

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE FADIGA DO CONCRETO
EM VIGAS DE TABULEIRO DE PONTES EM FUNÇÃO DO
FLUXO DE VEÍCULOS PESADOS**

Henriette Justina Manfredini Baroni

Porto Alegre

2010

HENRIETTE JUSTINA MANFREDINI BARONI

**SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE FADIGA DO CONCRETO
EM VIGAS DE TABULEIRO DE PONTES EM FUNÇÃO DO
FLUXO DE VEÍCULOS PESADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Porto Alegre

2010

B266s Baroni, Henriette Justina Manfredini

Simulação da vida útil de fadiga do concreto em vigas de tabuleiro de pontes em função do fluxo de veículos pesados / Henriette Justina Manfredini Baroni. – 2010.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho; coorientador: Prof. Dr. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal

1. Pontes (Engenharia). 2. Estruturas (Engenharia) - Fadiga. 3. Concreto armado. I. Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da Silva, orient. II. Gastal, Francisco de Paula Simões Lopes, coorient. III. Título.

CDU-624.012.45(043)

HENRIETTE JUSTINA MANFREDINI BARONI

**SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE FADIGA DO CONCRETO
EM VIGAS DE TABULEIRO DE PONTES EM FUNÇÃO DO
FLUXO DE VEÍCULOS PESADOS**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA, Área de Estruturas, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 01 de julho de 2010.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Dr. pela University of Leeds
orientador

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal
PhD pela North Carolina State University
co-orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC / UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profa. Michele Schubert Pfeil
Dra. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Américo Campos Filho
Dr. pela Universidade de São Paulo

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

Dedico este trabalho
ao meu esposo Zulmir e
aos meus filhos Bruno e Marco.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, por aceitar meu pedido de orientação, pela preciosa indicação do rumo da pesquisa e pela amizade.

Agradeço ao Prof. Francisco P. S. L. Gastal, pela dedicação e interesse.

Agradeço aos professores Michele Schubert Pfeil, Américo Campos Filho e Helena Beatriz Bettella Cybis, pelas valiosas contribuições prestadas no exame de qualificação.

Agradeço a CONCEPA, pela disponibilização do banco de dados.

Agradeço aos colegas, aos técnicos e aos auxiliares do LEME, pela colaboração durante as etapas do desenvolvimento deste trabalho

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS pela oportunidade e apoio no transcorrer do curso.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

BARONI, H. J. M. Simulação da vida útil de fadiga do concreto em vigas de tabuleiro de pontes em função do fluxo de veículos pesados. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A fadiga é um processo de degradação importante, que pode se manifestar de maneira intensa em estruturas sujeitas à ação de carregamentos cíclicos, tais como as pontes rodoviárias. A fadiga consiste num mecanismo de acumulação de micro-danos, que envolve a formação e o crescimento de fissuras, e que pode, depois de um determinado número de ciclos, culminar na completa fratura do material sob ação de tensões bem inferiores à sua tensão última de ruptura. No caso de pontes rodoviárias, o procedimento de cálculo visa assegurar que as tensões de trabalho nos materiais sejam pequenas, muito inferiores às tensões de ruptura, de maneira que os micro-danos sejam quase inexistentes, tornando necessário um elevadíssimo número de ciclos para provocar a fadiga. Normalmente, em projeto é considerado o efeito, em termos de tensões, da passagem do trem tipo, carregamento padrão recomendado pelas Normas Brasileiras, sobre a estrutura. Na vida real, todavia, cada veículo resulta em uma ação diferenciada sobre a estrutura, dependendo de seu peso total e da distribuição do mesmo no rodado. Fica evidente que os veículos pesados são aqueles que consomem mais rapidamente a vida útil de fadiga, pois os mesmos podem resultar em grandes diferenciais de tensão, principalmente em estruturas onde o peso próprio é relativamente pequeno. Diante da tendência de aumento do volume de tráfego e do incremento no peso total dos veículos circundantes, torna-se preocupante a situação para as pontes existentes, principalmente as mais antigas. Buscando colaborar nessa avaliação, o objetivo principal desta tese foi estudar o impacto na redução da vida útil de fadiga devido ao incremento de tráfego de veículos pesados. Foi traçando um comparativo entre a vida útil estimada de projeto, deduzida a partir da consideração do trem tipo de norma, a atual (45t) e a anterior (36t), e uma estimativa de vida útil alternativa, decorrente da consideração de espectros de carregamentos reais obtidos a partir da análise do volume e composição de tráfego de dados oficiais, CONCEPA e DNIT, em quatro postos situados ao longo da BR 290, rodovia federal brasileira. Dois modelos de vigas, foram tomados como referência para as análises, considerando-se para cada uma delas com diferentes comprimentos de vãos. Foram também estudadas simulações de situações com incrementos de veículos com sobrepeso, de fluxo de tráfego, e de efeitos da diminuição da seção resistente por deterioração da armadura por corrosão. O estudo mostra que em função do fluxo de veículos pesados pode resultar um encurtamento significativo da vida útil de estruturas antigas de pequeno porte dimensionadas para o trem tipo de 36t, e para estruturas com balanços dimensionadas para os dois trens tipo considerados.

Palavras-chave: Fadiga. Concreto. Estruturas de concreto. Pontes

ABSTRACT

BARONI, H. J. M. Simulação da vida útil de fadiga do concreto em vigas de tabuleiro de pontes em função do fluxo de veículos pesados. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Fatigue is an important degradation process, to which structures under the action of cyclic loading, such as bridges, may be subjected. It consists in a micro-damage accumulation mechanism, which involves the formation and growing of cracks. After a determined number of cycles, it can culminate on the total crack of the material under a much lower stress than its ultimate capacity. The design calculation procedure to prevent that from happening, ensures the working material stress to be much lower than the rupture stress. In such way, minimizing micro-damages, it becomes necessary a very high number of loading cycles to provoke fatigue. Usually, bridge design considers the effect of live loads through a Standard Loading Vehicle, recommended by the Brazilian Code. In real life however, each vehicle results in a different action upon the structure, depending on its total weight and axel distribution. It becomes evident that heavier vehicles are those that fastly consume the structure's fatigue life, especially for bridges with a relative small self weight. Due to the ever increasing traffic volume and total weight of the vehicles, it becomes preoccupant the situation of many existent bridges, especially the older ones. In this sense, the objective of this work is to study the impact of the increasing traffic of heavy vehicles on the reduction of the remaining bridge fatigue's life. For that purpose, a comparison was established between two different estimative analyses of a bridge service life expectation. One considers the bridge design specifications contained in the actual (45t) and previous (36t) Brazilian Codes. The other results from the consideration of a real traffic loading observation. Such traffic data was obtained in four checkpoints of a Brazilian federal highway (BR 290), by the federal agencies CONCEPA and DNIT. Two commonly used cross section beams and bridge length were considered for the analysis. With such models, different numerical simulations of increasing vehicle weight and traffic flow were performed. Furthermore, the effects of a reduced section resistance. due to corrosion deterioration of the reinforcement. were also studied. Conclusions show that the increasing traffic of heavy vehicles may result in a significant reduction of a bridge remaining service life. That is more evident for small old bridges designed under the previous Brazilian Code specifications (36t). Also, cantilevered bridge structures designed by the previous and actual Codes may be subjected to such life reduction.

Key-words: Fatigue. Concrete. Structures concrete. Bridges.

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras minúsculas

B	Largura da seção transversal da viga
D	Altura útil da viga
f_c	Resistência à compressão do concreto
f_t	Resistência à tração do concreto
f_y	Resistência ao escoamento do aço
f_n	Frequência natural da estrutura
H	Altura da seção transversal da viga
N	Número de ciclos de carregamento
K	Coefficiente de fadiga
X	Posição da linha neutra

Letras maiúsculas

D	Dano acumulado de fadiga
F_d	Valor de cálculo das ações
F_{gk}	Valor das ações permanentes diretas
F_{qk}	Valor das ações variáveis diretas
I	Momento de inércia da seção
I_{II}	Momento de inércia da seção fissurada
K	Fator de intensidade das tensões
L	Vão teórico da viga
N	Número de ciclos correspondente ao limite de fadiga
R	Relação entre tensão cíclica mínima e máxima

Letras gregas

β	Inclinação da curva S-N quando R=0
ϵ_a	Amplitude da deformação
ϵ_{ea}	Amplitude da deformação elástica
ϵ_{pa}	Amplitude da deformação plástica
ϵ'_f	Coefficiente de ductilidade à fadiga
Φ	Coefficiente de impacto
σ_a	Amplitude de tensão
σ_c	Tensão no concreto
σ_{max}	Tensão máxima
σ_{min}	Tensão mínima
σ'_f	Coefficiente de resistência à fadiga
Γ	Coefficiente de ponderação
Ψ	Fator de redução

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Organização do Trabalho	29
Figura 2.1:	(a) Curva de resistência de Von-Mises (material dúctil); (b) Curva de Resistência de Coulomb-Mohr (materiais frágeis)	38
Figura 2.2:	Curva de Resistência – material frágil sob ciclos de carga	38
Figura 2.3:	Exemplo de Curva S-N ou Curva de Wöhler	42
Figura 2.4:	Relação tensão x log N: (a) relação nível superior de tensão/no. de ciclos para ruptura; (b) influência do nível inferior de tensões	42
Figura 2.5:	Curva de Wöhler – diferentes valores de R	44
Figura 2.6:	Modos de carregamentos básicos de uma trinca	49
Figura 3.1:	Aqueduto “Pont du Gart”	63
Figura 3.2:	Ponte “Pons Aelius”	63
Figura 3.3:	Ponte de aço	64
Figura 3.4:	Detalhe elementos de uma ponte Bailey	65
Figura 3.5:	Exemplo de ponte Bailey	65
Figura 3.6:	Divisão estrutural de uma ponte	67
Figura 3.7:	Esquema de pontes em arco	68
Figura 3.8:	Tavanasa Bridge	69
Figura 3.9:	Aarburg Bridge	69
Figura 3.10:	Salginatobel Bridge	69
Figura 3.11:	Natchez Trace Parkway Arches	70
Figura 3.12:	Puente La Barqueta	70
Figura 3.13:	Puente Lusitânia	71
Figura 3.14:	Seção transversal de ponte em laje	71
Figura 3.15:	Seção transversal de ponte em laje	72
Figura 3.16:	Bird River Bridge	72
Figura 3.17:	Esquema de ponte em viga treliçada	73

Figura 3.18:	Brücke Suderelbe	73
Figura 3.19:	Esquema de pontes suspensas	74
Figura 3.20:	Ponte Hercílio Luz	74
Figura 3.21:	Tsing Ma Bridge	75
Figura 3.22:	Esquema representativo de pontes estaiadas	75
Figura 3.23:	Stonecutters Bridge	76
Figura 3.24:	Viaduto de Milau	76
Figura 3.25:	Seção Transversal Típica até 1960	80
Figura 3.26:	Seção Transversal Típica entre 1960 e 1975	81
Figura 3.27:	Seção Transversal Típica entre 1975 e 1985	81
Figura 3.28:	Seção Transversal Típica a partir de 1985	81
Figura 4.1:	Veículo trem tipo	85
Figura 4.2:	Veículo de cálculo classe 30 e classe 45	86
Figura 4.3:	Veículo de cálculo classe 12	86
Figura 4.4:	Esquema cargas ferroviárias	87
Figura 4.5:	Aplicação do Modelo LM1	90
Figura 4.6:	Aplicação do Modelo LM2	91
Figura 4.7:	Dispersão das cargas concentradas	91
Figura 4.8:	Veículos padronizados usados na norma americana	93
Figura 5.1:	Placa indicativa em ponte na BR116, fotografada em julho de 2008 ..	100
Figura 5.2:	Seção Transversal Tipo 1	102
Figura 5.3:	Seção Transversal Tipo 2	102
Figura 5.4:	Seção Transversal Viga T	104
Figura 5.5:	Trem tipo 36 (NB6/60), seção Tipo 1	106
Figura 5.6:	Trem tipo 45 (NBR7188/84), seção Tipo 2	107
Figura 5.7:	Esquemas de cargas para trens tipo 36/seção Tipo1 e 45/seção Tipo 2 .	107
Figura 5.8:	Quadro resumo: hipóteses estimativa de vida útil de fadiga e do dano	116

Figura 5.9:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas V1 ₁₋₁₀ e V2 ₁₋₁₀	126
Figura 5.10:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas V1 ₁₋₁₅ e V2 ₁₋₁₅	126
Figura 5.11:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas V1 ₁₋₂₀ e V2 ₁₋₂₀	127
Figura 5.12:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1 _{2b1-10} e V2 _{2b1-10}	127
Figura 5.13:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1 _{2b1-15} e V2 _{2b1-15}	127
Figura 5.14:	Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1 _{2b1-20} e V2 _{2b1-20}	128
Figura 5.15:	Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1 ₁₋₁₀ e V2 ₁₋₁₀	128
Figura 5.16:	Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1 ₁₋₁₅ e V2 ₁₋₁₅	128
Figura 5.17:	Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1 ₁₋₂₀ e V2 ₁₋₂₀	129
Figura 6.1:	Rodovias Federais no Rio Grande do Sul	131
Figura 6.2:	Mapa – Postos de coleta de dados	132
Figura 6.3:	Fluxo de tráfego – veículos por ano no período	135
Figura 6.4:	Espectro de carga Situação 1 – P11	136
Figura 6.5:	Espectro de carga Situação 2 – P21	136
Figura 6.6:	Espectro de carga Situação 3 – P31	137
Figura 6.7:	Espectro de carga Situação 4 – P85	137
Figura 6.8:	Distribuição de frequência de tráfego real por classe de veículo, P11 ..	139
Figura 6.9:	Distribuição de frequência de tráfego real por classe de veículo, P21 ..	140
Figura 6.10:	Distribuição de frequência de tráfego real por classe de veículo, P31 ..	140
Figura 6.11:	Distribuição de frequência de tráfego real por classe de veículo, P85 ..	140
Figura 6.12:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 ₁₋₁₀	142
Figura 6.13:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 ₁₋₁₀	142
Figura 6.14:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 ₁₋₁₅	143
Figura 6.15:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 ₁₋₁₅	143
Figura 6.16:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 ₁₋₂₀	144
Figura 6.17:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 ₁₋₂₀	144

Figura 6.18:	Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V1 ₁₋₁₀	147
Figura 6.19:	Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V2 ₁₋₁₀	147
Figura 6.20:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 _{2b1-10}	148
Figura 6.21:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 _{2b1-10}	148
Figura 6.22:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 _{2b1-15}	149
Figura 6.23:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 _{2b1-15}	149
Figura 6.24:	Vida útil de fadiga consumida no período, V1 _{2b1-20}	150
Figura 6.25:	Vida útil de fadiga consumida no período, V2 _{2b1-20}	150
Figura 6.26:	Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V1 _{2b1-10}	152
Figura 6.27:	Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V1 _{2b1-10}	153
Figura 7.1:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V1 ₁₋₁₀	159
Figura 7.2:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V2 ₁₋₁₀	160
Figura 7.3:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V1 _{2b1-10}	161
Figura 7.4:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V2 _{2b1-10}	162
Figura 7.5:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V1 ₁₋₁₀	163
Figura 7.6:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V2 ₁₋₁₀	164
Figura 7.7:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V2 ₁₋₁₀	165
Figura 7.8:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V2 _{2b1-10}	166
Figura 7.9:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, V1 ₁₋₁₀	167
Figura 7.10:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, V2 ₁₋₁₀	168
Figura 7.11:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, V1 _{2b1-10}	169
Figura 7.12:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, V1 _{2b1-10}	170
Figura 7.13:	Efeito do crescimento do no.de veículos com sobrepeso legal–V1 ₁₋₁₀	171
Figura 7.14:	Efeito do crescimento do no.de veículos com sobrepeso legal–V2 ₁₋₁₀	172

