de conservação e operação

Considerando-se a pequena magnitude da obra em questão, verifica-se que os custos de conservação e de operação da nova estrutura são praticamente idênticos àqueles da estrutura atual, de forma que a sua contabilização se torna dispensável na análise. De fato, tais custos tornam-se relevantes apenas em estudos que envolvem a análise de construção de trechos de rodovia com maior extensão.

6.4. CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS

Os principais benefícios gerados pela implementação da nova ponte são: redução do tempo de viagem, redução do custo operacional e redução do número de acidentes. Tais benefícios serão especificados a seguir.

6.4.1. Redução do tempo de viagem

Para o cálculo dos benefícios monetários referentes à redução no tempo de viagem, torna-se necessário primeiro estimar o custo gerado pelos atrasos ocasionados pela ponte atual. Tais atrasos serão considerados inexistentes após a construção da nova estrutura, uma vez que não mais existirá um gargalo formador de filas. Assim, os custos anuais gerados pelos atrasos da ponte atual serão considerados como os benefícios anuais gerados pela nova estrutura.

Uma vez que o atraso total anual gerado pela ponte ao longo do horizonte de projeto já foi estimado no item 4.5., resta apenas realizar a monetização do tempo. Para isso, utilizou-se como base a pesquisa de preferência declarada realizada pelo PELT no ano de 2014, que fornece diferentes valorações do tempo de acordo com o tipo de veículo. Tais valores são específicos para o tráfego do Rio Grande do Sul, e são apresentados no Quadro 17 abaixo:

Quadro 17 – Valor do tempo conforme o tipo de veículo.

Tipo de veículo	Valor do tempo R\$/hora
Automóveis	18,00
Caminhões Leves	90,00
Caminhões Médios	120,00
Caminhões Pesados	120,00

Fonte: Pesquisas de Preferência Declarada (PELT, 2014)

Tais valores, como mencionado acima, referem-se ao ano de 2014. Assim, para uma análise mais precisa, seria necessário a realização da sua correção para cada um dos anos ao longo do horizonte de projeto. Como é inviável prever o comportamento da economia para um horizonte tão longo, será realizada a correção dos valores apenas até junho de 2020. Para tal, será utilizado o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) (Fundação Getúlio Vargas, 2020).

Por fim, torna-se necessário ponderar a economia anual com relação à participação de cada tipo de veículo no tráfego total. Para isso, deve-se determinar a composição do tráfego. A partir da observação dos dados referentes à contagem volumétrica de tráfego realizada em 2019, estabeleceu-se um valor

arredondado para a participação de cada tipo de veículo. Como simplificação, considerou-se que esta proporção se mantém constante ao longo de todo o horizonte de projeto. Para fins de monetização, considerou-se os coletivos na mesma categoria dos automóveis; veículos de carga ultra pesada, por sua vez, foram considerados na mesma categoria das cargas médias e pesadas. Os dados de valor do tempo corrigidos, bem como de composição do tráfego, são apresentados no Quadro 18 abaixo.

Quadro 18 – Valor do tempo após correção e composição de tráfego adotada na análise

Tipo de Veículo	Valor do Tempo (R\$/hora)	Composição do Tráfego (%)
Automóvel e Coletivo	26,50	80%
Carga Leve	132,51	5%
Carga Média/Pesada/Ultra Pesada	176,68	15%

Fonte: O autor (2020)

Por fim, realiza-se o cálculo da economia anual obtida após a construção da nova estrutura, conforme apresentado no Quadro 19 abaixo:

Quadro 19 – Valoração das reduções dos tempos de viagem.

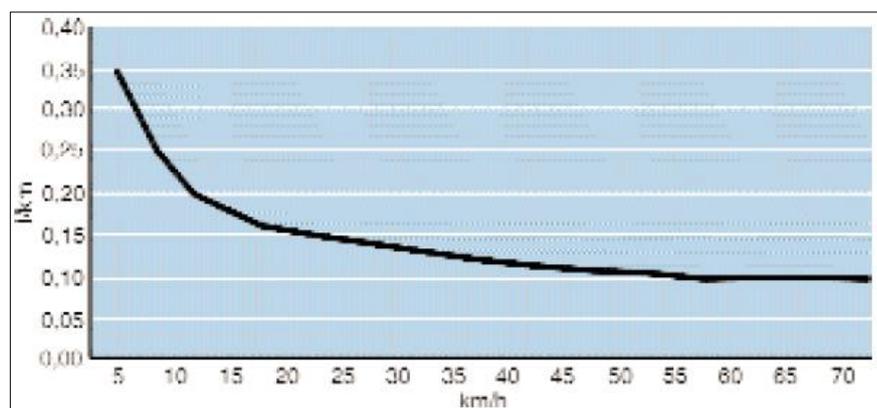
Ano de Projeto	Ano	Atraso Anual (h)	Economia Anual (R\$)
1	2025	1339	R\$ 72.758,28
2	2026	1426	R\$ 77.472,27
3	2027	1515	R\$ 82.327,68
4	2028	1615	R\$ 87.712,73
5	2029	1725	R\$ 93.702,25
6	2030	1838	R\$ 99.871,45
7	2031	1955	R\$ 106.225,72
8	2032	2076	R\$ 112.770,63
9	2033	2219	R\$ 120.529,51
10	2034	2422	R\$ 131.570,57
11	2035	2631	R\$ 142.942,86
12	2036	2847	R\$ 154.656,31
13	2037	3069	R\$ 166.721,17
14	2038	3337	R\$ 181.302,46
15	2039	3628	R\$ 197.107,42
16	2040	3928	R\$ 213.386,54
17	2041	4236	R\$ 230.154,03
18	2042	4554	R\$ 247.424,54
19	2043	4882	R\$ 265.213,16
20	2044	5219	R\$ 283.535,45

Fonte: O autor (2020)

6.4.2. Redução do custo operacional dos veículos

Para o cálculo dos benefícios provenientes da redução do custo operacional, será considerado apenas a redução do consumo de combustível dos veículos ao longo do horizonte de projeto. Esta redução de consumo se deve ao aumento na velocidade operacional dos veículos, que por sua vez é decorrente da diminuição dos tempos de viagem após a implementação do projeto. A Figura 33 apresenta a relação do consumo de gasolina em função da velocidade.

Figura 33 – Consumo de gasolina em função da velocidade do automóvel.



Fonte: ANTP (1999)

O cálculo do consumo de combustível pode ser realizado a partir da Fórmula 10 abaixo:

$$C = 0,09543 + \frac{1,26643}{v} - 0,00029 * V \quad (10)$$

Onde:

V = velocidade (km/h)

C = Consumo de gasolina (L/km)

Uma vez que a equação fornece o consumo de gasolina, e veículos coletivos e de carga utilizam o óleo diesel, fez-se necessário a adoção de uma simplificação. Dessa forma, considerou-se que todos os veículos utilizam a gasolina como combustível. Tal simplificação não tende a gerar impactos significativos na viabilidade final do projeto.