Figura 7.15:	Efeito do crescimento do no.de veículos com sobrepeso legal–V1 _{2b1-10}	172
Figura 7.16:	Efeito do crescimento do no.de veículos com sobrepeso legal–V2 _{2b1-10}	172
Figura 7.17:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V1 ₁₋₁₀	173
Figura 7.18:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V2 ₁₋₁₀	173
Figura 7.19:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V1 _{2b1-10}	174
Figura 7.20:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V2 _{2b1-10}	174
Figura 7.21:	Volume de tráfego, período +10 anos, com taxa de crescimento médio	176
Figura 7.22:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V1 ₁₋₁₀	182
Figura 7.23:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V2 ₁₋₁₀	183
Figura 7.24:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V1 _{2b1-10}	183
Figura 7.25:	Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V2 _{2b1-10}	184
Figura 7.26:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V1 ₁₋₁₀	186
Figura 7.27:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V2 ₁₋₁₀	187
Figura 7.28:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V1 _{2b1-10}	188
Figura 7.29:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V2 _{2b1-10}	189
Figura 7.30:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V1 ₁₋₁₀	190
Figura 7.31:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V2 ₁₋₁₀	191
Figura 7.32:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V2 ₁₋₁₀	192
Figura 7.33:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V2 _{2b1-10}	193
Figura 7.34:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V1 ₁₋₁₀	194
Figura 7.35:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V2 ₁₋₁₀	195
Figura 7.36:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V1 _{2b1-10}	196
Figura 7.37:	Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V2 _{2b1-10}	197
Figura 7.38:	Efeito do crescimento da deterioração, V1 ₁₋₁₀	198
Figura 7.39:	Efeito do crescimento da deterioração, V2 ₁₋₁₀	198
Figura 7.40:	Efeito do crescimento da deterioração, V1 _{2b1-10}	199
Figura 7.41:	Efeito do crescimento da deterioração, V2 _{2b1-10}	199

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Frequência crítica para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas	54
Tabela 2.2:	Valores de ψ_1	55
Tabela 2.3 :	Quadro Comparativo para Limites de fadiga	60
Tabela 4.1:	Cargas dos Veículos Tipo de acordo com NBR 7188/84	85
Tabela 4.2:	Valores numéricos da Cargas Ferroviárias de cálculo da NBR 7189/85	87
Tabela 4.3:	Número e largura de faixas de tráfego	90
Tabela 4.4:	Nomenclatura de veículos	94
Tabela 4.5:	Limite de peso por classe de veículo	97
Tabela 5.1:	Denominação das Vigas	103
Tabela 5.2:	Dimensões das Vigas	104
Tabela 5.3:	Coefficiente de Impacto Vertical	108
Tabela 5.4:	Tipos de Veículos Componentes para cada Número de Eixos	108
Tabela 5.5:	Representação Gráfica da Distribuição de Peso por Eixo	109
Tabela 5.6:	Silhuetas dos Veículos	110
Tabela 5.7:	Momentos Fletores – Vigas bi apoiadas	111
Tabela 5.8:	Momentos Fletores – Vigas com balanços	112
Tabela 5.9:	Dimensionamento e Verificação de Fadiga – Mom.máximos positivos	114
Tabela 5.10:	Dimensionamento e Verificação de Fadiga – Mom.máximos negativos	115
Tabela 5.11:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{1-10}$	116
Tabela 5.12:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{1-15}$	117
Tabela 5.13:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{1-20}$	117
Tabela 5.14:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-10}$	118
Tabela 5.15:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-15}$	118
Tabela 5.16:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-20}$	119
Tabela 5.17:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{1-10}$	119

Tabela 5.18:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{1-15}$	120
Tabela 5.19:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{1-20}$	120
Tabela 5.20:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-10}$	121
Tabela 5.21:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-15}$	121
Tabela 5.22:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-20}$	122
Tabela 5.23:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-10}$	122
Tabela 5.24:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-15}$	123
Tabela 5.25:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{2b1-20}$	123
Tabela 5.26:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-10}$	124
Tabela 5.27:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-15}$	124
Tabela 5.28:	Vida útil de fadiga - Modelo: $V2_{2b1-20}$	125
Tabela 6.1:	Relação da Situação e Localização dos Postos de Coleta de Dados	132
Tabela 6.2:	Registro de fluxo de veículos anual, Situação 1 – P11	133
Tabela 6.3:	Registro de fluxo de veículos anual, Situação 2 – P21	133
Tabela 6.4:	Registro de fluxo de veículos anual, Situação 3 – P31	134
Tabela 6.5:	Registro de fluxo de veículos anual, Situação 4 – P85	134
Tabela 6.6:	Variação anual de passagens de veículos e variação média no período	134
Tabela 6.7:	Variação média anual de distribuição dos tipos de veículos no fluxo	135
Tabela 6.8:	Percentuais de tipo de veículo/ano – P11	138
Tabela 6.9:	Percentuais de tipo de veículo/ano – P21	138
Tabela 6.10:	Percentuais de tipo de veículo/ano – P31	138
Tabela 6.11:	Percentuais de tipo de veículo/ano – P85	139
Tabela 6.12:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, $V1_{1-10}$	145
Tabela 6.13:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, $V2_{1-10}$	145
Tabela 6.14:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, bal. $V1_{2b1-10}$..	151
Tabela 6.15:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, bal. $V2_{2b1-10}$..	151
Tabela 6.16:	Resumo dos resultados para modelos bi apoiados - $\beta=0,080$	154

Tabela 6.17:	Resumo dos resultados para modelos com balanços - $\beta=0,080$	155
Tabela 7.1:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-A, $V1_{1-10}$	159
Tabela 7.2:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-A, $V2_{1-10}$	160
Tabela 7.3:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-A, $V2_{1-10}$	161
Tabela 7.4:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-A, $V2_{2b1-10}$	162
Tabela 7.5:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-B, $V1_{1-10}$	163
Tabela 7.6:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-B, $V2_{1-10}$	164
Tabela 7.7:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-B, $V1_{2b1-10}$	165
Tabela 7.8:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-B, $V2_{2b1-10}$	166
Tabela 7.9:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-B, $V2_{2b1-10}$	167
Tabela 7.10:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-C, $V2_{1-10}$	168
Tabela 7.11:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-C, $V1_{2b1-10}$	169
Tabela 7.12:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário1-C, $V2_{2b1-10}$	170
Tabela 7.13:	Volume de tráfego do período + estimativa para 10 anos	176
Tabela 7.14:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-A, $V1_{1-10}$ - ($\beta=0,080$)	177
Tabela 7.15:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-A, $V2_{1-10}$ - ($\beta=0,080$)	178
Tabela 7.16:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-A, $V1_{2b1-10}$ - ($\beta=0,080$)	178
Tabela 7.17:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-A, $V2_{2b1-10}$ - ($\beta=0,080$)	179
Tabela 7.18:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-B, $V1_{1-10}$ - ($\beta=0,080$)	180
Tabela 7.19:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-B, $V2_{1-10}$ - ($\beta=0,080$)	180
Tabela 7.20:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-B, $V1_{2b1-10}$ - ($\beta=0,080$)	181
Tabela 7.21:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 2-B, $V2_{2b1-10}$ - ($\beta=0,080$)	181

Tabela 7.22:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V1 ₁₋₁₀	186
Tabela 7.23:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V2 ₁₋₁₀	187
Tabela 7.24:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V1 ₁₋₁₀	188
Tabela 7.25:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V2 _{2b1-10}	189
Tabela 7.26:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-B, V1 ₁₋₁₀	190
Tabela 7.27:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-B, V2 ₁₋₁₀	191
Tabela 7.28:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-B, V1 _{2b1-10}	192
Tabela 7.29:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-B, V2 _{2b1-10}	193
Tabela 7.30:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-C, V1 ₁₋₁₀	194
Tabela 7.31:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-C, V2 _{b1-10}	195
Tabela 7.32:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-C, V1 _{2b1-10}	196
Tabela 7.33:	Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-C, V2 _{2b1-10}	197

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1	COTEXTUALIZAÇÃO	21
1.2	MOTIVAÇÃO	24
1.3	DEFINIÇÃO DA HIPÓTESE DE PESQUISA	26
1.4	OBJETIVOS	26
1.5	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	27
1.6	DELIMITAÇÕES	28
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2.	REVISÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS ASSOCIADOS À FADIGA EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS VIÁRIAS	30
2.1	INTRODUÇÃO	30
2.2	HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE O FENÔMENO DA FADIGA	32
2.3	FADIGA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	34
2.3.1	Comportamento à Fadiga do Concreto	36
2.3.2	Comportamento à Fadiga do Aço para Concreto Armado	40
2.4	MÉTODOS DE ANÁLISE DE FADIGA	41
2.4.1	Análise de Fadiga baseada nas Curvas de Wöhler	41
2.4.2	Análise da Fadiga com base na Deformação	46
2.4.3	Análise da Fadiga baseada na Teoria da Mecânica da Fratura	47
2.5	VIDA ÚTIL DE FADIGA	51
2.6	REVISÃO DOS CRITÉRIOS PARA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA À FADIGA EM ALGUMAS NORMAS	53
2.6.1	Critérios da Norma Brasileira NBR 6118/03	53
2.6.2	Critérios do CEB-FIP Model Code 1990	57
2.6.3	Comparação entre NBR 6118/03 e CEB-FIP Model Code 1990	59

2.6.4	Considerações sobre o Projeto de Estruturas de Concreto Armado Solicitadas à Fadiga Segundo Diferentes Normas	60
3.	ESTRUTURAS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS VIÁRIAS	62
3.1	BREVE HISTÓRICO	62
3.2	CLASSIFICAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	66
3.3	ELEMENTOS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	66
3.4	SISTEMAS ESTRUTURAIS TÍPICOS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS ..	68
3.4.1	Pontes em Arco	68
3.4.2	Pontes em Laje	71
3.4.3	Pontes em Viga de Alma Cheia	71
3.4.4	Pontes em Viga Treliçadas	73
3.4.5	Pontes Suspensas ou Tipo Pênsil	73
3.4.6	Pontes Estaiadas	75
3.5	PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES CONSIDERADAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS RODOVIÁRIAS	77
3.6	CARACTERIZAÇÃO DO ESTOQUE DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS	79
3.6.1	Identificação do estoque de Obras de Arte Especiais nas Rodovias Federais Brasileiras	79
3.6.2	Identificação de Tipologia das Obras de Arte Especiais nas Rodovias Federais Brasileiras	79
4.	REVISÃO DA AÇÃO DE CARREGAMENTOS DINÂMICOS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	83
4.1	CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA BRASILEIRA	84
4.1.1	Trens Tipo	85
4.1.2	Impacto Vertical	87
4.1.3	Efeitos de Frenagem e Aceleração	88
4.1.4	Força Centrífuga	88
4.1.5	Pressão do Vento	89

4.1.6	Outros Efeitos	89
4.2	CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA EUROPÉIA	89
4.3	CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA AMERICANA	92
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE VEÍCULOS ATUANTES NO SISTEMA VIÁRIO DO BRASIL	94
4.5	COMPARAÇÕES ENTRE CARREGAMENTO REAL E TRENS TIPO	98
5.	METODOLOGIA DE PESQUISA	100
5.1	CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DA ESTRUTURA	102
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	105
5.3	CARGAS PERMANENTES	105
5.4	EFEITO DAS CARGAS MÓVEIS SOBRE AS PONTES	105
5.5	ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO	111
5.6	VERIFICAÇÃO DA FADIGA	113
5.7	ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE FADIGA E DANO ACUMULADO	115
5.7.1	Vida Útil de Fadiga de Projeto	126
5.7.2	Vida Útil de fadiga sob Espectro de Carga Real	129
6.	COMPARAÇÃO DOS DANOS POR FADIGA DEVIDO A TRÁFEGO REAL E CARREGAMENTO DE PROJETO	130
6.1	DESCRIÇÃO DAS SITUAÇÕES DE ANÁLISE	130
6.2	ANÁLISE DOS DADOS DE FLUXO REAL DE VEÍCULOS	133
6.3	ANÁLISE DOS DANOS POR FADIGA ASSOCIADOS AOS ESPECTROS DE CARGA REAL	141
6.3.1	Vigas bi apoiadas Tipo V1 e Tipo V2	141
6.3.2	Vigas com balanço Tipo V1 e Tipo V2	147
6.4	RESUMO DOS RESULTADOS	153
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
7.	ANÁLISE DE CENÁRIOS	157
7.1	CENÁRIO 1: CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS COM	

SOBREPESO LEGAL	157
7.1.1 Cenário 1 – A	158
7.1.2 Cenário 1 – B	163
7.1.3 Cenário 1 – C	167
7.1.4 Análise dos Efeitos do crescimento do no. de veículos com sobrepeso legal ...	171
7.2 CENÁRIO 2: CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS PESADOS	175
7.2.1 Cenário 2 – A	177
7.2.2 Cenário 2 – B	179
7.2.3 Análise dos Efeitos do Crescimento do Número de Veículos Pesados	182
7.3 CENÁRIO 3: CRESCIMENTO DA DETERIORAÇÃO	184
7.3.1 Cenário 3 – A	185
7.3.2 Cenário 3 – B	189
7.3.3 Cenário 3- C	193
7.3.4 Análise dos Efeitos do Crescimento da Deterioração	198
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	200
8.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARREGAMENTOS	201
8.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE VIDA ÚTIL DE FADIGA	202
8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS VARIAÇÕES DE CENÁRIOS	203
8.4 CONCLUSÕES	204
8.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	205
REFERÊNCIAS	207
APÊNDICE A	214
APÊNDICE B	245
APÊNDICE C	276

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial apresenta o delineamento da questão de pesquisa, a hipótese, os objetivos, as delimitações e a estrutura proposta para o trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No Brasil, o transporte de bens e pessoas acontece majoritariamente através das rodovias. Segundo dados do boletim estatístico da Confederação Nacional de Transporte (2009), este modal representa 61,1% do total da matriz de transporte de cargas.

As Obras de Arte Especiais (OAEs) - pontes e viadutos - são elementos fundamentais do sistema de transporte, pois são necessárias justamente quando certas características do terreno, presença de rios ou de intersecções de grande volume, necessitam ser superadas. A perda de uma destas estruturas representa prejuízos para a circulação, podendo acarretar a necessidade de desvios de grande extensão e pouca qualidade, com as inevitáveis repercussões sobre o consumo de tempo, combustível e aumento de emissões.

Para o bom funcionamento e a satisfação do usuário, é necessário, portanto, assegurar que as OAEs viárias atendam às condições inerentes de funcionalidade, segurança e durabilidade, pelo menos durante sua vida útil de projeto.

Para garantir que uma estrutura atinja a vida útil de projeto e, de preferência, a supere, é fundamental que se tenha um acompanhamento de seu desempenho. Desta forma, é possível identificar alterações das hipóteses iniciais ou situações não previstas, e tratar os eventuais processos de deterioração.