Para o cálculo da redução de consumo, torna-se necessário conhecer as velocidades operacionais dos veículos na situação “sem projeto” (V_1) e “com projeto” (V_2). Uma vez que não há na literatura nenhum método de cálculo de velocidade operacional em trechos de rodovia com pontes de faixa única e

sentido alternado, calculou-se inicialmente a velocidade operacional para a situação “com projeto”. Foi adotado o seguinte procedimento:

1. Determinação da velocidade operacional na situação “com projeto” (V_2);
2. Cálculo do tempo médio de percurso na situação “com projeto” (t_2);
3. Cálculo do atraso médio por veículo na situação “sem projeto” (Δt);
4. Cálculo do tempo médio de percurso na situação “sem projeto” ($t_1 = t_2 + \Delta t$);
5. Cálculo da velocidade operacional na situação “sem projeto” (V_1);
6. Cálculo do consumo de combustível na situação “sem projeto” (C_1) e “com projeto” (C_2);
7. Cálculo da redução do consumo de combustível (ΔC);

Para o cálculo da velocidade operacional V_2 , utilizou-se o método proposto pelo Highway Capacity Manual (HCM) (Transportation Research Board, 2000) para a determinação do nível de serviço em trechos genéricos de rodovias de pista simples. Este método se aplica ao trecho no qual se localiza a ponte sobre o Rio São Domingos, visto que este não possui faixas de ultrapassagem ou faixas adicionais para veículos lentos.

Uma vez que a elucidação do método do HCM não consiste no objetivo fim deste trabalho, sendo utilizado apenas como um meio para determinar a economia de combustível, este não será aprofundado neste capítulo. Assim, para maiores informações, o HCM deve ser consultado. No entanto, foram adicionados no Apêndice A os parâmetros utilizados para o cálculo da velocidade operacional, bem como uma tabela com o cálculo detalhado de cada um dos passos citados acima.

Uma vez calculadas as velocidades V_1 e V_2 , os consumos anuais de combustível C_1 e C_2 e, conseqüentemente, a redução no consumo de combustível ΔC , resta realizar a monetização do benefício. Para tal, basta determinar o preço da gasolina e multiplicar pela quantidade de litros economizados. Estipulou-se um valor médio de 4,30 R\$/L, tomando como base a variação no preço da gasolina de 4,269 a 4,400 em julho/2020 na região de Passo Fundo - RS.

Segue abaixo o quadro-resumo com os resultados obtidos:

Quadro 20 – Monetização da redução do consumo de combustível.

Ano de Projeto	Ano	ΔC (economia anual de gasolina) (L)	Redução anual dos custos em gasolina (R\$)
1	2025	4174,8	R\$ 17.951,69
2	2026	4428,9	R\$ 19.044,31
3	2027	4688,7	R\$ 20.161,24
4	2028	4975,8	R\$ 21.395,90
5	2029	5301,0	R\$ 22.794,13
6	2030	5640,2	R\$ 24.252,68
7	2031	5988,4	R\$ 25.749,95
8	2032	6345,8	R\$ 27.286,86
9	2033	6769,4	R\$ 29.108,40
10	2034	7373,8	R\$ 31.707,40
11	2035	7993,9	R\$ 34.373,60
12	2036	8629,9	R\$ 37.108,52
13	2037	9282,3	R\$ 39.913,70
14	2038	10070,0	R\$ 43.300,87
15	2039	10920,8	R\$ 46.959,51
16	2040	11793,1	R\$ 50.710,36
17	2041	12687,3	R\$ 54.555,40
18	2042	13603,9	R\$ 58.496,63
19	2043	14546,5	R\$ 62.549,79
20	2044	15513,6	R\$ 66.708,36

Fonte: O autor (2020)

6.4.3. Redução do número de acidentes

Um dos benefícios que se espera obter após a construção da nova estrutura é a redução do número de acidentes, visto que não mais haverá concorrência de dois sentidos de tráfego para a utilização de uma mesma faixa. No entanto, não se encontrou estudos que relacionassem a taxa de acidentes com o número de conflitos⁵ ocorridos em pontes de operação “tipo C”.

⁵ Conforme definição apresentada no item 4.5.

Assim, visto que não é possível atrelar os dados de acidente a nenhum parâmetro operacional da estrutura, serão considerados dois cenários hipotéticos para análise, quais sejam:

- a) O número de acidentes permanecerá constante;
- b) O número de acidentes será reduzido a zero.

No cenário “a”, considera-se que a implementação de uma nova estrutura não alterará os níveis de segurança no trecho. Essa hipótese tende ao contrassenso, uma vez que as pontes modernas comprovadamente oferecem maior segurança aos usuários. No cenário “b”, considera-se que a nova estrutura fornecerá um nível de segurança capaz de impedir a ocorrência de qualquer acidente no local. Essa hipótese também é improvável, visto que a ocorrência de acidentes, conforme citado no item 5.4.2., não se dá apenas pelas condições da infraestrutura, mas sim por uma complexa interação entre esta, os veículos, o meio ambiente e o fator humano.

Estes cenários hipotéticos representam duas situações extremas, e cuja ocorrência é pouco provável. Dessa forma, pode-se concluir que os resultados a serem observados no cenário real estarão em algum ponto compreendido entre os dois extremos analisados.

Para a realização da análise, será utilizado o histórico de ocorrência de acidentes no local referente aos últimos 5 anos – período compreendido entre janeiro/2015 e dezembro/2019 –, números estes retirados da base de dados do CRBM – RS. Assim, será considerado que, para o cenário “a”, a cada cinco anos, o número de acidentes observado irá se repetir.

Por fim, resta a realização da monetização de cada tipo de acidente. Para tal, utilizou-se os custos médios por gravidade de acidente fornecidos pelo IPEA (2015) em estudo realizado nas rodovias federais brasileiras.

Quadro 21 – Custo total e médio por gravidade acidente nas rodovias federais brasileiras.

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo total (R\$ de dez./2014)	Custo médio (R\$ de dez./2014)
Com fatalidade	6.743	4.482.891.117	664.821,46
Com vítimas	62.346	6.031.838.004	96.747,79
Sem vítimas	98.158	2.306.592.728	23.498,77
Total	167.247	12.821.321.848	261.689

Fonte: Ipea, Denatran e ANTP (2006), com atualização da base de acidentes da PRF (2014).

Como estes valores são relativos à 2014, realizou-se a correção pelo IGP-M, a exemplo do valor do tempo. Assim, para o cálculo dos benefícios obtidos no cenário “b”, basta multiplicar a quantidade de acidentes observada pelo seu respectivo valor monetário. O Quadro 22 apresenta os valores fornecidos pelo IPEA após correção, bem como o custo total dos acidentes a ser considerado a cada cinco anos. A

partir deste custo total, calcula-se o custo anual médio dos acidentes, valor este a ser considerado no fluxo de caixa do projeto.

Quadro 22 – Cálculo do custo médio anual dos acidentes

Custo por Tipo de Acidente (corrigido) (R\$)			Nº de Acidentes Verificados nos últimos 5 anos			Custo Total dos Acidentes (a cada 5 anos) (R\$)	Custo Médio Anual (R\$)
C/ Fatalidade	C/ Vítimas	Sem Vítimas	Com Fatalidade	Com Vítimas	Sem Vítimas		
R\$ 978.812,85	R\$ 142.441,22	R\$ 34.597,00	1	5	10	R\$ 2.036.988,95	R\$ 407.397,79

Fonte: O autor (2020)

Assim, uma vez que no cenário “b” o número de acidentes é nulo, o custo médio anual de acidentes calculado no quadro anterior será contabilizado como o benefício anual obtido neste cenário ao longo do horizonte de projeto. Já para o cenário “a”, caso em que o número de acidentes é considerado constante, os benefícios serão nulos. Os resultados são apresentados no Quadro 23 abaixo.