As OAEs viárias tem características especiais, em termos de vida útil, pois estão submetidas a um regime de carregamento no qual as cargas acidentais, variáveis ou oscilantes, são muito elevadas. Isto faz com que as mesmas sejam mais suscetíveis que outras estruturas ao

fenômeno da fadiga, que representa uma acumulação gradual de danos devido à variação da deformação dos materiais componentes da estrutura decorrente dos ciclos de carregamento.

Além disto, muitas vezes estas estruturas se encontram em locais expostos, onde a agressividade ambiental é elevada, o que pode agravar os danos e favorecer o desenvolvimento de processos de deterioração. A localização remota, a falta de acesso e a reduzida visibilidade de muitas das estruturas afetadas faz com que estes danos, muitas vezes, passem despercebidos, se constituindo em um silencioso perigo para nossa infra-estrutura de transportes.

A combinação de danos por fadiga, resultantes da ação deteriorante gradual da passagem de cargas móveis elevadas, com os efeitos da degradação dos materiais, pode se constituir em uma ameaça a várias estruturas de pontes e viadutos, especialmente nas rodovias com maior volume de tráfego de veículos pesados, onde circula grande parte da frota nacional responsável pelo transporte de bens e alimentos.

Dada a importância de certas OAEs, pelo seu posicionamento ou volume de tráfego, o impacto direto e indireto de operações de intervenção nas mesmas, quando sofrem ruína ou interdição, é muito significativo. Por isto as mesmas deveriam ser constantemente monitoradas pelos órgãos governamentais. O problema é que, na maioria das vezes, estes carecem de parâmetros delineadores para avaliações mais precisas. Isto é especialmente verdadeiro no caso da fadiga, que é pouco estudada e se desenvolve de forma pouco aparente, embora comprometa a integridade e segurança da estrutura. O problema é mais crítico no caso das estruturas mais antigas, que foram calculadas para a passagem de trens tipos menos exigentes, e já se encontram em serviço há muito tempo, com um acúmulo cada vez maior de danos e deteriorações. O crescimento da capacidade e da quantidade de veículos de transporte, somados à falta de controle do peso dos mesmos, são fatores que agravam a situação.

O Comitê Euro-International du Beton, em um dos seus boletins sobre o tema, *Fatigue of Concrete Structures*, destaca dezessete casos históricos de colapsos de estruturas onde a fadiga aparece como fator contribuinte ou determinante (CEB, 1988). O mesmo alerta para a gravidade do fenômeno da fadiga, e enfatiza a necessidade de promover uma avaliação do dano causado por este fenômeno, tanto em projetos quanto em operações de inspeção e manutenção de estruturas em serviço. Por fim, o boletim apresenta prescrições para avaliação

da vida útil de fadiga e para realização de estimativas acerca dos efeitos de fissuração e deflexão associadas à mesma.

Até agora os principais danos causados ao estoque de Obras de Arte Especiais estiveram associados à corrosão, impactos e erosão de fundações. Todavia, considerando que uma importante parcela das estruturas de concreto armado em serviço foi construída entre os anos 50 e 70, pode-se constatar que o estoque de estruturas está começando a atingir idades avançadas, nas quais o fenômeno da fadiga pode vir a se manifestar de forma cada vez mais intensa. Pode-se afirmar que a probabilidade de que seja observado um número crescente de casos de danos ligados à fadiga é muito elevada.

Esta preocupação se agrava quando se verifica que boa parte da malha viária do país não dispõe de sistemas de controle do tráfego pesado de caminhões, principais responsáveis pelos danos devido à fadiga. Desta forma, a prática do sobrepeso, principalmente em épocas de safra, não é coibida.

No Brasil, estão sendo realizados alguns estudos relacionados à vida útil de estruturas de pontes, levantando a incidência de patologias (LANER, 2001; SARTORTI, 2008), avaliando a deterioração devido aos efeitos da agressividade ambiental (SILVA & GOMES, 2003, MATTJE & PADARATZ, 2004), efeitos de perda de rigidez global pela ação das cargas repetitivas (OLIVEIRA FILHO, 2005), crescimento de trincas em vigas de pontes (MONTEZUMA & DE DEUS, 2006), efeitos da fadiga em elementos de concreto (CREPALDI & DJANIKIAN, 2001; SCHÄFFER, 2002; GONÇALVES, 2003; MAGGI, 2004; CERVO, 2004) efeitos da fadiga em pontes metálicas (BATTISTA & BARBOSA, 2000; MERGULHÃO *et al*, 2002; PRÁVIA, 2003; AFONSO, 2007), e sobre pontes de concreto (ARAÚJO *et al*, 2005; AZEVEDO, 2007). Existem pesquisas sobre os impactos da alteração das hipóteses de padrões de uso e seus efeitos sobre pontes e pavimentos (AGOSTINHO & FARIA, 2003; ALBANO, 2005; ROSSIGALI, 2006; FERREIRA, 2006, ARAÚJO, 2007), e de análises experimentais sob carregamentos dinâmicos (NAKANO *et al*, 2004) . Porém, não foram encontrados estudos direcionados à avaliação do impacto que a fadiga pode estar exercendo sobre a vida útil em pontes de concreto mais antigas da rede viária nacional.

O envelhecimento do estoque associado à falta de controle de sobrepeso e ao incremento do fluxo e percentual de veículos pesados gera uma situação preocupante. O país necessita

avaliar qual a gravidade efetiva que o fenômeno pode representar, visto que a perda ou interdição de OAEs pode se constituir num gargalo importante para o desenvolvimento. Este trabalho busca colaborar neste sentido, analisando como a fadiga pode afetar algumas pontes reais e verificando cenários eventuais de desenvolvimento do problema para diferentes níveis de crescimento do tráfego de veículos pesados e deterioração das estruturas.

1.2 MOTIVAÇÃO

Atualmente, no Brasil, o tráfego de veículos tem se caracterizado por uma multiplicidade de configurações de tipos de veículos, com acréscimo de volume de tráfego e de seu peso bruto total. Diante da grande importância do transporte rodoviário na cadeia produtiva brasileira, onde os veículos pesados são ferramentas usuais, faz-se necessária uma análise do impacto que pode causar o tráfego desses veículos pesados em termos de infraestrutura da malha rodoviária, principalmente nas obras de arte especiais mais antigas, que ainda se encontram em serviço e ocupando posições vitais na malha.

A norma brasileira de cargas móveis para pontes rodoviárias prescreve, para o processo de análise estrutural de pontes e viadutos, não as configurações de veículos reais que trafegam sobre as mesmas, mas sim um carregamento hipotético que tenta reproduzir as solicitações provocadas pelo tráfego. Como é de conhecimento geral, chama-se de trem-tipo ao carregamento total prescrito, englobando o veículo tipo (geometria e cargas) mais cargas distribuídas, que acompanham o veículo-tipo para simular os efeitos da passagem simultânea de veículos mais leves sobre a ponte (SANTOS, 2003). Em 1984, foram feitas alterações dos valores de veículos-tipo de 12, 24 e 36 toneladas por classes mais pesadas de 12, 30 e 45, aumentando também os valores de cargas distribuídas. Sendo, porém, ainda mantida a configuração do veículo-tipo de 3 eixos.

Existem levantamentos, de órgãos públicos e estudos de pesquisadores, no exterior (NOWAK, 1993; CRESPO-MINGUILLÓN & CASAS, 1997) e no Brasil (WIDMER, 2004; ROSSIGALI, 2006; FERREIRA, 2006; LUCHI, 2006, ARAÚJO, 2007), no sentido de modernizar e compatibilizar os valores e configurações das normas de cargas móveis para pontes. E mais especificamente, no Rio Grande do Sul (ALBANO, 1998 e 2005) estudos dos efeitos dos excessos de carga sobre os pavimentos das vias rodoviárias.

Um grande número (cerca de 69%), de acordo com dados levantados por Mendes (2009) do total de pontes e viadutos de concreto existentes no Brasil foram inauguradas antes de 1984, tendo portanto mais de 25 anos de uso. Estas foram projetadas com base nas normas vigentes na época, menos exigentes em termos de carregamento, pois usavam o trem tipo de 36t. As mesmas seguem em serviço ainda hoje, eventualmente deterioradas, e submetidas a cargas mais frequentes e mais intensas, que produzem solicitações maiores das que as prevista no projeto original.

Para a análise da fadiga é necessário que seja estabelecido um trem tipo representativo e um correspondente número de ciclos (GALGOUL & CHAMON, 1990). O problema é que, com a evolução do tráfego e mudanças nas composições de carga, não se pode saber se o trem tipo atual e os limites propostos na norma brasileira continuam válidos.

Mesmo admitindo-se o conservadorismo das normas quanto à segurança frente ao carregamento, o que faz com que a resistência última das estruturas mais antigas ainda seja satisfatória, há de se considerar com preocupação os efeitos que a mudança de trem tipo acarreta na vida útil à fadiga.

Cargas repetitivas maiores geram deformações maiores, que favorecem a microfissuração e levam à diminuição gradual da resistência do material. Com o crescente volume de tráfego de cargas pesadas, se acelera o processo de consumo da vida útil, pois se atinge o número de ciclos críticos que pode levar à falha por fadiga mais rapidamente. Portanto, esta situação pode levar a um abreviamento da vida útil de fadiga esperada para uma boa parte do estoque de OAEs, fazendo com que surja a demanda de intervenções para recuperação ou substituição das estruturas afetadas.

Este trabalho constitui uma parte de uma linha de pesquisa desenvolvida no LEME/UFRGS que pretende contribuir para definir procedimentos seguros para avaliação da vida útil remanescente de pontes e viadutos em serviço. O mesmo se foca na determinação dos efeitos de composições de tráfego reais em estruturas típicas do estoque gaúcho, e busca analisar o problema através da geração de cenários sobre a evolução da fadiga em nível nacional, considerando efeitos de sobrepeso e consorciação dos efeitos da fadiga com outros danos por corrosão, aspecto raramente considerado na maioria dos estudos da área.

Como já foi enfatizado, tendo em vista a reduzida redundância da malha de transportes rodoviários e ferroviários, a perda ou comprometimento de algumas estruturas devido à fadiga pode ocasionar problemas de grande magnitude, com perdas econômicas enormes.

É fundamental, portanto, estudar melhor o fenômeno da fadiga, identificar o potencial real de dano e as estruturas mais suscetíveis e agir preventivamente, se necessário, para reforçar as mesmas antes que a fadiga progrida para níveis que comprometeriam sua funcionalidade. É melhor lidar de forma planejada com o problema do que atuar numa situação de crise, com todos os custos e perdas associados. Colaborar neste sentido é a principal motivação deste trabalho.

1.3 DEFINIÇÃO DA HIPÓTESE DE PESQUISA

A principal hipótese de pesquisa deste trabalho é de que o crescimento do tráfego de veículos pesados no país está acarretando uma aceleração dos danos relativos à fadiga nas obras de arte viárias da malha rodoviária nacional - especialmente as mais antigas, reduzindo a vida útil média do estoque de estruturas e colocando em risco várias estruturas atualmente em operação. Adicionalmente, se presume que a combinação de danos por fadiga com efeitos de corrosão pode se constituir em um forte agravante do problema, ainda pouco considerado pelos estudos na área.

Para averiguar a veracidade destas hipóteses o trabalho se propõe a revisar e comparar algumas das normas relativas ao cálculo de estruturas para situações de fadiga, definindo como se posiciona a norma brasileira em relação às demais; avaliar a tipologia de estruturas mais comuns; determinar os efeitos de carregamentos reais nas mesmas em comparação com os trens-tipo de projeto e analisar diferentes cenários, que analisem não só a combinação de fadiga e corrosão como procurem avaliar possíveis repercussões do crescimento do tráfego de veículos pesados no estoque de pontes do Rio Grande do Sul e do país.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho consiste em estimar o impacto da fadiga no estoque de OAEs devido ao incremento de veículos pesados e falta de controle da tonelagem, a partir de uma simulação de cenários, considerando os resultados de um estudo de tráfego real aplicado a uma estrutura tipo.

Além disto, foram estabelecidos os seguintes objetivos secundários:

- a) desenvolver uma metodologia para estabelecer o efeito, em termos de redução da vida útil em fadiga, sobre os elementos estruturais (vigas) de tabuleiro de pontes, em função do fluxo de veículos pesados e características estruturais;
- b) avaliar como um histograma de fluxo de veículos pesados real impacta uma estrutura típica do RS;
- c) avaliar o efeito sinérgico da evolução da fadiga combinada com danos por corrosão à armadura dos elementos de concreto;
- d) verificar em que medida a fadiga pode se constituir em um fenômeno de degradação importante para a manutenção da malha rodoviária.

Como resultado espera-se oferecer uma contribuição para melhor compreender o comportamento das estruturas de concreto frente ao fenômeno da fadiga. E, também, colaborar para a determinação de parâmetros de dimensionamento confiáveis para projeto e de procedimentos de avaliação na manutenção de estruturas submetidas a cargas móveis.

1.5 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste estudo, prevê-se um programa de trabalho com as etapas:

- a) Revisão dos conhecimentos e normas de fadiga;
- b) Seleção de sistemas estruturais representativos de obras de arte existentes na malha rodoviária brasileira;
- c) Identificação de estruturas para realização dos estudos de caso, calculadas com diferentes normas e representativas das tipologias mais frequentes da malha;
- d) Obtenção de dados sobre monitoramento do tráfego atual (real) em uma rodovia de alto fluxo do Rio Grande do Sul;
- e) Definição de tipologia típica para a estrutura a ser avaliada neste trabalho com base em levantamentos anteriores do estoque de pontes do Rio Grande do Sul;
- f) Determinação de tensões em seções críticas das estruturas analisadas para averiguar o efeito de tráfego real;

- g) Comparação dos efeitos de fadiga definidos através de dados reais com os efeitos derivados da aplicação de trens-tipo;
- h) Simulação de cenários para o estoque de pontes, que reproduzam situações críticas e traçado de histogramas das solicitações;
- i) Discussão de impactos dos possíveis cenários.

1.6 DELIMITAÇÕES

Para o desenvolvimento do estudo foram definidas algumas delimitações:

- A metodologia de análise se baseará no emprego das Curvas S-N, sendo analisado como a composição de tráfego impacta o número de ciclos necessários para levar o elemento à ruptura. Esses valores poderão incrementar modelos de previsão de vida útil remanescente e suscitar o desenvolvimento de parâmetros mais adequados de avaliação da segurança à fadiga de obras de arte viárias;
- Os sistemas estruturais selecionados para este trabalho incluem pontes em grelha, com duas longarinas e transversinas de apoio e intermediárias;
- Para dados do fluxo de tráfego serão utilizados os obtidos através dos Postos de Pedágio da CONCEPA e Postos de Monitoramento do DNIT (www.dnit.gov.br), que são fornecidos em planilhas mensais, das quais podem ser obtidos por classe de veículos valores de: peso bruto, cargas por eixo, frequência de veículos e de velocidade;
- Para cada sistema estrutural selecionado, serão determinados os valores críticos devido à passagem de veículos de cada classe da base de dados. Com o histograma de frequência de veículos chega-se aos histogramas de solicitações críticas de cada sistema estrutural;
- A extrapolação é necessária para obter valores estimados proporcionais ou equivalentes de períodos de tempo em termos de vida útil de fadiga.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho consiste basicamente de quatro partes: a primeira apresenta o problema e faz a conceituação teórica dos mecanismos envolvidos no transcorrer da vida útil de vigas de concreto armado de tabuleiro de pontes, contém os procedimentos para análise e verificação

da segurança à fadiga das estruturas de concreto armado e discute as prescrições da norma brasileira e de outros países; a segunda apresenta as principais características dos carregamentos dinâmicos e descreve estratégias utilizadas na pesquisa; a terceira apresenta as simulações de vida útil, avaliações sobre os cenários analisados; e a última as conclusões decorrentes das análises. A figura 1.1 apresenta um diagrama da organização do trabalho.

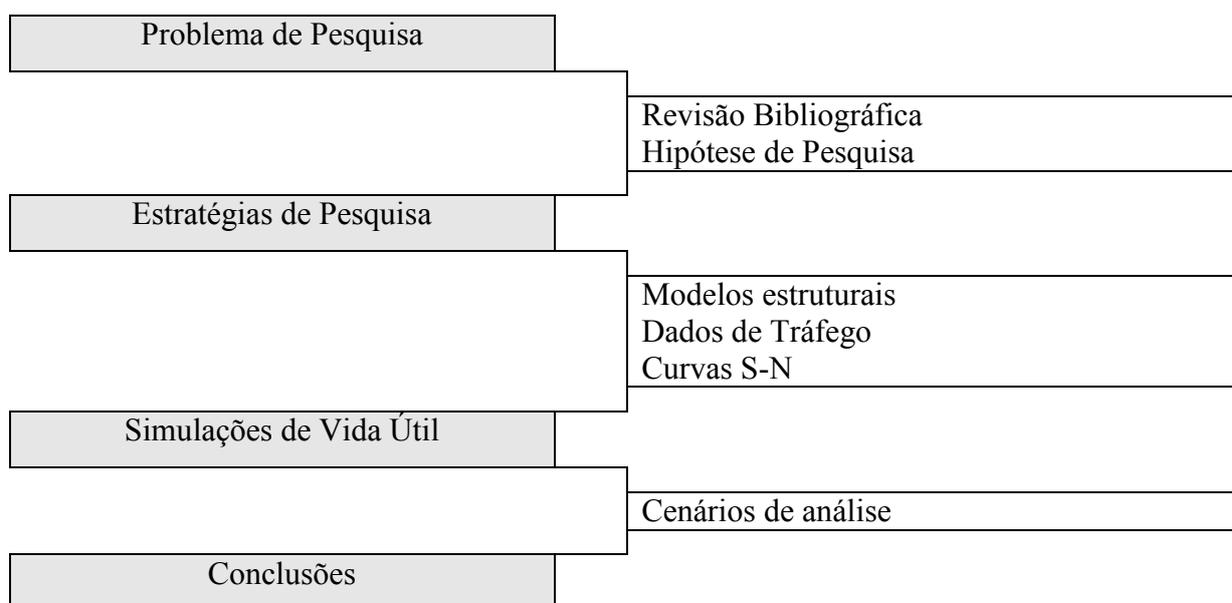


Figura 1.1 – Organização do Trabalho.

Para uma melhor compreensão, o trabalho será organizado em oito capítulos:

O Capítulo 1 é uma introdução que apresenta o problema, a hipótese e os objetivos da pesquisa e uma justificativa para o seu desenvolvimento.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica do conceito e mecanismo de fadiga.

O Capítulo 3 traz um breve histórico e uma caracterização das obras de arte especiais existentes no Brasil, explicando como se definiu a estrutura padrão usada no estudo.

O Capítulo 4 trata dos carregamentos atuantes sobre OAEs.

O Capítulo 5 traz as estratégias de pesquisa.

O Capítulo 6 apresentará os resultados dos estudos de caso em estruturas reais enquanto o Capítulo 7 faz a análise dos cenários.

O capítulo 8 apresentará as conclusões e recomendações da pesquisa.

2. REVISÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS ASSOCIADOS À FADIGA EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS VIÁRIAS

Neste capítulo se apresenta uma breve revisão teórica do conceito da fadiga e de sua aplicação para Obras de Arte Especiais (OAEs) viárias.

2.1 INTRODUÇÃO

A fadiga é um processo de mudança estrutural interna, que ocorre num material submetido a variações de tensões repetitivas, isto é, que oscilam de forma intermitente dentro de um determinado intervalo. É um processo de degradação importante que pode se manifestar em estruturas sujeitas a ação de carregamentos cíclicos, tais como as OAEs viárias.

A acumulação de pequenos danos na estrutura cristalina do material, provocando o avanço de superfícies de fratura interna, é o mecanismo responsável pelas falhas de estrutura por fadiga. Segundo Guimarães (2002), a ação de cargas cíclicas pode provocar alterações e deformações microscópicas que prejudicam as propriedades macroscópicas do material. Sendo esses efeitos muito danosos em elementos estruturais, pois 90% das falhas de material em geral são causadas pela fadiga (SALEKEEN & JONES, 2007).

Do ponto de vista da engenharia, a fadiga pode ser definida como um modo de ruptura que envolve a formação e o crescimento de uma fissura em um componente estrutural, decorrente de deformações causadas por carregamentos flutuantes no tempo, podendo culminar com a completa fratura depois de um determinado número de ciclos, devido ao acúmulo de danos e coalescência de defeitos da estrutura cristalina.

É interessante destacar que, quanto mais próximo o nível superior da carga cíclica estiver da carga última que o material resiste, menor será o número de ciclos necessários para se atingir a ruptura do mesmo, como salienta Figueiredo (2000). No limite, são necessários apenas alguns ciclos de carregamento para provocar uma ruptura. Este tipo de deterioração caracteriza a chamada fadiga de baixo ciclo.

Nos casos de OAEs viárias, as cargas de trabalho tendem a ser bem inferiores às cargas últimas, devido à segurança inerente ao processo de projeto de tais elementos. Neste caso, um número de ciclos elevado é necessário para provocar a fadiga. Este tipo de regime, mais importante para a maioria das obras civis, é denominado de fadiga de alto ciclo. O limite de número de ciclos que separa a fadiga de alto ciclo da fadiga de baixo ciclo não é precisamente definido e pode variar de norma para norma.

O guia 215R-74, do American Concrete Institute, por exemplo, considera que a fadiga se manifesta quando o número de ciclos de carregamento é superior a 100 (ACI, 1992). Já a norma brasileira de Projeto de Estruturas de Concreto - NBR 6118, ABNT (2003), faz recomendações somente para o caso da fadiga de alto ciclo, definindo que as especificações para controle da vida útil à fadiga devem ser empregadas quando o número de ciclos de carregamento é superior a 20.000.

A fadiga é um fenômeno progressivo, pois, em cada ciclo de carregamento, as fissuras tendem a se propagar, diminuindo a área útil para transferência de tensão. Pode-se dizer que o mecanismo de fadiga compreende três fases sucessivas: iniciação da fissura, propagação e ruptura final. A ruptura por fadiga ocorre somente se a tensão aplicada for suficiente para o crescimento e propagação das fissuras que provoquem alterações significativas na estrutura do material, de maneira que se atinja um estado de instabilidade. Em alguns casos, se as tensões ficarem abaixo de certo limite, as deformações não são capazes de provocar danos permanentes, resultando numa vida útil à fadiga teoricamente infinita. Este patamar define o denominado limite de fadiga do material (CERVO, 2004).

Uma falha por fadiga consiste numa combinação da ação de cargas dinâmicas, independentes da duração, que causam tensões de tração e deformações plásticas que se acumulam no tempo (MENEGETTI, 2007).

Como a falha devido à fadiga ocorre geralmente abaixo dos limites de resistência elásticos, Furtado (2002) argumenta que o estudo de fadiga é um importante critério de análise a fim de não comprometer a integridade estrutural.

2.2 HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE O FENÔMENO DA FADIGA

A palavra *fadiga* tem sido usada para descrever as falhas devido a carregamentos repetitivos há muito tempo. De acordo com Fuchs e Stephens (1980), os primeiros estudos registrados sobre este fenômeno datam de 1829, porém foi somente a partir do período compreendido entre os anos de 1840 a 1850 que o uso da expressão se consolidou. Segundo Suresh (1998), o emprego do termo *fadiga* para designar a fissuração de metais sob cargas repetidas foi utilizado pela primeira vez em um trabalho realizado por Braithwaite, em 1854.

Para ilustrar o avanço do conhecimento nesta área, a seguir se apresenta uma sequência cronológica contendo os principais estudos sobre fadiga, elaborada a partir de citações de Fuchs e Stephens (1980), Suresh (1998), Maggi (2004) e Strohaecker (2006):

- 1829 W.A.J. Albert, engenheiro de mineração alemão, realizou ensaios em correntes de aço usadas nas mineradoras, sob carga repetitiva;
- 1843 W.J.M. Rankine, engenheiro inglês, observou as distintas características da ruína por fadiga e os efeitos perigosos das concentrações de tensões;
- 1849 E. A. Hodgkinson, designado pelo governo inglês para estudar a fadiga do aço utilizado nas ferrovias;
- 1852 Wöhler, em Berlin, realizou investigações sistemáticas a respeito da ruína por fadiga em eixos ferroviários, produzidos pela indústria alemã, observou a diferença de ruptura sob ações estáticas e cíclicas. Wöhler reuniu uma série de dados, em formato ainda hoje utilizado, chamado de Curvas S-N (Stress-Number), ou Curvas de Wöhler;
- 1860
- 1864 W. Fairbairn, ensaios sobre rebites em suportes feitos em aço, concluiu que para tensões cíclicas a falha ocorria a um terço da tensão máxima;
- 1874 H. Gerber, engenheiro alemão, desenvolveu métodos para projeto em fadiga, contribuindo para o desenvolvimento de métodos para o cálculo da vida em fadiga para diferentes níveis de ciclos de tensões;
- 1886 Bauschinger, popularizou a noção de que o limite elástico de metais sob cargas flutuantes poderia ser diferente das observadas para deformações monotônicas,

identificou a ocorrência de baixos ciclos e altos ciclos, confirmou muitos resultados anteriormente obtidos por Wöhler;

- 1900 Ewing e Rosenhain derrubaram definitivamente as interpretações do mecanismo de fadiga do aço, baseados na teoria de cristalização.
- 1910 O. H. Basquin, americano, representou as Curvas de Wöhler em forma logarítmica e propôs a fórmula: $\sigma_a = c.K^n$, K o fator de intensidade de tensões e n o número de ciclos ;
- 1924 Palmgren, sugeriu o modelo linear de dano por fadiga, isto é, considerando o efeito histórico da aplicação das ações por meio do acúmulo do dano que cada intensidade de tensão provoca no material;
- 1939 Thum, apresentou resultados experimentais abrangendo tópicos de limite de fadiga, efeitos das concentrações de tensões, corrosão por fadiga e tensões residuais, em diversas publicações;
- 1945 M. A. Miner, formulou uma equação linear de dano por fadiga, hoje conhecida por modelo de Palmgren-Miner, que estima o valor de dano acumulado para um espectro de ações correspondente a uma probabilidade de ruptura, com um determinado número de ciclos, a ruína por fadiga é dada por: $\frac{\sum n}{N} = 1$, onde n é o número de ciclos solicitantes para uma determinada intensidade de tensão e N é o número admissível de ciclos para essa intensidade;
- 1957 G. R. Irwin, concluiu que a amplitude das tensões à frente da trinca poderia ser expressa por um escalar quantitativo, denominado fator de intensidade de tensões (K), base da Mecânica da Fratura Linear Elástica;
- 1960 L. F. Coffin Jr. e S. S. Manson, propuseram uma empírica relação entre a amplitude das tensões plásticas e vida em fadiga;
- 1961 P. C. Paris, propôs equação para descrever a propagação de trinca em fadiga;
- 1963 P. C. Paris e F. Erdogan, apresentam, na forma praticamente definitiva a equação que relaciona taxa de propagação de trincas em fadiga (da/dN) com o gradiente

de fator de intensidade de tensões (ΔK);

- 1991 B. H. OH, observou que a soma do dano acumulado de modelo de Palmgren-Miner é maior quando a intensidade da tensão aumenta gradualmente e menor quando antes é aplicada uma tensão maior.
- 1994 Agarwal et. al. utilizaram as curvas de fadiga com bases em ciclos constantes, em casos onde o carregamento é variável e tem natureza transiente, e propuseram a utilização de princípios probabilísticos na consideração da fadiga.

A maioria dos estudos clássicos sobre fadiga envolveu a análise de materiais metálicos, muito suscetíveis ao fenômeno. Entretanto, como destaca Suresh (1998), nas últimas décadas do século XX começaram a se intensificar os estudos com foco em materiais não metálicos e compósitos, que apresentam potenciais mecânicos, térmicos e com desempenho em meio ambiente agressivo até aqui não atingidos pelos metais, como materiais cerâmicos, polímeros e outros compósitos.

As investigações sobre fadiga no concreto além de surgirem mais tarde, de acordo com Nordby (1958), depararam-se com a dificuldade de associar os conhecimentos obtidos no concreto simples e no aço com o comportamento observado no concreto armado.

No presente trabalho o interesse está voltado para a fadiga de estruturas de concreto armado. Portanto, no próximo item uma breve revisão do mecanismo da fadiga neste tipo de material.

2.3 FADIGA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O processo da fadiga, caracterizado pela formação de fissuras e propagação das mesmas de forma instável, como explicado acima, pode levar, em última análise, à ruptura de um elemento estrutural. Por isto a verificação da resistência à fadiga é um requisito importante no projeto de estruturas submetidas a tensões cíclicas ou flutuantes. A análise de fadiga é de extrema importância, por exemplo, nos projetos de pontes, estruturas *off-shore*, estruturas de máquinas e estruturas automotivas, entre outras.

Os danos em estruturas submetidas a ações dinâmicas são decorrentes da fadiga dos seus materiais constituintes, o que acarreta uma diminuição gradual da resistência global da

estrutura. Em estruturas de concreto armado, a fadiga está intimamente relacionada com as propriedades de seus materiais componentes, concreto e aço, e à interação entre eles. Normalmente, a fadiga da armadura é considerada como o mecanismo dominante e recebe mais atenção, em termos de estudos e normalização.

Fenômenos que conduzem a um comportamento diferenciado da estrutura de concreto podem ser mais facilmente modelados quando levadas em conta as alterações que ocorrem no material em nível microscópico.

Os modelos de previsão da vida útil de fadiga baseiam-se frequentemente na adaptação dos critérios de ruptura estáticos às situações de fadiga (RIBEIRO, 2008).

Na fadiga a ruptura pode ocorrer abaixo dos limites de resistência necessários para o caso de carregamento estático, com o fato agravante de que a dimensão e localização das fissuras formadas sob este carregamento geralmente são de difícil detecção em inspeções de rotina, como explica Gonçalves (2003).

Segundo Aitcin (2000), os materiais, quando submetidos a carregamentos cíclicos, de mesma amplitude, apresentam dois tipos de comportamento distintos:

- a) não rompem sob efeito deste carregamento se a tensão máxima em cada ciclo não ultrapassar a tensão específica denominada de *limite de fadiga*;
- b) rompem mesmo quando o carregamento de pico em cada ciclo de carga está dentro da faixa de deformação elástica.