Quadro 23 – Valoração da redução de acidentes a ser contabilizada no cenário “b”

Ano de Projeto	Ano	Economia Anual Total (R\$)
1	2025	R\$ 407.397,79
2	2026	R\$ 407.397,79
3	2027	R\$ 407.397,79
4	2028	R\$ 407.397,79
5	2029	R\$ 407.397,79
6	2030	R\$ 407.397,79
7	2031	R\$ 407.397,79
8	2032	R\$ 407.397,79
9	2033	R\$ 407.397,79
10	2034	R\$ 407.397,79
11	2035	R\$ 407.397,79
12	2036	R\$ 407.397,79
13	2037	R\$ 407.397,79
14	2038	R\$ 407.397,79
15	2039	R\$ 407.397,79
16	2040	R\$ 407.397,79
17	2041	R\$ 407.397,79
18	2042	R\$ 407.397,79
19	2043	R\$ 407.397,79
20	2044	R\$ 407.397,79

Fonte: O autor (2020)

6.5. COMPOSIÇÃO DO FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

Após a monetização de todos os custos e benefícios relativos ao projeto, calculados nas etapas anteriores do trabalho, torna-se possível compor o seu fluxo de caixa. Conforme citado na etapa de previsão de tráfego do capítulo 4, será considerado na análise um período de construção de um ano, ao longo de 2024, que corresponde ao período zero do projeto.

Uma vez que foram estabelecidos dois cenários para o cálculo dos benefícios relativos à redução de acidentes, torna-se necessário compor dois fluxos de caixa. Os valores adicionados nos fluxos não foram descontados pela TMA, etapa esta que será realizada a seguir.

Quadro 24 – Fluxo de caixa do projeto para o cenário “a”

Ano de Projeto	Ano	Custos (R\$)	Benefícios (R\$)		Total (R\$)
		Implantação	Redução dos tempos de viagem	Redução do consumo de combustível	
0	2024	-R\$ 4.050.000,00	–	–	-R\$ 4.050.000,00
1	2025	–	R\$ 49.418,44	R\$ 17.951,69	R\$ 67.370,14
2	2026	–	R\$ 52.620,25	R\$ 19.044,31	R\$ 71.664,56
3	2027	–	R\$ 55.918,11	R\$ 20.161,24	R\$ 76.079,36
4	2028	–	R\$ 59.575,72	R\$ 21.395,90	R\$ 80.971,62
5	2029	–	R\$ 63.643,88	R\$ 22.794,13	R\$ 86.438,01
6	2030	–	R\$ 67.834,09	R\$ 24.252,68	R\$ 92.086,77
7	2031	–	R\$ 72.150,00	R\$ 25.749,95	R\$ 97.899,96
8	2032	–	R\$ 76.595,39	R\$ 27.286,86	R\$ 103.882,25
9	2033	–	R\$ 81.865,34	R\$ 29.108,40	R\$ 110.973,74
10	2034	–	R\$ 89.364,58	R\$ 31.707,40	R\$ 121.071,98
11	2035	–	R\$ 97.088,79	R\$ 34.373,60	R\$ 131.462,39
12	2036	–	R\$ 105.044,74	R\$ 37.108,52	R\$ 142.153,25
13	2037	–	R\$ 113.239,36	R\$ 39.913,70	R\$ 153.153,06
14	2038	–	R\$ 123.143,17	R\$ 43.300,87	R\$ 166.444,04
15	2039	–	R\$ 133.878,13	R\$ 46.959,51	R\$ 180.837,64
16	2040	–	R\$ 144.935,13	R\$ 50.710,36	R\$ 195.645,49
17	2041	–	R\$ 156.323,84	R\$ 54.555,40	R\$ 210.879,25
18	2042	–	R\$ 168.054,22	R\$ 58.496,63	R\$ 226.550,85
19	2043	–	R\$ 180.136,50	R\$ 62.549,79	R\$ 242.686,29
20	2044	–	R\$ 192.581,25	R\$ 66.708,36	R\$ 259.289,61

Fonte: O autor (2020)

Quadro 25 – Fluxo de caixa do projeto para o cenário “b”

Ano de Projeto	Ano	Custos (R\$)	Benefícios (R\$)			Total (R\$)
		Implantação	Redução dos tempos de viagem	Redução do consumo de combustível	Redução dos acidentes	
0	2024	-R\$ 4.050.000,00	-	-	-	-R\$ 4.050.000,00
1	2025	-	R\$ 49.418,44	R\$ 17.951,69	R\$ 407.397,79	R\$ 474.767,93
2	2026	-	R\$ 52.620,25	R\$ 19.044,31	R\$ 407.397,79	R\$ 479.062,35
3	2027	-	R\$ 55.918,11	R\$ 20.161,24	R\$ 407.397,79	R\$ 483.477,15
4	2028	-	R\$ 59.575,72	R\$ 21.395,90	R\$ 407.397,79	R\$ 488.369,41
5	2029	-	R\$ 63.643,88	R\$ 22.794,13	R\$ 407.397,79	R\$ 493.835,80
6	2030	-	R\$ 67.834,09	R\$ 24.252,68	R\$ 407.397,79	R\$ 499.484,56
7	2031	-	R\$ 72.150,00	R\$ 25.749,95	R\$ 407.397,79	R\$ 505.297,75
8	2032	-	R\$ 76.595,39	R\$ 27.286,86	R\$ 407.397,79	R\$ 511.280,04
9	2033	-	R\$ 81.865,34	R\$ 29.108,40	R\$ 407.397,79	R\$ 518.371,53
10	2034	-	R\$ 89.364,58	R\$ 31.707,40	R\$ 407.397,79	R\$ 528.469,77
11	2035	-	R\$ 97.088,79	R\$ 34.373,60	R\$ 407.397,79	R\$ 538.860,18
12	2036	-	R\$ 105.044,74	R\$ 37.108,52	R\$ 407.397,79	R\$ 549.551,04
13	2037	-	R\$ 113.239,36	R\$ 39.913,70	R\$ 407.397,79	R\$ 560.550,85
14	2038	-	R\$ 123.143,17	R\$ 43.300,87	R\$ 407.397,79	R\$ 573.841,83
15	2039	-	R\$ 133.878,13	R\$ 46.959,51	R\$ 407.397,79	R\$ 588.235,43
16	2040	-	R\$ 144.935,13	R\$ 50.710,36	R\$ 407.397,79	R\$ 603.043,28
17	2041	-	R\$ 156.323,84	R\$ 54.555,40	R\$ 407.397,79	R\$ 618.277,04
18	2042	-	R\$ 168.054,22	R\$ 58.496,63	R\$ 407.397,79	R\$ 633.948,64
19	2043	-	R\$ 180.136,50	R\$ 62.549,79	R\$ 407.397,79	R\$ 650.084,08
20	2044	-	R\$ 192.581,25	R\$ 66.708,36	R\$ 407.397,79	R\$ 666.687,40

Fonte: O autor (2020)

6.6. CÁLCULO DOS INDICADORES ECONÔMICOS

Conforme apresentado no capítulo 5, a viabilidade de um projeto pode ser verificada através de indicadores econômicos, tais como o VPL, a TIR e a relação B/C. O cálculo destes indicadores é atrelado à escolha de uma taxa de desconto, também chamada de taxa mínima de atratividade (TMA). Assim, será adotada neste trabalho uma TMA de 10%, taxa esta recomendada pelo IPEA para a análise de projetos de infraestrutura avaliados a partir de 2019.

A seguir, serão apresentados os quadros-resumo contendo os indicadores econômicos obtidos para os cenários “a” e “b”, respectivamente. O cálculo detalhado do VPL encontra-se no Apêndice B.

Quadro 26 – Indicadores econômicos do cenário “a”

Indicador	Custos	Benefícios	Total
VPL	-4.050.000,00	957.155,43	-3.092.844,57
TIR	–	–	-2,7%
B/C	–	–	0,24

Fonte: O autor (2020)

Quadro 27 – Indicadores econômicos do cenário “b”

Indicador	Custos	Benefícios	Total
VPL	-4.050.000,00	4.425.562,47	375.562,47
TIR	–	–	11,3%
B/C	–	–	1,09

Fonte: O autor (2020)

A partir da observação do Quadro 26, verifica-se que o valor do VPL e da TIR são negativos, ao passo que a relação B/C é menor que 1, de forma que, caso o cenário “a” se concretizasse, o projeto não seria economicamente viável. O cenário “b” (Quadro 27), por sua vez, gerou um VPL positivo, uma TIR maior que a TMA aplicada e uma relação B/C maior que 1. Assim, caso o cenário “b” se concretizasse, o projeto seria viável.

6.7. CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO

A partir da análise dos fluxos de caixa dos dois cenários e dos seus respectivos indicadores econômicos, verifica-se o grande impacto que os benefícios advindos da redução de acidentes têm sobre a viabilidade econômica do projeto. Uma vez que não é possível garantir com embasamento científico o número de acidentes que serão evitados após a implementação do projeto, não há como atestar a sua viabilidade. No entanto, é possível observar quais os benefícios mínimos que a estrutura deve gerar a fim de se tornar economicamente viável.

Ao se obter um VPL nulo, uma TIR igual à TMA e uma relação B/C igual à 1, o valor dos benefícios se iguala ao valor dos custos do projeto, de forma que esta situação pode ser considerada como o limite da viabilidade da obra. Assim, buscou-se verificar qual a economia anual mínima relativa à redução de acidentes seria necessária para que os indicadores econômicos pudessem resultar nestes valores-limite, mantendo-se constantes os demais custos e benefícios do fluxo de caixa.

Após a realização de um processo de tentativa e erro em planilha eletrônica, observou-se que o VPL se anula para um benefício anual de R\$ 363.284,40. Isto é equivalente a uma economia de R\$ 1.816.422,00 a cada cinco anos. Para que esta economia seja obtida, pelo menos um dos cenários demonstrados no Quadro 28 deve ocorrer:

Quadro 28 – Condições de redução de acidentes necessárias para a garantia de viabilidade do projeto

Situação	Número máximo de ocorrência de acidentes (em 5 anos)			Número de acidentes a serem evitados (em 5 anos)			Benefício (R\$)
	Com Fatalidade	Com Vítimas	Sem Vítimas	Com Fatalidade	Com Vítimas	Sem Vítimas	
Cenário 1	0	0	6	1	5	4	R\$ 1.829.406,95
Cenário 2	0	1	2	1	4	8	R\$ 1.825.353,73

Fonte: O autor.

A fim de se verificar quais as condições necessárias para garantir a viabilidade do projeto, deve-se realizar uma análise de sensibilidade. Por definição, esta consiste na alteração dos parâmetros de entrada de um projeto a fim de se verificar o seu impacto na viabilidade final. Uma vez que os benefícios advindos da redução do tempo de viagem e da redução do consumo de combustível estão diretamente atrelados ao VDM, um exemplo de análise de sensibilidade passível de aplicação seria alterar a taxa de crescimento utilizada na projeção de tráfego. Outros exemplos são a variação da TMA ou do valor do custo do projeto. No entanto, tal análise não será realizada neste trabalho, visto que a alteração da projeção do VDM demandaria a repetição de todos os processos de cálculo demonstrados ao longo deste capítulo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A partir do diagnóstico da atual ponte sobre o Rio São Domingos, verificou-se que todas as medidas de melhoria recomendadas pela bibliografia técnica para estruturas de operação tipo “C”, apresentadas no capítulo 3, foram tomadas – ressaltando-se a necessidade de realização de algumas manutenções, cujos custos são considerados baixos. Assim, a única intervenção relevante passível de ser implementada no local é a construção de uma nova estrutura.

Com relação à viabilidade econômica da construção de uma nova ponte, verifica-se que esta somente se justifica caso seja observada uma redução considerável no número de acidentes no local. Isso se deve ao fato de que os benefícios relativos à redução do tempo de viagem e do consumo de combustível são pequenos, e por si só não são suficientes para compensar os custos do projeto – vide indicadores econômicos obtidos para o cenário “a”. Logo, conclui-se que o fator crítico relativo a esta estrutura está relacionado à segurança dos usuários. No entanto, não se dispõe de métodos que possibilitem prever a quantidade de acidentes que a nova estrutura tende a reduzir.

Vale ressaltar que alguns custos não foram contabilizados na análise. Dentre eles, pode-se citar o custo de desapropriações, o custo de demolição da ponte atual e o custo de aterros e pavimentação relativos à conformação do traçado da rodovia à nova estrutura. Por outro lado, a projeção de tráfego adotada foi realizada com base na aplicação de uma taxa de crescimento “conservadora”, e não atrelada às projeções de crescimento econômico da região. Uma vez que os benefícios são diretamente proporcionais ao VDM, a adoção de um crescimento de tráfego maior tende a favorecer a viabilidade do projeto. Assim, para um estudo mais aprofundado, a realização de uma análise de sensibilidade se faz necessária.

Com respeito à integridade estrutural, verificou-se que a ponte atual está submetida à solicitação de cargas muito superiores àquela para qual foi projetada. Por se tratar de uma ponte antiga, já apresenta diversas patologias que, caso não tratadas, tendem a se agravar. Manutenções desse tipo são caras, de forma que não faz sentido empregar dinheiro público para a correção e reforço de uma estrutura que por si só já é inadequada. Logo, independentemente da viabilidade econômica, eventualmente a construção de uma nova estrutura se fará necessária, sob pena de gerar a interdição da ponte atual, interrompendo o fluxo de veículos de uma importante rota da região.

No entanto, considera-se este trabalho relevante na medida em que, tendo em vista o grande número de pontes estreitas espalhadas pelo estado e considerando-se as restrições orçamentárias dos cofres públicos, apresenta um método que pode ser utilizado para ranqueamento destas estruturas e para o estabelecimento de prioridades. Alternativamente, apresenta medidas de melhoria aplicáveis para aquelas cuja substituição não esteja prevista no curto prazo.

REFERÊNCIAS

ADLER, H. A. **Economic appraisal of transport projects: a manual with case studies.** rev. exp. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1987, EDI Series in Economic Development.

BARRETO, J. R. F. **Indicadores da função transporte para empresas de utility: um estudo de caso.** 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais.** Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/698_manual_de_projeto_de_obras_de_arte_especiais.pdf> Acesso em: junho de 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/709_manual_de_inspecao_de_pontes_rodoviarias.pdf> Acesso em: junho de 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego.** Rio de Janeiro, 2006. 384 p (IPR. Publ., 723). Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/723_manual_estudos_trafego.pdf> Acesso em: junho de 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários.** Rio de Janeiro, 2010. 159 p (IPR. Publ., 744). Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/744_manual_recuperacao_pontes_viadutos.pdf> Acesso em: junho de 2020.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; Associação Nacional de Transportes Públicos. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público: relatório síntese.** São Paulo: IPEA, 1998. Disponível em: <<http://antp.org.br/biblioteca/>>. Acesso em: maio de 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Estimação da taxa de desconto para investimentos em infraestrutura no Brasil.** [Brasília]: IPEA, 2019. 74 p.