O aço apresenta um comportamento do primeiro tipo enquanto o concreto se enquadra no segundo grupo. Se os picos de tensão durante cada ciclo forem maiores do que o limite de fadiga, o comportamento do aço se assemelha ao do concreto.

Como a ruptura por fadiga pode ocorrer com um número de ciclos muito grande, estabeleceu-se, para fins de projeto, um limite mínimo de ciclos que representaria uma vida útil de fadiga satisfatória, que varia de 2 a 5 milhões. As normas de projeto tendem a limitar a tensão admissível em estruturas, de forma a assegurar que uma eventual ruptura somente ocorreria após um número específico de ciclos, que seria suficiente para atingir uma vida útil de serviço elevada.

Em estruturas fabricadas com materiais metálicos a distinção entre limite último de fadiga e limite de vida útil de fadiga por projeto é importantíssima. Já em estruturas de concreto, a situação torna-se confusa, uma vez que o concreto não tem um limite de fadiga bem definido. Portanto, neste trabalho, estaremos nos referindo à resistência de fadiga, e não à limite último de fadiga do concreto.

A seguir estão apresentadas algumas informações sobre o comportamento, sob carregamento cíclico, do concreto e do aço.

2.3.1 Comportamento à Fadiga do Concreto

Inicialmente os estudos sobre fadiga eram direcionados aos metais, tendo sido fonte de estudo de diversos trabalhos, considerando que os materiais frágeis eram pouco sensíveis aos efeitos da fadiga. Atualmente é aceito que a fadiga pode ser dita como agente num processo de fraturamento destes materiais. A confirmação das hipóteses de comportamento e o desenvolvimento de modelos confiáveis, todavia, demanda ainda muitos estudos sobre o comportamento desses materiais sob fadiga.

De acordo com o CEB (1988), o aumento na deformação e a formação de fissuras devido às cargas repetidas são hoje reconhecidos como fatores importantes na análise de fadiga de estruturas de concreto. Após um determinado número de ciclos, a fissura pode adquirir dimensões suficientes para torná-la instável. Em geral, a ruptura não é diretamente produzida pela fadiga, mas sim decorrente de deteriorações progressivas onde a fadiga é um elemento contribuinte.

Cargas cíclicas no concreto produzem efeito similar à fluência, isto é, aumentam a deformação do concreto com o aumento de número de ciclos. Entretanto, segundo Neville (1997), ensaios efetuados demonstraram que, o acúmulo de deformações devido a cargas variáveis é maior do que a fluência devido à carga constante uniforme, para a média da carga cíclica.

Os modelos desenvolvidos para a fadiga de metais e ligas não se aplicam adequadamente ao concreto, devido, principalmente, à sua heterogeneidade e forma de ruptura. Crepaldi e Djanikian (2001) consideram que modelos para este tipo de material somente poderão ser desenvolvidos após o estudo detalhado do seu comportamento frente a esforços cíclicos, levando em conta suas principais propriedades mecânicas.

Em nível microscópico o concreto não é um material homogêneo, sendo constituído por três fases distintas: agregado graúdo, matriz de argamassa (agregado miúdo envolvido por uma pasta de cimento e água) e zona de transição.

Sendo a zona de transição geralmente mais fraca do que os outros dois componentes principais do concreto, ela exerce uma influência maior do que se poderia esperar, dada sua espessura. É devido à presença da zona de transição que o concreto rompe em níveis de tensão consideravelmente mais baixos do que a resistência do agregado e matriz. A estrutura da zona de transição, especialmente o volume de vazios e micro-fissuras têm grande influência sobre a rigidez e o módulo de elasticidade, além de influenciar a durabilidade do concreto. Além disso, na zona de transição podem formar-se defeitos de aderência e vazios associados à direção de moldagem. Assim, explica Gonçalves (2003), é importante conhecer os fenômenos na microestrutura relacionados à formação e evolução das fissuras, para poder formular leis constitutivas mais coerentes.

De acordo com o boletim do CEB (1988), não existe uma configuração identificável para a fissuração devido à fadiga no concreto. O que se observa é uma deterioração progressiva do material desde o início da fissuração, propagação até tamanhos considerados estáveis (macro-fissuras). Também a mudança de volume é indicação de dano por fadiga.

Nos concretos as fissuras por fadiga são de natureza frágil, por apresentar pouca, ou nenhuma, deformação plástica associada à fissuração. A ruptura ocorre pela iniciação e propagação das microfissura, e em geral, a superfície de fratura é perpendicular à direção da tensão aplicada (Callister, 2002). Apesar da aparente similaridade, ainda não está claro como a fratura por tração no concreto se relaciona com a ruptura por fadiga (CREPALDI & DJANIKIAN, 2001).

Segundo Forrest (1970), se um concreto sofre carregamentos repetidos com amplitude constante, tanto a deformação total quanto a deformação permanente aumentam gradualmente, devido ao acúmulo de danos. A resistência à fadiga do concreto é, portanto, definida como uma fração da resistência estática que pode ser suportada repetitivamente para um dado número de ciclos.

Geralmente, os materiais dúcteis como o aço, seguem uma curva de resistência típica, onde a resistência é igual, tanto a compressão pura como tração pura, figura 2.1.a. Já os materiais frágeis como o concreto seguem uma curva de resistência onde se evidencia uma

diferenciação de resistência quando o material está sob tração pura ou compressão pura, figura 2.1.b.

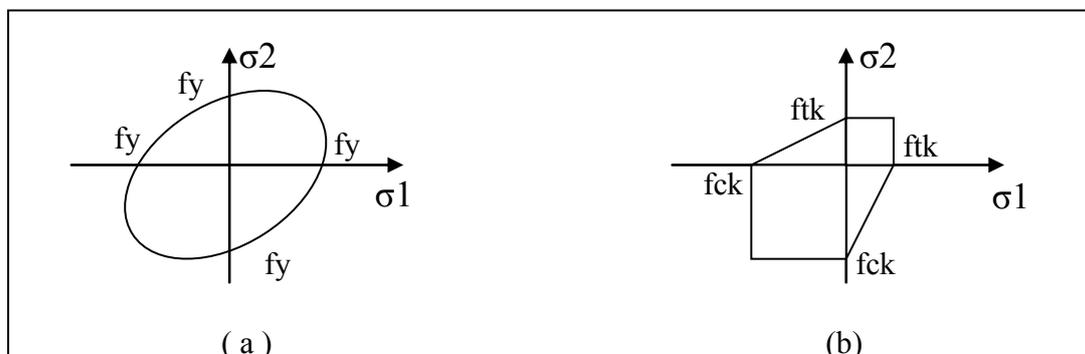


Figura 2.1 – (a) Curva de Resistência de Von-Mises (materiais dúcteis); (b) Curva de Resistência de Coulomb-Mohr (materiais frágeis), (UCHÔA, 2007)

Na fadiga, com o aumento dos ciclos de carga, a resistência, ou curva de resistência, cai, isto é, vai progressivamente diminuindo, figura 2.2, diz-se que a curva de resistência vai encolhendo, (UCHÔA, 2007).

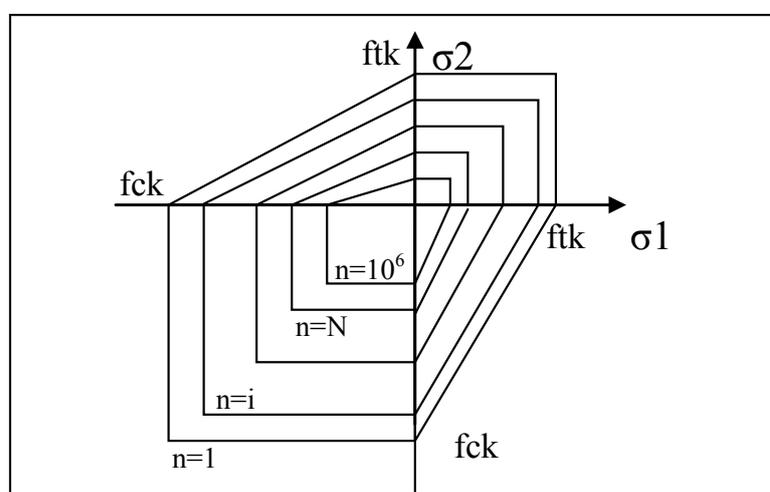


Figura 2.2 – Curva de Resistência -material frágil sob ciclo de cargas (UCHÔA, 2007).

No concreto, como nos metais, a fadiga subdivide-se em baixo ou alto ciclo. Fadiga de baixo ciclo, que ocorre, por exemplo, em estruturas submetidas a ciclos de sismo, manifesta-se numa faixa entre 0 e 10^3 ciclos; a fadiga de alto ciclo, para o caso de pavimentos de aeroportos, pontes, base de máquinas, varia entre 10^3 e 10^7 ciclos; e para o caso de estruturas

marítimas (off-shore) a variação está entre 10^7 e 5×10^8 ciclos. Normalmente, os maiores problemas ocorrem para situações com elevado número de ciclos, de 10^3 a 10^8 .

Sob cargas cíclicas, no concreto é possível distinguir três intervalos de níveis máximos de tensão (AGUADO *et al*, 1990, apud GONÇALVES, 2003):

- a) tensões até 30% da tensão de ruptura – o material se compacta a cada ciclo, podendo chegar a 10^8 ciclos sem romper.;
- b) tensões de 30% a 80% da tensão de ruptura – ocorre inicialmente um processo de consolidação, depois, de forma brusca, sofre expansão que leva rapidamente à ruptura;
- c) acima de 80% da tensão de ruptura – não chega a produzir a fase de consolidação, acontecendo a fase de expansão desde o começo e a ruptura ocorre rapidamente.

Diversos fatores podem afetar o comportamento e a resistência do concreto à fadiga. Maggi (2004) cita: propriedades dos materiais, variação de tensão, histórico das ações, frequência das ações, gradiente de tensões e períodos de folga. Os fatores que influenciam a fadiga do concreto, segundo os pesquisadores do projeto europeu EuroLightCon (2000), são:

- a) internos: composição, cura e idade;
- b) externo: natureza do carregamento;
- c) ambientais: umidade e temperatura.

De acordo com Gonçalves (2003), a vida útil à fadiga pode ser aumentada pelo alívio dos níveis de tensão ou pela combinação de períodos de carregamento com períodos em que a estrutura não está sujeita ao carregamento cíclico, porém a frequência do ciclo de tensão tem efeito reduzido na resistência última à fadiga.

Diferentemente do que acontece nos metais, no caso do concreto não há evidência experimental de que exista um limite para a redução da resistência com o aumento do número de ciclos. A resistência última esperada após 10 milhões de ciclos, para compressão, tração ou flexão, pode chegar a somente 55% a 60% da resistência última sob solicitação estática (GONÇALVES, 2003).

Para o dimensionamento das estruturas de concreto sob fadiga, o CEB-FIP Model Code 1990 (CEB, 1991b) prescreve, como apresentado no item 2.4.2, um procedimento de verificação seguindo o modelo de Palmgren-Miner. A norma brasileira NBR6118/03 também reconhece a validade deste modelo, porém emprega um critério simplificado baseado na limitação de tensões atuantes no aço para verificação das estruturas de concreto à fadiga, como será discutido em maior detalhe no item 2.4.1.

2.3.2 Comportamento à Fadiga de Barras de Aço para Concreto Armado

Existem muitos casos relatados na literatura de fadiga de estruturas de concreto armado em serviço que se caracterizam pela fissuração e “*spalling*” do concreto, decorrentes, na realidade, da fadiga da armadura. Os ensaios de flexão de vigas de concreto armado mostram que, após um grande número de ciclos de flutuações de carga, a armadura pode romper com tensão inferior à resistência medida em ensaio estático (PFEIL, 1978).

Os fatores que influenciam a resistência das barras de aço à fadiga são: tensão mínima, diâmetro das barras, tipo de viga, geometria das deformações, curvatura das barras e emendas. O tipo de deformação, de alongamento ou de encurtamento, também influencia a resistência das barras de aço para concreto armado, porque provoca concentração de tensão em certas regiões onde a fissuração por fadiga é iniciada. (ACI 215 R-74, 1992)

Süssekind (1980), CEB (1988), ACI 215 R-74 (1992) e Shaffer (2002) apresentam indicações de que a fadiga da barra de aço:

- a) não depende da tensão média do ciclo;
- b) não depende da categoria do aço, apenas da conformação superficial das barras – barras lisas com resistência 50% maior do que barras com saliências.

A resistência à fadiga da barra de aço pode ser caracterizada por um único dado: a amplitude de variação das tensões.

2.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DE FADIGA

Existem essencialmente três abordagens básicas que podem ser adotadas na avaliação da vida de fadiga de elementos estruturais. Um primeiro método baseado na tensão, que determina o número de ciclos necessários para que ocorra a falha por fadiga, caracterizada pelo uso de diagramas S-N (amplitude de tensão por número de ciclos na ruptura), chamados de Curvas de Wöhler. O segundo método com base na deformação, envolve uma análise mais detalhada dos pontos de plastificação durante os ciclos de carga. E uma terceira metodologia baseado na Teoria da Mecânica da Fratura que considera a análise de propagação de fissuras num ponto específico.

2.4.1 Análise da Vida de Fadiga Baseada nas Curvas de Wöhler

Testes de fadiga consistem em submeter corpos de prova ou componentes estruturais de um determinado material a ciclos de tensão. Os resultados destes testes, sob diferentes níveis de tensão, expressos sob a forma gráfica representam a curva tensão x vida útil de fadiga.

As resistências dos materiais à fadiga são normalmente representadas por diagramas que relacionam a intensidade da tensão (stress- S) com o número de ciclos necessários para a ruptura (N), chamados de Curvas S-N ou Curvas de Wöhler. Segundo Právia(2003), pode-se afirmar que o engenheiro alemão August Wöhler é o pai da Teoria da fadiga dos Materiais Metálicos.

A natureza empírica dos métodos tensão- vida útil de fadiga impõe limitações na utilidade dos dados S-N, mas a despeito disso, muitos códigos, como o AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), utilizam como base para análise de fadiga.

As curvas S-N são traçadas a partir de uma análise estatística sobre dados experimentais obtidos em testes de fadiga, onde a curva usada representa a linha (ou linhas) de tensões de melhor ajuste a série de dados. Normalmente as curvas são geradas a partir da relação entre amplitude da tensão ($\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$) com o número de ciclos até a falha, no entanto, podem ser usadas a variação da tensão ($\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$) e a tensão máxima (σ_{\max}).

Para facilitar a leitura dos dados quando a vida de fadiga é baixa, as curvas S-N são construídas, usando-se escalas (mono-log) ou (log-log), a figura 2.1 exemplifica isso.