BRASIL. Ministério da Economia. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea.** Brasília, 2015. 13 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP_Estimativa_2015.pdf> Acesso em: maio de 2020.

BRASIL. Ministério da Justiça. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Serviços de engenharia: manual de pontes estreitas.** Brasília: Denatran, 1979. 57p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Informática Técnico Científica. **Defensas Rodoviárias**. Rio de Janeiro, 1979.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**: uma apresentação didática. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2020.

CONTADOR, C. R. **Projetos Sociais**: avaliação e prática. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

DALBEM, M. C.; BRANDÃO, L.; SOARES, D. L. A. M. **Avaliação econômica de projetos de transporte**: melhores práticas e recomendações para o Brasil. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 44, n. 1, p. 87-117, jan./fev. 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects**. Brussels, 2014. Disponível em: <https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf>. Acesso em: maio de 2020.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Instituto Brasileiro de Economia. **FGVDados**. Rio de Janeiro, 2010. Série IGP M-FGV. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>>. Acesso em: junho de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Instrução de Serviços para Estudos de Tráfego**. Porto Alegre, 2010. 17 p. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27144051-instrucoes-de-servico-para-estudo-de-trafego.pdf>> Acesso em: maio de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Normas de Projetos Rodoviários**. Vol. 1. Porto Alegre, 1991. 5v. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27143350-normas-projetos-geometrico.pdf>> Acesso em: maio de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Plano Estadual de Logística e Transportes do Rio Grande do Sul. **Produto P10**: modelagem. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://transportes.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/06173256-produto-p10-modelagem.pdf>> Acesso em: maio de 2020.

SAUNDERS, L.R. **Delays and conflicts at one lane bridges**. Road Research Unit Occasional Paper, Ministry of Transport, New Zealand. Wellington, 1998.

SENNA, L. A. S. Economia e Planejamento dos Transportes – 1ªed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SUMMERSGILL, I. M.; **The control of shuttle working on narrow bridges**. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, 1982. Disponível em: <<https://trl.co.uk/sites/default/files/SR712.pdf>> Acesso em: maio de 2020.

UNITED STATES OF AMERICA. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. Washington D.C.: Nacional Research Council, 2000.

THE WORLD BANK (1998). **Handbook on Economic Analysis of Investment Operations**. Washington, DC.

WORLD BANK. TRN-5. Transport Notes. **A framework for the economic evaluation of transport project**. Washington D.C., 2005. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11791/339260rev.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: maio de 2020.

WORLD BANK. TRN-6. Transport Notes. **When and How to Use NPV, IRR and Modified IRR**. Washington D.C., 2005. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11792/339270rev.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: maio de 2020.

WORLD BANK. TRN-9. Transport Notes. **Where to Use Cost Effectiveness Techniques Rather Than Cost-Benefit Analysis**. Washington D.C., 2005. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11800/339360rev0trn0150EENote2pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: maio de 2020.

WORLD BANK. TRN-14. Transport Notes. **Sources of Operating Costs**. Washington D.C., 2005. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11801/339350trn114120EENote2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: maio de 2020.

WORLD BANK. TRN-15. **Valuation of Time Savings**. Washington D.C., 2005. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11800/339360rev0trn0150EENote2pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: maio de 2020.

APÊNDICE A – Cálculo das velocidades operacionais e do consumo de combustível nos cenários “sem projeto” e “com projeto”

- 1) Parâmetros da rodovia utilizados para o cálculo da velocidade operacional a partir da aplicação do método do HCM para rodovias de pista simples.

Parâmetros da Rodovia	
Categoria da rodovia (Classificação HCM para pistas simples)	I
Tipo de terreno	Ondulado
Distância do trecho (km)	11,57
Nº de acessos	47
Acesso/km	4
Largura da Faixa (m)	3,3
Largura do Acostamento (m)	0 - 1,1
Porcentagem de caminhões e ônibus no tráfego (ρ_T)	20%
Porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida (ambos os sentidos)	60%
Velocidade de Fluxo Livre Básica - v_{fb} (km/h)	100

- 2) Coeficientes de ajuste obtidos a partir da correlação entre os parâmetros da rodovia e as fórmulas fornecidas pelo HCM.

Coeficientes de Ajuste								
Velocidade de Fluxo Livre (v_f)				Fluxo Equivalente (q_{pb})				
f_{LS}	f_A	v_{fb}	v_f	FHP	f_{VG}	E_{VT}	E_{VR}	F_{VHV}
5,9	4	100	90	0,88	0,93	1,9	0	0,847

3) Cálculo das velocidades operacionais e do consumo de combustível.

Ano de Projeto	Ano	VDM	Com Projeto (ponte nova)							
			q (veic/h) (q = 0,09 * VDM)	q/FHP	qvb (veic/h)	Fnp	V média (V ₂) (km/h)	Tempo médio de percurso (t ₂) (min)	Consumo Anual de Combustível (C ₂) (L)	Custo Anual com Combustível (R\$)
1	2025	2784	251	285	361	5,33	80,3	8,65	1.033.751,84	R\$ 4.445.132,89
2	2026	2867	258	293	372	5,43	80,0	8,68	1.066.170,85	R\$ 4.584.534,65
3	2027	2953	266	302	383	5,54	79,8	8,70	1.099.651,75	R\$ 4.728.502,54
4	2028	3042	274	311	395	5,65	79,5	8,73	1.134.232,22	R\$ 4.877.198,53
5	2029	3133	282	320	407	5,67	79,3	8,75	1.169.375,56	R\$ 5.028.314,90
6	2030	3227	290	330	419	5,62	79,2	8,76	1.205.151,14	R\$ 5.182.149,90
7	2031	3324	299	340	431	5,57	79,1	8,77	1.242.043,07	R\$ 5.340.785,21
8	2032	3424	308	350	444	5,52	79,0	8,78	1.280.087,55	R\$ 5.504.376,48
9	2033	3526	317	361	458	5,47	78,9	8,80	1.319.322,03	R\$ 5.673.084,74
10	2034	3632	327	371	471	5,41	78,8	8,81	1.359.785,27	R\$ 5.847.076,65
11	2035	3741	337	383	485	5,36	78,7	8,82	1.401.517,37	R\$ 6.026.524,70
12	2036	3853	347	394	500	5,30	78,5	8,84	1.444.559,87	R\$ 6.211.607,46
13	2037	3969	357	406	515	5,24	78,4	8,85	1.488.955,77	R\$ 6.402.509,82
14	2038	4088	368	418	530	5,18	78,3	8,87	1.534.749,59	R\$ 6.599.423,23
15	2039	4211	379	431	546	5,11	78,2	8,88	1.581.987,43	R\$ 6.802.545,96
16	2040	4337	390	444	563	5,05	78,0	8,90	1.630.717,07	R\$ 7.012.083,39
17	2041	4467	402	457	580	4,98	77,9	8,91	1.680.987,98	R\$ 7.228.248,30
18	2042	4601	414	471	597	4,91	77,7	8,93	1.732.851,44	R\$ 7.451.261,17
19	2043	4739	427	485	615	4,83	77,6	8,95	1.786.210,76	R\$ 7.680.706,27
20	2044	4881	439	499	633	4,73	77,4	8,96	1.841.225,33	R\$ 7.917.268,91