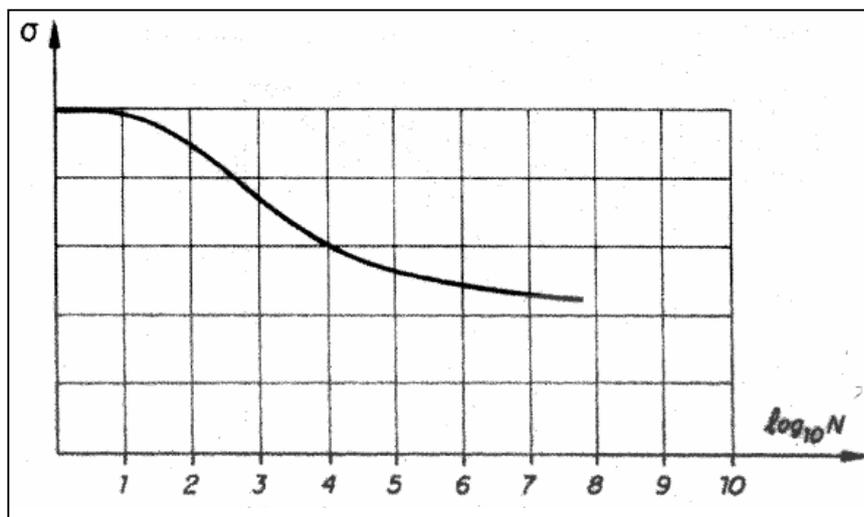


Figura 2.3 – Exemplo de Curva S-N ou Curva de Wöhler.

Sob fadiga, os materiais apresentam comportamento característico, isto é, o número de ciclos até a ruptura (N) diminui na medida em que cresce a tensão superior de carregamento (S), que é a máxima tensão do intervalo de oscilação do ensaio cíclico, como mostrado na figura 2.4.a. Quando ocorre reversão de tensões, isto é, ocorrência de tensões de compressão, a redução do número de ciclos é mais acentuada, como indicado na figura 2.4.b.

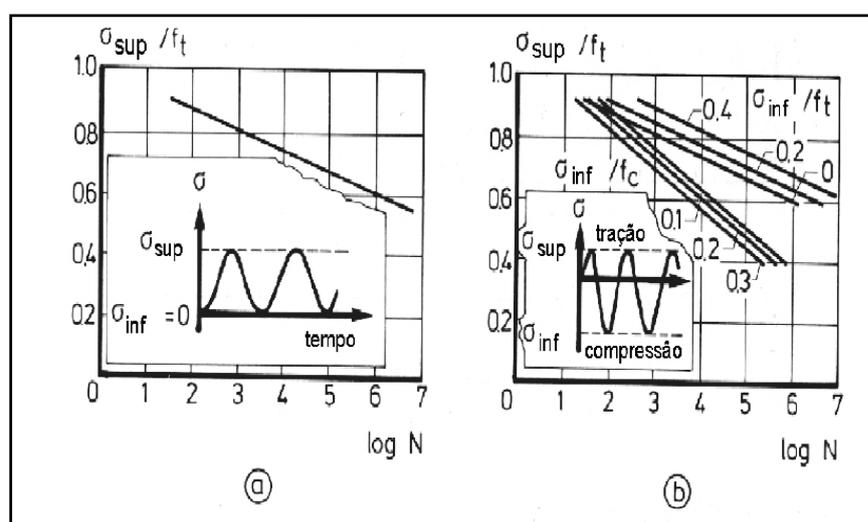


Figura 2.4 – Relação tensão x log N: a) relação nível superior de tensões/no. de ciclos para ruptura ; b) influência do nível inferior de tensões (CORNELISSEN, 1984).

Quando os dados da curva S-N aproximam-se de uma reta na escala log-linear, a expressão matemática que representa esta curva é a dada pela equação 2.1.

$$\sigma_a = C + D \cdot \log N \quad (\text{Equação 2.1})$$

Para os dados aproximados a uma linha reta plotados numa escala log-log, a equação correspondente passa a ser a da equação 2.2.

$$\sigma_a = AN^B \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde A, B, C e D são constantes.

Uma curva S-N completa pode ser dividida em duas porções: faixa de baixo ciclo e faixa de alto ciclo. Não há uma linha de separação definida entre as duas, devendo, portanto, ser estabelecido um limite arbitrário. Geralmente se considera que menos de 10^4 ciclos representa a faixa de baixo ciclo. Entre 10^4 ciclos até 10^7 considera-se a faixa de alto ciclo. Acima de 10^7 se considera vida útil à fadiga “infinita”.

A maioria das estruturas civis de concreto armado que se encontram sujeitas a fadiga apresentam duração esperada e regimes de carregamento que as colocam na faixa de fadiga de alto ciclo (pavimentos, pontes rodoviárias e ferroviárias). O avanço tecnológico mais recente tem dado lugar a estruturas que podem estar submetidas a elevadíssimo número de ciclos (entre 10^7 e 50×10^7). Como exemplo destas estruturas pode-se citar as estruturas marinhas (AGUADO *et al.*, 1990, apud GONÇALVES, 2003).

Na faixa de baixo ciclo a resistência à fadiga do material está perto da resistência estática. Em faixas de alto ciclo a resistência à fadiga cai progressivamente em relação à resistência estática.

A curva S-N é usada para determinar o limite de fadiga, S_f , nível de tensão máximo que se pode admitir, de modo que não ocorra ruptura, mesmo depois de um grande número de ciclos. Sendo o conceito de limite de fadiga largamente utilizado nos projetos de engenharia, mesmo quando não existe uma linha de demarcação distinta.

Pode-se também definir, a partir das curvas S-N, a vida esperada em fadiga, N, que representa o número de ciclos admissíveis para um determinado nível de tensão ou deformação antes que ocorra a falha.

De acordo com Thun (2006), Aas-Jakobsen em 1970, buscando uma melhora nas Curvas de Wöhler, examinou a influência dos níveis de tensão mínima sobre as tensões de fadiga. Ele

mostrou que a relação entre a tensão máxima / resistência estática (σ_{cmax}/f_c) e a tensão mínima / resistência estática (σ_{cmin}/f_c) é linear para falha de fadiga até um número de ciclos (N) igual a 2×10^6 . Portanto, a relação entre a tensão máxima e mínima ($\sigma_{cmax}/\sigma_{cmin}$) e a tensão máxima / resistência estática (σ_{cmax}/f_c) também é linear. Combinando essas relações lineares, ele derivou a expressão apresentada na equação 2.3.

$$\frac{\sigma_{cmax}}{f_c} = 1 - 0,064(1 - R)\log N \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde: $R = \sigma_{cmin}/\sigma_{cmax}$

$\beta = 0,064$, sendo β é a inclinação da curva S-N quando $R=0$.

Sendo válida a equação 2.3 para $0 \leq R \leq 1$, porém não para tensões alternadas entre compressão e tração.

Tepfers & Kutti (1979) fizeram estudos aplicando a expressão de Aas-Jakobsen para concretos usuais e concretos leves com a intenção de propor uma relação comum aos dois tipos de concreto. Eles utilizaram dados experimentais encontrados na literatura (correspondendo a $\log N = 6$) e dados de seus próprios estudos e propuseram a equação 2.4.

$$\frac{\sigma_{cmax}}{f_{cm}} = 1 - 0,0685(1 - R)\log N \quad (\text{Equação 2.4})$$

A representação gráfica da expressão de Tepfers & Kutti esta apresentada na figura 2.5.

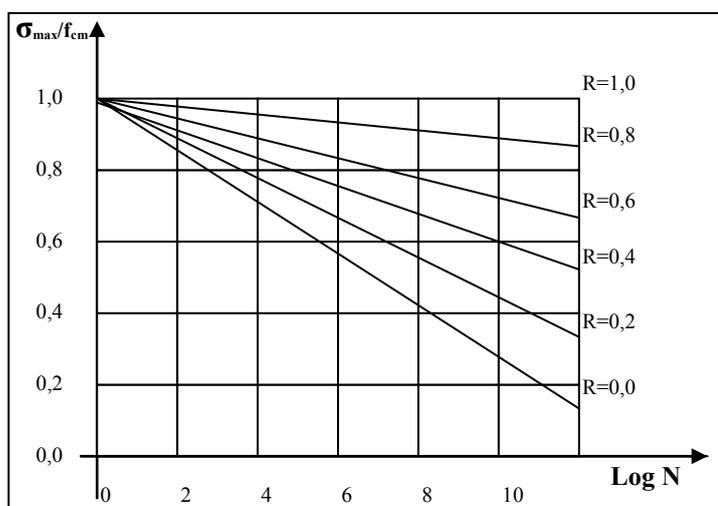


Figura 2.5 – Curva de Wöhler – para diferentes valores de R (TEPFERS & KUTTI, 1979).

Foram propostas modificações nos modelos de Tepfers & Kutti, por Hsu (1981), com a introdução do fator T, período de oscilação da carga, expresso em ciclos por segundo. Que propôs para a fadiga de alto ciclo a equação 2.5, e para fadiga de baixo ciclo a equação 2.6.

$$\frac{\sigma_{cmax}}{f_c} = 1 - 0,0662(1 - 0,556R)\log N - 0,0294\log T \quad (\text{Equação 2.5})$$

$$\frac{\sigma_{cmax}}{f_c} = 1,20 - 0,20R - 0,133(1 - 0,779R)\log N - 0,053(1 - 0,445R)\log T \quad (\text{Equação 2.6})$$

Stemland *et al* (1990) apresentaram um modelo para predizer a relação entre tensão máxima, tensão mínima e número de ciclos para a ruptura, cuja expressão está apresentada a seguir:

$$\log N = (12 + 16 \times \sigma_{min} + 8 \times \sigma_{min}^2) \times (1 - \sigma_{max}) \quad (\text{Equação 2.7})$$

Sendo que a inclinação das curvas muda quando $\log N = 6$, onde os autores propõem que seja multiplicado pelo fator X, dado pela expressão da equação 2.8.

$$X = 1 - 0,2 \times (\log N - 6) \quad (\text{Equação 2.8})$$

O modelo proposto no CEB-FIP (1993), é baseado no modelo sugerido por Stemland *et al* (1990).

A estimativa dos efeitos da fadiga pode ser feita através do modelo de Palmgren-Miner, que considera o espectro de carregamento e o dano acumulado. Esse método baseia-se num modelo linear de dano por fadiga, em que se considera o efeito do histórico das solicitações através do acúmulo de danos que cada intensidade de tensão provoca no material.

Essa regra foi formulada por A. Palmgren em 1920, porém tornou-se conhecida a partir da publicação de Miner em 1945. Estima o valor do dano acumulado a partir do espectro de ações correspondente a uma probabilidade de ruptura para um determinado número de ciclos.

A regra de Palmgren-Miner é muito utilizada, e a sua consolidação é feita supondo que o dano de um elemento sob qualquer nível de variação de tensão é aditivo, tal que:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{Equação 2.9})$$

Onde: D = razão do dano acumulado de fadiga
 n_i = no. de ciclos de carregamento associado a um nível de variação de tensão i
 N_i = número de ciclos correspondente ao limite de fadiga dado pelas curvas S-N para um nível de variação de tensão i .

Esta análise leva em consideração que não existe efeito na seqüência da aplicação das cargas. É assumido que a falha por fadiga ocorre quando o dano acumulado calculado atinge o dano permissível.

A estimativa da vida de fadiga de um elemento estrutural pode ser feita a partir da identificação da seção crítica e do espectro do carregamento cíclico de serviço, verificando a freqüência da aplicação das cargas e das tensões provocadas (máximas e mínimas). Através de uma curva S-N apropriada determina-se o limite de resistência à fadiga para cada variação de tensão. Utilizando regra de Palmgren-Miner, o dano por fadiga é n/N . (MALLET, 1991).

2.4.2. Análise da Fadiga com base na Deformação

Metodologia desenvolvida entre nos anos de 1950 a 1960 em que a estimativa da vida útil de fadiga se dá através de uma curva que relaciona a amplitude de deformação pelo número de ciclos até a falha. Essa curva é empregada na análise da fadiga com base na deformação de maneira análoga à curva S-N.

O traçado das curvas é feito com base em testes de fadiga sob ciclos de carregamento completamente reversos entre limites de deformação constante. Nesses testes além do número de ciclos, são obtidas, também, as tensões a que o corpo de prova está submetido.

A amplitude de deformação pode ser dividida em parte elástica e parte plástica, isto é:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ea} + \varepsilon_{pa} \quad \text{(Equação 2.10)}$$

A amplitude elástica é relacionada com a amplitude de tensão. A amplitude plástica é medida da metade da largura de um ciclo de carga e descarga no gráfico tensão-deformação.

Além da deformação total (ε_a), é usual plotar também a deformação elástica (ε_{ea}) e a deformação plástica (ε_{pa}), separadamente versus número de ciclos.

Os dados obtidos nos testes de fadiga podem ser plotados em escala log-log, quando se aproximam de uma reta, e tendo para a deformação plástica grande coeficiente angular. As equações para estas retas estão apresentadas respectivamente nas expressões abaixo, equações 2.11 e 2.12.

$$\varepsilon_{ea} = \frac{\sigma_a}{E} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N)^b \quad (\text{Equação 2.11})$$

$$\varepsilon'_{pa} = \varepsilon'_f (2N)^c \quad (\text{Equação 2.12})$$

Onde: b, c – coeficientes de inclinação da reta na escala log-log;

b – expoente de resistência à fadiga;

c – expoente de ductilidade à fadiga;

σ'_f – coeficiente de resistência à fadiga;

ε'_f – coeficiente de ductilidade à fadiga.

Com a combinação dessas duas equações tem-se a relação entre a amplitude de deformação total e a vida de fadiga:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E} (2N)^b + \varepsilon'_f (2N)^c \quad (\text{Equação 2.13})$$

Originalmente, a equação nesta forma foi desenvolvida para estruturas de aço. O uso destas equações para a análise de componentes estruturais, tais como vigas, necessitam primeiramente da determinação do componente mecânico dos materiais em função do carregamento aplicado.

O Boletim 188 do CEB (1988), considera que a análise da fadiga em estruturas de concreto armado que leva em consideração o desenvolvimento das deformações e deslocamentos é mais satisfatória.

Formulações para o concreto na compressão ou tração são encontradas na literatura, as quais incluem os efeitos do tempo e de taxas de deformação devido à fluência (MENEGHETTI, 2007).

2.4.3 Análise da Fadiga Baseada na Teoria da Mecânica da Fratura

Outra maneira para estudar o fenômeno da fissuração do concreto sob tensão é através dos conceitos da Mecânica da Fratura, método usado desde a década de 1940 para metais e vidros

(THUN, 2006). Existem vários estudos sobre a Mecânica da Fratura aplicada ao concreto (HILLERBORG, 1976; ELFREN, 1989; HORDIJK, 1991; BAZANT, 1992; BAZANT & PLANAS, 1998).

A presença de uma fissura ou trinca em um componente pode enfraquecer e até levar à falência total. Quando não é possível evitar as fissuras, pode-se utilizar conceitos relacionados à Mecânica da Fratura, para selecionar materiais ou projetar elementos estruturais, minimizando a possibilidade de fratura.

A vida útil à fadiga pode ser definida como o número de ciclos para propagar a trinca de uma dimensão inicial até uma dimensão crítica. O objetivo da Mecânica da Fratura é o de determinar se um defeito tipo fissura irá ou não levar à fratura catastrófica para tensões normais de serviço, permitindo, ainda, determinar o grau de segurança efetivo de um elemento fissurado. A Mecânica da Fratura fornece os conceitos e equações para determinar como as fissuras crescem e quanto podem afetar a resistência da estrutura (DOWLING, 1999; STROHAECKER, 2006).

Até 1960 os conceitos da Mecânica da Fratura eram aplicados somente para materiais que obedecem a Lei de Hooke, quando, então, passaram a ser utilizados para avaliação de vários tipos de materiais com comportamento não-linear, isto é, plasticidade, visco-plasticidade e visco-elasticidade (ANDERSON, 1995).