Ano de Projeto	Ano	VDM	Sem Projeto (ponte atual)								Redução anual de consumo de combustível ($\Delta C = C1 - C2$) (L)	Economia anual de gastos em combustível
			Atraso Diário Total (min)	Atraso Médio por Veículo (Δt) (min/veic)	Tempo médio de percurso ($t_1 = t_2 + \Delta t$) (min)	V média (V _i) (km/h)	ΔV (km/h)	Consumo Anual de Combustível (C1) (L)	Custo Anual com Combustível (R\$)			
1	2025	2784	220	0,08	8,73	79,5	0,73	1.037.926,65	R\$ 4.463.084,59	4.174,81	R\$ 17.951,69	
2	2026	2867	234	0,08	8,76	79,3	0,75	1.070.599,76	R\$ 4.603.578,96	4.428,91	R\$ 19.044,31	
3	2027	2953	249	0,08	8,79	79,0	0,77	1.104.340,41	R\$ 4.748.663,78	4.688,66	R\$ 20.161,24	
4	2028	3042	265	0,09	8,82	78,7	0,79	1.139.208,01	R\$ 4.898.594,43	4.975,79	R\$ 21.395,90	
5	2029	3133	284	0,09	8,84	78,5	0,81	1.174.676,52	R\$ 5.051.109,03	5.300,96	R\$ 22.794,13	
6	2030	3227	302	0,09	8,85	78,4	0,84	1.210.791,30	R\$ 5.206.402,58	5.640,16	R\$ 24.252,68	
7	2031	3324	321	0,10	8,87	78,3	0,86	1.248.031,43	R\$ 5.366.535,17	5.988,36	R\$ 25.749,95	
8	2032	3424	341	0,10	8,88	78,1	0,89	1.286.433,33	R\$ 5.531.663,34	6.345,78	R\$ 27.286,86	
9	2033	3526	365	0,10	8,90	78,0	0,92	1.326.091,43	R\$ 5.702.193,14	6.769,40	R\$ 29.108,40	
10	2034	3632	398	0,11	8,92	77,8	0,97	1.367.159,08	R\$ 5.878.784,05	7.373,81	R\$ 31.707,40	
11	2035	3741	433	0,12	8,94	77,7	1,02	1.409.511,23	R\$ 6.060.898,30	7.993,86	R\$ 34.373,60	
12	2036	3853	468	0,12	8,96	77,5	1,06	1.453.189,76	R\$ 6.248.715,98	8.629,89	R\$ 37.108,52	
13	2037	3969	504	0,13	8,98	77,3	1,11	1.498.238,03	R\$ 6.442.423,52	9.282,26	R\$ 39.913,70	
14	2038	4088	549	0,13	9,00	77,1	1,17	1.544.819,56	R\$ 6.642.724,10	10.069,97	R\$ 43.300,87	
15	2039	4211	596	0,14	9,02	76,9	1,23	1.592.908,25	R\$ 6.849.505,47	10.920,82	R\$ 46.959,51	
16	2040	4337	646	0,15	9,05	76,7	1,28	1.642.510,17	R\$ 7.062.793,75	11.793,11	R\$ 50.710,36	
17	2041	4467	696	0,16	9,07	76,5	1,34	1.693.675,28	R\$ 7.282.803,70	12.687,30	R\$ 54.555,40	
18	2042	4601	749	0,16	9,09	76,3	1,39	1.746.455,30	R\$ 7.509.757,80	13.603,87	R\$ 58.496,63	
19	2043	4739	802	0,17	9,12	76,1	1,44	1.800.757,22	R\$ 7.743.256,05	14.546,46	R\$ 62.549,79	
20	2044	4881	858	0,18	9,14	76,0	1,49	1.856.738,90	R\$ 7.983.977,27	15.513,57	R\$ 66.708,36	

APENDICE B – Cálculo do VPL

Cenário "a" (sem redução de acidentes)							
Ano de Projeto	Ano	Custos (R\$)	Benefícios (R\$)		Subtotal Benefícios (R\$)	Total (R\$)	VPL Total (R\$)
			Redução dos tempos de viagem	Redução do consumo de combustível			
0	2024	-R\$ 4.050.000,00	-	-	-	-R\$ 4.050.000,00	-R\$ 4.050.000,00
1	2025	-	R\$ 49.418,44	R\$ 17.951,69	R\$ 67.370,14	R\$ 67.370,14	R\$ 61.245,58
2	2026	-	R\$ 52.620,25	R\$ 19.044,31	R\$ 71.664,56	R\$ 71.664,56	R\$ 59.226,91
3	2027	-	R\$ 55.918,11	R\$ 20.161,24	R\$ 76.079,36	R\$ 76.079,36	R\$ 57.159,55
4	2028	-	R\$ 59.575,72	R\$ 21.395,90	R\$ 80.971,62	R\$ 80.971,62	R\$ 55.304,70
5	2029	-	R\$ 63.643,88	R\$ 22.794,13	R\$ 86.438,01	R\$ 86.438,01	R\$ 53.671,20
6	2030	-	R\$ 67.834,09	R\$ 24.252,68	R\$ 92.086,77	R\$ 92.086,77	R\$ 51.980,58
7	2031	-	R\$ 72.150,00	R\$ 25.749,95	R\$ 97.899,96	R\$ 97.899,96	R\$ 50.238,16
8	2032	-	R\$ 76.595,39	R\$ 27.286,86	R\$ 103.882,25	R\$ 103.882,25	R\$ 48.461,84
9	2033	-	R\$ 81.865,34	R\$ 29.108,40	R\$ 110.973,74	R\$ 110.973,74	R\$ 47.063,70
10	2034	-	R\$ 89.364,58	R\$ 31.707,40	R\$ 121.071,98	R\$ 121.071,98	R\$ 46.678,49
11	2035	-	R\$ 97.088,79	R\$ 34.373,60	R\$ 131.462,39	R\$ 131.462,39	R\$ 46.076,77
12	2036	-	R\$ 105.044,74	R\$ 37.108,52	R\$ 142.153,25	R\$ 142.153,25	R\$ 45.294,41
13	2037	-	R\$ 113.239,36	R\$ 39.913,70	R\$ 153.153,06	R\$ 153.153,06	R\$ 44.362,99
14	2038	-	R\$ 123.143,17	R\$ 43.300,87	R\$ 166.444,04	R\$ 166.444,04	R\$ 43.829,92
15	2039	-	R\$ 133.878,13	R\$ 46.959,51	R\$ 180.837,64	R\$ 180.837,64	R\$ 43.291,09
16	2040	-	R\$ 144.935,13	R\$ 50.710,36	R\$ 195.645,49	R\$ 195.645,49	R\$ 42.578,16
17	2041	-	R\$ 156.323,84	R\$ 54.555,40	R\$ 210.879,25	R\$ 210.879,25	R\$ 41.721,33
18	2042	-	R\$ 168.054,22	R\$ 58.496,63	R\$ 226.550,85	R\$ 226.550,85	R\$ 40.747,16
19	2043	-	R\$ 180.136,50	R\$ 62.549,79	R\$ 242.686,29	R\$ 242.686,29	R\$ 39.681,15
20	2044	-	R\$ 192.581,25	R\$ 66.708,36	R\$ 259.289,61	R\$ 259.289,61	R\$ 38.541,75
ΣVPL							-R\$ 3.092.844,57