Existem duas alternativas de encaminhamento para a análise de fratura: critérios de energia e o da intensidade de tensões. O primeiro encaminhamento se baseia na idéia de que quando a diminuição da energia mecânica se torna igual a energia necessária para criar uma correspondente área da fissura, a fissura começa a propagar-se. Pode-se então escrever a relação como:

$$G = \frac{\partial U_M}{\partial A} \quad (\text{Equação 2.14})$$

Sendo: G – diminuição de energia mecânica por unidade de área fissurada
 U_M – energia mecânica;
 A – área da fissura.

Cabe salientar que G é função da geometria e do carregamento do corpo deformado. Quando o mesmo atinge certo valor crítico, inicia-se a propagação da fissura.

A segunda maneira de análise se baseia na determinação do fator K de intensidade de tensões, governado pela configuração geométrica do componente fissurado e pelo nível e modo do carregamento imposto. Esses modos de fratura, apresentados na figura 2.6, são:

- modo I – abertura da ponta da fissura;
- modo II – cisalhamento puro, deslocamento das superfícies da fissura paralelamente a si mesmas e perpendiculares à frente de propagação;
- modo III – rasgamento, deslocamento das superfícies da fissura paralelamente a si mesmas.

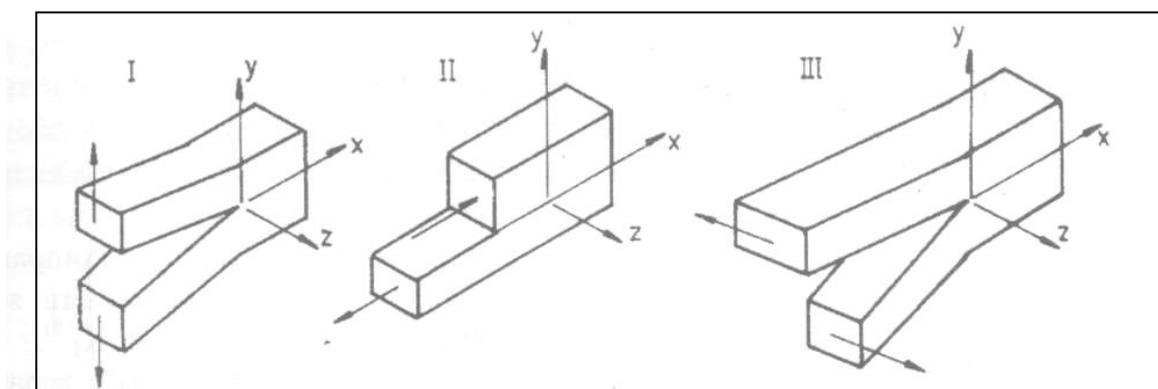


Figura 2.6 – Modos de fratura básicos de uma trinca.

Para um determinado modo de carregamento, a distribuição de tensões em torno de qualquer fissura em uma estrutura no regime linear-elástico é semelhante, sendo completamente descrita pelo parâmetro K. Sendo K determinado pela expressão da equação 2.15.

$$K = Y(a) \cdot \sigma \cdot [\pi \cdot a]^{0,5} \quad (\text{Equação 2.15})$$

Sendo: $Y(a)$ – coeficiente relacionado a configuração geométrica;

σ - tensão aplicada;

a – metade do comprimento da fissura

O valor crítico para o fator de intensidade de tensões, K_c , que é uma constante, propriedade intrínseca do material, para uma dada situação de temperatura, taxa de carregamento e condição micro-estrutural. O fator K_c pode ser obtido experimentalmente. Portanto, por ser

uma propriedade intrínseca do material, K_c pode ser utilizado na análise de qualquer geometria, possibilitando o cálculo do tamanho crítico de fissuras no projeto de estruturas.

O campo de tensões próximo à ponta da fissura pode ser caracterizado em termos do fator de intensidade de tensões, cuja expressão, em coordenadas polares, esta apresentada a seguir.

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{(2\pi.r)^{0,5}} \times f_{ij}(\phi) \quad (\text{Equação 2.16})$$

Sendo: K – fator de intensidade de tensões;
 r – distância radial da abertura da fissura;
 f_{ij} – função adimensional de ϕ , cujo módulo varia de 0 a 1;
 ϕ - ângulo medido a partir do plano da fissura.

Portanto, para um determinado modo de carregamento, a distribuição de tensões em torno da ponta de qualquer fissura em uma estrutura com comportamento no regime linear-elástico de tensões é semelhante, sendo completamente descrita pelo fator de intensidade de tensões, K , o qual é governado pela configuração geométrica e pelo nível e modo de carregamento imposto (STROHAECHER, 2006).

Segundo Bazant (1992), não há dúvidas dos benefícios da introdução da Mecânica da Fratura nos critérios de projeto para falhas frágeis de estruturas de concreto armado. Particularmente importante para: estruturas de concreto de alta resistência, estruturas de concreto armado com fibras, estruturas de grandes dimensões e estruturas protendidas.

Além dos efeitos microscópicos do processo de fadiga, aspectos fenomenológicos macroscópicos que podem influenciar o processo de avanço da superfície de fratura são considerações importantes na análise do fenômeno de fadiga.

Segundo Collins (1981), é importante considerar os possíveis efeitos a seguir:

- a) efeitos da tensão simples alternante completamente reversa na resistência e propriedades dos materiais utilizados nas estruturas;
- b) efeitos da tensão média superposta com a componente flutuante;
- c) efeitos da tensão alternante em estado multiaxial de tensões;

- d) efeitos de falhas;
- e) efeitos da temperatura no comportamento dos materiais utilizados na estrutura;
- f) efeitos do tamanho do elemento estrutural; efeito dos ciclos cumulativos nos vários níveis de tensão e a permanência do efeito;
- g) grande variabilidade das propriedades de fadiga para um dado material;
- h) efeitos dos fatores ambientais;
- i) efeitos da interação da fadiga e outros modos de ruptura.

2.5 VIDA ÚTIL DE FADIGA

A determinação da vida útil de fadiga é fundamental no caso de OAEs. Dadas suas condições de uso, a fadiga pode ser o mecanismo de degradação principal neste tipo de estrutura.

Para avançar nesta questão é importante diferenciar os conceitos de durabilidade e vida útil. Baseado nas discussões conceituais propostas por John e Aroztegui (1985) e Silva Filho (2005), podemos associar durabilidade à capacidade genérica de um determinado material de se manter íntegro – ou utilizável, sob certas condições de exposição. A mesma é normalmente expressa como um parâmetro temporal relativo. Já a vida útil de uma estrutura pode ser definida como o tempo durante o qual a mesma mantém um desempenho satisfatório (acima do mínimo aceitável), sob certas condições de uso e exposição.

Para determinar a vida útil de uma estrutura é obviamente necessário estimar a durabilidade de seus componentes, sob as condições efetivas de uso e exposição da estrutura. Operações de manutenção, recuperação ou substituição podem permitir atingir uma determinada vida útil quando a durabilidade do material é inferior à desejada ou as condições de exposição são mais agressivas que o previsto.

É importante considerar que a vida útil não é governada somente pela durabilidade dos materiais. A vida útil de uma estrutura pode se encerrar por razões não associadas à degradação dos seus componentes, tais como a obsolescência funcional ou a eventual perda de função da estrutura.

A vida útil pode ser denominada de diferentes formas, dependendo da visão que se adote para determinar o período de tempo associada à mesma. A vida útil *de projeto* corresponde ao

tempo mínimo durante o qual a estrutura deve manter um desempenho aceitável, consideradas as condições de projeto, ou seja, coeficientes de segurança e incerteza. A vida útil *de utilização* compreende o tempo total até que a estrutura efetivamente perca as condições de uso. Já a vida *útil residual, ou remanescente*, expressa o tempo adicional estimado, a partir de uma inspeção ou análise da estrutura, até que ocorra uma falha crítica - isto é, uma falha que reduza o desempenho da estrutura a condições inaceitáveis (SILVA FILHO, 2005).

O processo de projeto de uma estrutura de concreto armado é sempre baseado na prescrição ou estimativa de valores para certas variáveis que tem importância crítica na definição da vida útil dessa estrutura. Por exemplo, especifica-se uma determinada qualidade para os materiais, admite-se um determinado padrão de uso, considera-se a existência de certa agressividade ambiental e de um determinado plano de manutenção. Somente com a definição destas condições de contorno é possível estimar a durabilidade esperada e a vida útil da estrutura.

A vida útil de fadiga é definida em função do número de ciclos até a ruptura. O conceito é útil e, no caso de carregamentos repetitivos de mesma intensidade, é possível estimar um determinado valor de vida útil esperada, se a frequência dos ciclos for conhecida.

A questão é que, na realidade, veículos diferentes geram variações de tensão diferentes e sua frequência de passagem não é constante. Obras de arte viárias localizadas em regiões de escoamento da safra vão ter carregamentos que variam sazonalmente. É necessário entender e modelar estas situações para que seja possível criar cenários confiáveis de evolução da fadiga no estoque de estruturas em operação em uma determinada parte da malha rodoviária.

Esta questão não é considerada adequadamente na maioria das normas de projeto de estruturas de concreto armado, que tendem a adotar critérios simplificados baseados num trem tipo padrão. A norma brasileira, por exemplo, estabelece somente limitações na tensão admissível do aço, fazendo uma estimativa grosseira de que isto garantiria que as estruturas resistissem a, pelo menos, 2.000.000 de ciclos de carregamento derivados da passagem do trem tipo. É fundamental estudar como este critério se relaciona com a situação real de estruturas submetidas a diferentes histogramas de carregamento, e quais suas implicações em termos de vida útil residual das mesmas.

No item a seguir se faz uma revisão mais detalhada da abordagem sobre fadiga em diferentes normas.

2.6 REVISÃO DOS CRITÉRIOS PARA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA À FADIGA EM ALGUMAS NORMAS

As prescrições para verificação da resistência à fadiga de estruturas de concreto armado, nos diferentes códigos, seguem linhas semelhantes, contemplando o comportamento dos materiais componentes, como mostrado nos itens seguintes.

2.6.1 Critérios da Norma Brasileira NBR 6118/03

A Norma Brasileira de *Projeto de Estruturas de Concreto – NBR 6118/03*, aprovada em 2003 e com revisão em 2004, recomenda, que quando a estrutura, pelas suas condições de uso, está submetida a ações cíclicas, deve ser considerada a possibilidade de fadiga no dimensionamento dos elementos estruturais. Alerta, que ações dinâmicas podem provocar estados limites de serviço e de ruptura por vibrações excessivas ou por fadiga dos materiais. As prescrições da norma estão apresentadas nos itens seguintes.

a) Estado Limite de Vibrações Excessivas

Para assegurar comportamento satisfatório da estrutura, a norma prescreve que a frequência natural da estrutura pode ser controlada pela alteração da rigidez da estrutura ou da massa em vibração, sendo estabelecido que:

$$f_n > 1,2 \cdot f_{crit} \quad (\text{Equação 2.17})$$

Onde: f_n - frequência própria ou natural da estrutura;

f_{crit} - frequência crítica, dependente da destinação da estrutura.

A frequência crítica, quando devida à vibração de equipamentos, é tomada como a frequência de operação da máquina. Nos demais casos, os valores são determinados experimentalmente ou podem ser adotados os valores estimados indicados na norma e transcritos na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Frequência crítica para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas (NBR 6118/03)

Caso	f_{crit} (Hz)
Ginásio de esportes	8,0
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Escritórios	3,0 a 4,0
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,4
Passarelas de pedestres ou ciclistas	1,6 a 4,5

b) Estado Limite de Serviço em Fadiga

A norma considera que as ações cíclicas podem afetar significativamente o comportamento da estrutura em serviço, principalmente em relação ao aparecimento e crescimento de fissuras. Indica, ainda, que as mesmas influenciam, também, de forma progressiva a deformação, somando-se àquelas devido à fluência. O valor da deformação decorrente da fadiga pode ser estimado, segundo a norma, através da expressão mostrada na equação 2.18.

$$a_n = a_1 [1,5 - 0,5 \cdot \exp(-0,05 \cdot n^{0,25})] \quad (\text{Equação 2.18})$$

Onde: a_n – deformação no n ésimo ciclo devido à carga máxima;
 a_1 – deformação no primeiro ciclo devido à carga máxima
 n – número de ciclos.

c) Estado Limite Último (ou de Ruptura) em Fadiga

A NBR 6118/03, como referido anteriormente, trata das ações de fadiga de média e de baixa intensidade, com número de ciclos entre 20.000 e 2.000.000. Sendo que para o caso de pontes rodoviárias, exclui o espectro das ações provocadas por veículos com carga total até 30 kN. A mesma considera válida a regra de Palmgren-Miner, prescrevendo que o valor de D, razão do dano acumulado linearmente com o número de ciclos aplicado a certo nível de tensões, equação 2.9, não deverá ter valor maior do que 1.

Prescreve, também, que a verificação da fadiga pode ser feita considerando um único nível de sollicitação, dada pela expressão da equação 2.19:

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{gik} + \psi_1 \cdot F_{qik} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} \cdot F_{qik} \quad (\text{Equação 2.19})$$

Onde: Ψ_1 – fator de redução combinação frequente no ELS (Estados Limites de Serviço);
 Ψ_2 – fator de redução de combinação quase permanente para ELS;
 F_d – valor de cálculo das ações para combinação última;
 F_{gk} – ações permanentes diretas;
 F_{qk} – ações variáveis diretas.

Sendo os valores de Ψ_1 indicados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Valores de Ψ_1 (NBR 6118/03)

Tipo de Ponte	Elemento	Ψ_1
Rodoviária	Vigas	0,5
	Transversinas	0,7
	Lajes	0,8
Ferroviária	-	1,0
Rolantes	Vigas	1,0

Outros valores de Ψ_1 estão apresentados na Norma Brasileira de *Ações e Segurança as Estruturas – NBR 8681/03*. Esta norma faz as seguintes considerações, para a verificação da fadiga:

- Esforços solicitantes podem ser calculados em regime elástico;
- Cálculo dos esforços solicitantes e verificações das tensões, podem ser feitos com o modelo linear elástico, com relação entre os módulos de elasticidade do concreto e do aço igual a 10;
- Tensões decorrentes da flexão composta podem ser calculadas no estágio II;
- Tensões decorrentes da força cortante em vigas devem ser calculadas de acordo com os modelos I ou II prescritos nessa mesma norma, com redução da contribuição do concreto:

- a) modelo I – com a parcela da força cortante resistida por mecanismos complementares ao modelo de treliça (V_c) multiplicado por 0,5;
- b) modelo II – com a inclinação das diagonais de compressão (θ), corrigida pela expressão:

$$\operatorname{tg} \theta_{corr} = \sqrt{\operatorname{tg} \theta} \leq 1,0 \quad (\text{Equação 2.20})$$

- Os coeficientes de ponderação das ações (γ_f) e resistências (concreto – γ_c , aço – γ_s) devem ser adotados iguais aos valores: $\gamma_f = 1,0$; $\gamma_c = 1,4$; $\gamma_s = 1,0$.
- Tensões no aço das armaduras passivas ou ativas aderentes, podem ser calculadas no modelo elástico linear, compatibilizando as deformações e corrigindo a tensão com um fator η_s , obtido na expressão da equação 9, para contemplar a diferença de aderência.

$$\eta_s = \frac{1 + \frac{A_p}{A_s}}{1 + \frac{A_p}{A_s} \sqrt{\frac{\xi \phi_s}{\phi_p}}} \quad (\text{Equação 2.21})$$

- Onde:
- A_s – área da armadura passiva;
 - A_p – área da armadura ativa;
 - ϕ_s – menor diâmetro do aço da armadura passiva na seção considerada;
 - ϕ_p – diâmetro do aço de protensão;
 - ξ - relação entre as resistências de aderência do aço de protensão e do aço da armadura passiva.