Cenário "b" (com redução de acidentes)									
Ano de Projeto	Ano	Subtotal Custos (R\$)	Benefícios (R\$)			Subtotal Benefícios (R\$)	Total (R\$)	VPL Total (R\$)	
			Redução dos tempos de viagem	Redução do consumo de combustível	Redução dos acidentes				
0	2024	-R\$ 4.050.000,00	-	-	-	-	-R\$ 4.050.000,00	-R\$ 4.050.000,00	
1	2025	-	R\$ 49.418,44	R\$ 17.951,69	R\$ 407.397,79	R\$ 474.767,93	R\$ 474.767,93	R\$ 431.607,21	
2	2026	-	R\$ 52.620,25	R\$ 19.044,31	R\$ 407.397,79	R\$ 479.062,35	R\$ 479.062,35	R\$ 395.919,30	
3	2027	-	R\$ 55.918,11	R\$ 20.161,24	R\$ 407.397,79	R\$ 483.477,15	R\$ 483.477,15	R\$ 363.243,54	
4	2028	-	R\$ 59.575,72	R\$ 21.395,90	R\$ 407.397,79	R\$ 488.369,41	R\$ 488.369,41	R\$ 333.562,88	
5	2029	-	R\$ 63.643,88	R\$ 22.794,13	R\$ 407.397,79	R\$ 493.835,80	R\$ 493.835,80	R\$ 306.633,18	
6	2030	-	R\$ 67.834,09	R\$ 24.252,68	R\$ 407.397,79	R\$ 499.484,56	R\$ 499.484,56	R\$ 281.946,01	
7	2031	-	R\$ 72.150,00	R\$ 25.749,95	R\$ 407.397,79	R\$ 505.297,75	R\$ 505.297,75	R\$ 259.297,64	
8	2032	-	R\$ 76.595,39	R\$ 27.286,86	R\$ 407.397,79	R\$ 511.280,04	R\$ 511.280,04	R\$ 238.515,91	
9	2033	-	R\$ 81.865,34	R\$ 29.108,40	R\$ 407.397,79	R\$ 518.371,53	R\$ 518.371,53	R\$ 219.840,13	
10	2034	-	R\$ 89.364,58	R\$ 31.707,40	R\$ 407.397,79	R\$ 528.469,77	R\$ 528.469,77	R\$ 203.747,97	
11	2035	-	R\$ 97.088,79	R\$ 34.373,60	R\$ 407.397,79	R\$ 538.860,18	R\$ 538.860,18	R\$ 188.867,21	
12	2036	-	R\$ 105.044,74	R\$ 37.108,52	R\$ 407.397,79	R\$ 549.551,04	R\$ 549.551,04	R\$ 175.103,90	
13	2037	-	R\$ 113.239,36	R\$ 39.913,70	R\$ 407.397,79	R\$ 560.550,85	R\$ 560.550,85	R\$ 162.371,61	
14	2038	-	R\$ 123.143,17	R\$ 43.300,87	R\$ 407.397,79	R\$ 573.841,83	R\$ 573.841,83	R\$ 151.110,49	
15	2039	-	R\$ 133.878,13	R\$ 46.959,51	R\$ 407.397,79	R\$ 588.235,43	R\$ 588.235,43	R\$ 140.818,89	
16	2040	-	R\$ 144.935,13	R\$ 50.710,36	R\$ 407.397,79	R\$ 603.043,28	R\$ 603.043,28	R\$ 131.239,79	
17	2041	-	R\$ 156.323,84	R\$ 54.555,40	R\$ 407.397,79	R\$ 618.277,04	R\$ 618.277,04	R\$ 122.322,82	
18	2042	-	R\$ 168.054,22	R\$ 58.496,63	R\$ 407.397,79	R\$ 633.948,64	R\$ 633.948,64	R\$ 114.021,23	
19	2043	-	R\$ 180.136,50	R\$ 62.549,79	R\$ 407.397,79	R\$ 650.084,08	R\$ 650.084,08	R\$ 106.293,94	
20	2044	-	R\$ 192.581,25	R\$ 66.708,36	R\$ 407.397,79	R\$ 666.687,40	R\$ 666.687,40	R\$ 99.098,83	
ΣVPL								R\$ 375.562,47	

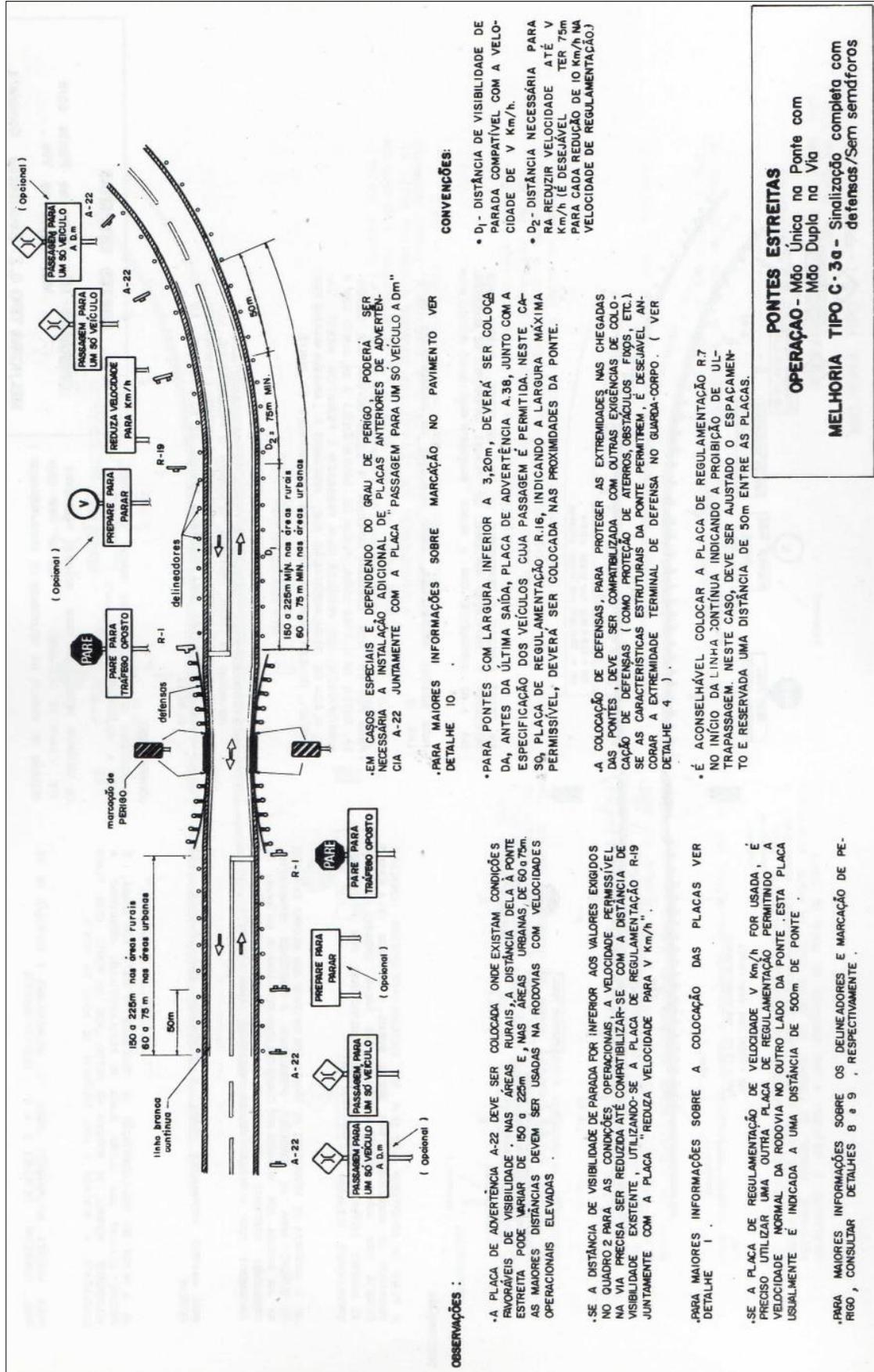
ANEXO A – Fluxo horário ao longo do período de coleta

H. início	H. Fim	Quinta-Feira (24/01)	Sexta-Feira (25/01)	Sábado (26/01)	Domingo (27/01)	Segunda-Feira (28/01)	Terça-Feira (29/01)	Quarta-Feira (30/01)
00:00	00:59	13	18	47	71	33	14	15
01:00	01:59	13	11	27	43	16	09	18
02:00	02:59	12	09	18	36	09	08	05
03:00	03:59	04	11	25	15	20	10	10
04:00	04:59	13	18	12	22	19	13	21
05:00	05:59	19	20	39	42	31	19	22
06:00	06:59	103	84	44	46	107	88	82
07:00	07:59	139	156	112	76	182	168	178
08:00	08:59	166	138	148	87	154	138	154
09:00	09:59	143	137	163	101	132	145	157
10:00	10:59	118	122	156	130	155	141	149
11:00	11:59	158	165	147	76	151	134	173
12:00	12:59	95	103	88	34	122	106	122
13:00	13:59	160	164	102	115	170	156	176
14:00	14:59	143	169	127	132	184	185	168
15:00	15:59	170	174	134	118	174	155	168
16:00	16:59	166	178	144	140	146	166	189
17:00	17:59	183	224	133	176	188	199	244
18:00	18:59	168	203	112	197	177	183	221
19:00	19:59	138	179	140	177	143	139	149
20:00	20:59	90	123	102	151	101	93	89
21:00	21:59	58	80	72	84	52	67	81
22:00	22:59	63	58	58	84	54	61	55
23:00	23:59	36	59	91	39	27	29	33

ANEXO B – Critérios para atribuição de notas às Obras-de-Arte Especiais

Nota	Condição	Caracterização Estrutural	Caracterização Funcional
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que dispensam intervenções imediatas, mas que requerem ações de médio prazo.
2	Ruim	Há danos comprometendo a segurança estrutural da OAE. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	A OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural da OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial do tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.

ANEXO C – Melhorias recomendadas pelo Manual de Pontes Estreitas



EM CASOS ESPECIAIS E, DEPENDENDO DO GRAU DE PERIGO, PODERA SER NECESSARIA A INSTALACAO ADICIONAL DE PLACAS ANTERIORES DE ADVERTENCIA A-22 JUNTAMENTE COM A PLACA "PASSAGEM PARA UM SO VEICULO A Dm"

CONVENÇÕES:

- D₁ - DISTANCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA COMPATIVEL COM A VELOCIDADE DE V Km/h.
- D₂ - DISTANCIA NECESSARIA PARA RA REDUZIR VELOCIDADE ATÉ V Km/h (É DESEJAVEL TER 75m PARA CADA REDUÇAO DE 10 Km/h NA VELOCIDADE DE REGULAMENTACAO.)

PARA MAIORES INFORMACOES SOBRE MARCACAO NO PAVIMENTO VER DETALHE 10

PARA PONTES COM LARGURA INFERIOR A 3,20m, DEVERA SER COLOCADA, ANTES DA ULTIMA SAIDA, PLACA DE ADVERTENCIA A-38, JUNTO COM A ESPECIFICACAO DOS VEICULOS CUIA PASSAGEM É PERMITIDA NESTE CASO, PLACA DE REGULAMENTACAO R-16, INDICANDO A LARGURA MAXIMA PERMISSIVEL, DEVERA SER COLOCADA NAS PROXIMIDADES DA PONTE.

A COLOCACAO DE DEFENSAS PARA PROTEGER AS EXTREMIDADES NAS CHEGADAS DAS PONTES, DEVE SER COMPATIVELIZADA COM OUTRAS EXIGENCIAS DE COLOCACAO DE DEFENSAS (COMO PROTEÇAO DE ATERRIS, OBSTACULOS FIXOS, ETC.) SE AS CARACTERISTICAS ESTRUTURAIIS DA PONTE PERMITIREM, É DESEJAVEL ANCORAR A EXTREMIDADE TERMINAL DE DEFENSA NO GUARDA-CORPO. (VER DETALHE 4)

É ACONSELHAVEL COLOCAR A PLACA DE REGULAMENTACAO R-7 NO INICIO DA LINHA CONTINUA INDICANDO A PROIBICAO DE ULTRAPASSAGEM. NESTE CASO, DEVE SER AJUSTADO O ESPACAMENTO E RESERVADA UMA DISTANCIA DE 50m ENTRE AS PLACAS.

PONTES ESTREITAS
OPERACAO - Mão Única na Ponte com Mão Dupla na Via
MELHORIA TIPO C-3a - Sinalização completa com defensas/Sem semáforos

OBSERVAÇÕES:

A PLACA DE ADVERTENCIA A-22 DEVE SER COLOCADA ONDE EXISTAM CONDIÇÕES FAVORAVEIS DE VISIBILIDADE. NAS ÁREAS RURAIS, A DISTANCIA DELA À PONTE ESTREITA PODE VARIAR DE 150 a 225m E, NAS ÁREAS URBANAS DE 80 a 75m. AS MAIORES DISTANCIAS DEVEM SER USADAS NA RODOVIAS COM VELOCIDADES OPERACIONAIS ELEVADAS

SE A DISTANCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA FOR INFERIOR AOS VALORES EXIGIDOS NO QUADRO 2 PARA AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS, A VELOCIDADE PERMISSIVEL NA VIA PRECISA SER REDUZIDA ATÉ COMPATIVELIZAR-SE COM A DISTANCIA DE VISIBILIDADE EXISTENTE, UTILIZANDO-SE A PLACA DE REGULAMENTACAO R-19 JUNTAMENTE COM A PLACA "REDUZA VELOCIDADE PARA V Km/h"

PARA MAIORES INFORMACOES SOBRE A COLOCACAO DAS PLACAS VER DETALHE 1

SE A PLACA DE REGULAMENTACAO DE VELOCIDADE V Km/h FOR USADA, É PRECISO UTILIZAR UMA OUTRA PLACA DE REGULAMENTACAO PERMISSIVEL A VELOCIDADE NORMAL DA RODOVIA NO OUTRO LADO DA PONTE. ESTA PLACA USUALMENTE É INDICADA A UMA DISTANCIA DE 500m DE PONTE

PARA MAIORES INFORMACOES SOBRE OS DELINEADORES E MARCACAO DE PERIGO, CONSULTAR DETALHES 8 e 9, RESPECTIVAMENTE