Com base nessas considerações, podem ser feitas as verificações do concreto e do aço.

I) Verificação do concreto em compressão:

$$\eta_c \cdot \gamma_f \cdot \sigma_{c,\max} \leq f_{cd,fad} \quad (\text{Equação 2.22})$$

Onde: $f_{cd,fad}$ = resistência de cálculo à compressão do concreto em fadiga, obtida pela expressão da equação 2.23:

$$f_{cd,fad} = 0,45 f_{cd} \quad (\text{Equação 2.23})$$

η_c = fator que considera o gradiente de tensões de compressão no concreto, obtido pela expressão da equação 2.24:

$$\eta_c = \frac{1}{1,5 - 0,5(|\sigma_{c1}| / |\sigma_{c2}|)} \quad (\text{Equação 2.24})$$

Com os seguintes significados:

$|\sigma_{c1}|$ - menor valor, em módulo, da tensão de compressão a uma distância não maior que 30 cm da face sob a combinação relevante de carga;

$|\sigma_{c2}|$ - maior valor, em módulo, da tensão de compressão a uma distância não maior que 30 cm da face sob a combinação relevante de carga.

II) Verificação do concreto em tração:

$$\gamma_f \cdot \sigma_{ct,max} \leq f_{ctd,fad} \quad (\text{Equação 2.25})$$

Sendo: $f_{ct,fad}$ – resistência de cálculo à tração do concreto em fadiga, obtida pela expressão da equação 2.26.

$$f_{ctd,fad} = 0,3 \cdot f_{ctd,inf} \quad (\text{Equação 2.26})$$

III) Verificação da armadura:

$$\gamma_f \cdot \Delta\sigma_s \leq \Delta f_{sd,fad} \quad (\text{Equação 2.27})$$

Sendo: $\Delta\sigma_s$ – variação de tensão do aço;

$\Delta f_{sd,fad}$ – variação da tensão do aço em fadiga, dependente do tipo de aço, do diâmetro das barras, da existência de dobras e do ambiente em que se encontra a estrutura.

2.6.2 Critérios do CEB-FIP Model Code 1990

O CEB-FIP Model Code 1990 (1991b) apresenta três situações para verificação de estruturas de concreto armado solicitadas à fadiga, apresentadas a seguir.

I) Processo Simplificado

O processo simplificado pode ser aplicado a estruturas submetidas a carregamentos com um número limitado de ciclos ($< 10^8$). Neste caso, a tensão no aço pode ser determinada pela expressão:

$$\gamma_{Sd} \cdot \max \Delta \sigma_{St} \leq \frac{\Delta \sigma_{Rsk}}{\gamma_{sfad}} \quad (\text{Equação 2.28})$$

Onde: $\max \Delta \sigma_{St}$ – máxima variação de tensão no aço;
 γ_{sfad} – fator de segurança do aço à fadiga, de acordo com o CEB-FIP Model Code 1990 (1991a), é igual a 1,15;
 $\Delta \sigma_{Rsk}$ – resistência característica do aço à fadiga.

As tensões no concreto podem ser determinadas pelas expressões das equações 2.29 e 2.30, quando em compressão e tração respectivamente.

$$\gamma_{Sd} \cdot \sigma_{cmax} \cdot \eta_c \leq 0,45 \cdot f_{cd,fad} \quad (\text{Equação 2.29})$$

$$\gamma_{Sd} \cdot \sigma_{ctmax} \leq 0,33 \cdot f_{ctd,fad} \quad (\text{Equação 2.30})$$

Sendo: σ_{cmax} – máxima tensão de compressão no concreto;
 σ_{ctmax} – máxima tensão de tração no concreto;
 $f_{cd,fad}$ – igual ao f_{ck} dividido pelo coeficiente de ponderação do concreto à fadiga;
 $f_{ctd,fad}$ – igual ao f_{ctk} dividido pelo coeficiente de ponderação do concreto à fadiga;
 η_c – dado pela expressão da equação 2.31.

$$\eta_c = \frac{1}{1,5 - 0,5 \left(\frac{|\sigma_{c1}|}{|\sigma_{c2}|} \right)} \quad (\text{Equação 2.31})$$

Com: $|\sigma_{c1}|$ - menor valor, em módulo, da tensão de compressão a uma distância <300 mm da face, sob a combinação relevante de forças;

$|\sigma_{c2}|$ - maior valor, em módulo, da tensão de compressão a uma distância < 300 mm da face, sob a mesma combinação relevante de força para $|\sigma_{c1}|$.

II) Verificação por uma Ação Equivalente

Nesta verificação proposta pelo CEB-FIP Model Code 1990 (1991b), toda ação da estrutura deve ser substituída por um número equivalente de ciclos de amplitude constante. O dimensionamento é feito considerando a vida útil, estimando o número de repetições da ação.

Para o aço, tem-se:

$$\gamma_{sd} \cdot \max \Delta \sigma_{St} \leq \frac{\Delta \sigma_{Rsk}(n)}{\gamma_{sfad}} \quad (\text{Equação 2.32})$$

Onde: $\Delta \sigma_{Rsk}(n)$ – resistência característica do aço à fadiga para n ciclos de carregamento, valor obtido da curva S-N;

N – número de ciclos previstos para a vida útil da estrutura.

Para o concreto, deve ser satisfeita a condição:

$$n \leq N \quad (\text{Equação 2.33})$$

Sendo: n – número de repetições;

N – número admissível de repetições.

III) Verificação do Dano

Segundo o CEB-FIP Model Code 1990 (1991b) em seu terceiro processo de verificação prescreve que:

$$D \leq D_{lim} \quad (\text{Equação 2.34})$$

Onde: D_{lim} – dano total admitido na estrutura, igual a 1 para dano de 100% no material.

D – dano causado no material por causa do processo de fadiga, calculado a partir do modelo de Palmgreen-Miner determinado pela equação 2.35.

$$D = \sum_{i=1}^j \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{Equação 2.35})$$

Sendo: j - número de intensidades de carregamento;

n – número de solicitações de uma determinada variação de tensão i, para o aço, ou de uma certa intensidade de tensão i, para o concreto;

N – número admissível de ciclos para a intensidade da solicitação i.

2.6.3 Comparação entre NBR 6118/03 e CEB-FIP Model Code 1990

Tanto a norma brasileira NBR 6118/03, equação 2.9, quanto o CEB-FIP Code Model 1990, equação 2.35, consideram válida a regra de Palmgren-Miner, prescrevendo para valor limite de D, razão do dano acumulado linearmente com o número de ciclos aplicado a certo nível de tensões, igual a 1.

A seguir está apresentado, na tabela 2.3, um quadro comparativo entre os valores para verificação da fadiga em estruturas de concreto armado prescritos pela NBR 6118/03 e pelo CEB-FIP Code Model 1990. Analisando o mesmo percebe-se que existe um nítido alinhamento entre os dois códigos quanto ao encaminhamento das verificações e quanto aos critérios a serem adotados.

Tabela 2.3 – Quadro Comparativo para Limites de Fadiga.

Verificação	NBR 6118/03	CEB-FIP Método Simplificado	CEB-FIP Por Ação Equivalente
Concreto à Compressão	$\eta_c \cdot \gamma_f \cdot \sigma_{c,max} \leq f_{cd,fad}$ $f_{cd,fad} = 0,45 \cdot f_{cd}$	$\gamma_{Sd} \cdot \sigma_{c,max} \cdot \eta_c \leq 0,45 \cdot f_{cd,fad}$ $f_{cd,fad} = f_{ck} / \gamma_{c,fad}$	$n \leq N$
Concreto à Tração	$\gamma_f \cdot \sigma_{ct,max} \leq f_{ctd,fad}$ $f_{ctd,fad} = 0,30 \cdot f_{ctd,int}$	$\gamma_{Sd} \cdot \sigma_{ct,max} \leq 0,33 \cdot f_{ctd,fad}$ $f_{ctd,fad} = f_{ctk} / \gamma_{c,fad}$	$n \leq N$
Aço	$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta f_{sd,fad}$	$\gamma_{Sd} \cdot \max \Delta \sigma_{St} \leq \frac{\Delta \sigma_{Rsk}}{\gamma_{sfad}}$	$\gamma_{Sd} \cdot \max \Delta \sigma_{St} \leq \frac{\Delta \sigma_{Rsk}(n)}{\gamma_{sfad}}$

2.6.4 Considerações sobre o Projeto de Estruturas de Concreto Armado Solicitadas à Fadiga Segundo Diferentes Normas

As estruturas solicitadas por cargas cíclicas sofrerão os efeitos da fadiga. Em estruturas de concreto armado esses efeitos dependem do comportamento conjunto do concreto e do aço, bem como do tipo de estrutura.

Concreto armado normalmente é dimensionado de maneira que nas zonas comprimidas o responsável seja o concreto e, nas zonas tracionadas, seja o aço, uma vez que o concreto sob tensões acima de sua resistência à tração fissura ocorrendo uma redistribuição de tensões para a armadura. Em peças de concreto armado sob fadiga a propagação das fissuras altera a distribuição de tensões, e o mecanismo de ruptura não é necessariamente o mesmo que sob carregamento estático.

Em peças solicitadas à flexão, quando subarmadas, a fadiga é relativa às barras de aço. Já em peças superarmadas o mecanismo de ruptura é mais complexo (MAGGI, 2004).

O modelo de Palmgreen-Miner, mesmo não representando exatamente o comportamento de todas as estruturas solicitadas por cargas repetitivas, pode ser adaptado com base em dados de ensaios, podendo se constituir em um modelo simples de previsão de vida útil à fadiga (MAGGI, 2004).

As normas citadas prescrevem modelos associados à proposta de dano acumulado de Palmgreen-Miner. O Bulletin D'Information No.188 (CEB, 1988) indica também o encaminhamento através da teoria da Mecânica da Fratura.

3. ESTRUTURAS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS VIÁRIAS

Neste capítulo se apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre OEAs, abrangendo principalmente pontes e viadutos, que são as estruturas sujeitas à fadiga que interessam a este trabalho. É apresentado, para ilustração, um breve histórico de desenvolvimento destas obras e descritos os principais elementos e tipos estruturais, para subsidiar a escolha das OAEs que serão objeto de estudo neste trabalho.

3.1 BREVE HISTÓRICO

As estruturas que hoje designamos de *Obras de Arte Especiais* (OEAs) viárias surgiram como produto da necessidade natural do homem civilizado de transpor obstáculos, naturais ou artificiais, para continuar um trajeto ou estabelecer comunicações e rotas comerciais.

Na história da humanidade pode-se dizer que as pontes foram também maneiras de expressar mensagens. Para os romanos, as pontes eram ferramentas físicas e psicológicas de controle do império. Na Idade Média, as mesmas foram construídas como recompensa a certas comunidades pela obediência aos senhores feudais e à igreja. Ainda hoje, muitas delas são construídas para servirem também como propaganda de governos ou governantes (GOTTEMOELLER, 1998).

A necessidade de transpor obstáculos teve, ao longo do tempo, fortes aliados, ou propulsores, que foram os fatos históricos ligados a interesses financeiros e de poder. No renascimento, as pontes se tornaram críticas para assegurar as rotas comerciais. Na era industrial, com o advento dos automóveis, a cultura das estradas se tornou dominante, demandando a geração de um grande número de OAEs para superar obstáculos naturais ou organizar melhor o tráfego. Desde então a evolução tecnológica estimulou o desenvolvimento e construção de pontes cada vez maiores e mais complexas.

As primeiras pontes eram estruturas simples, feitas de cordas, madeira e pedras, na forma de chapas e arcos. O arco pode ser considerado como a forma mais utilizada ao longo dos tempos. Simérios e romanos já faziam uso deste tipo de estrutura para construção de pontes e aquedutos, que datam de antes de cristo. Dois exemplos são o aqueduto localizado em Nimes, na França, chamado “Pont du Gard”, e a Ponte de Sant’Angelo, originalmente chamada “Pons Aelius”, em Roma, que podem ser vistas nas figuras 3.1 e 3.2, respectivamente.

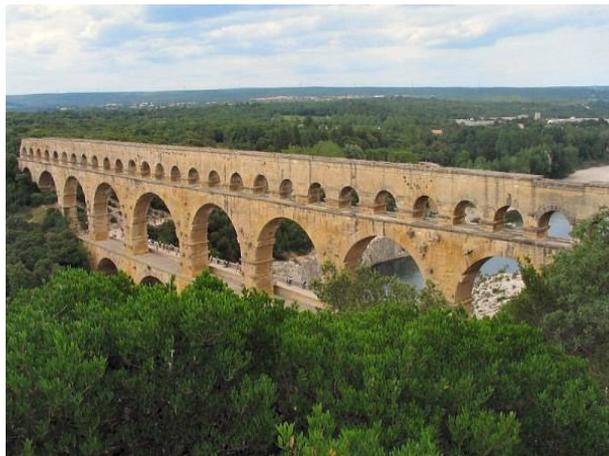


Figura 3.1 – Aqueduto “Pont du Gard” (www.france-for-visitors.com).



Figura 3.2 – Ponte “Pons Aelius” (www.livius.org).

Estas estruturas, feitas de pedras, tinham limitações para vencer vãos maiores, transpor vales ou rios profundos ou suportar grandes cargas. Para superar estes obstáculos, as formas estruturais clássicas para pontes foram sofrendo mudanças ao longo dos anos.

Até o século 18, as alvenarias e a madeira eram usadas em grande escala na construção de pontes. Porém, com o surgimento do aço, as estruturas tornaram-se mais leves e puderam ultrapassar vãos maiores.

A primeira ponte feita com a utilização do aço foi erguida em 1779, em Shropshire na Inglaterra. A mesma, mostrada na figura 3.3, tinha 30 metros de comprimento e ficou conhecida como “Steel Bridge” ou “Ponte de Aço”.

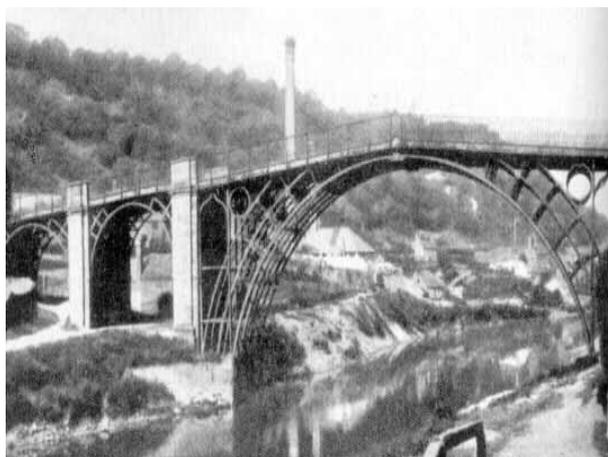


Figura 3.3 – Ponte de aço (www.fortunecity.com).

No século 19, engenheiros como Thomas Telford, Isambard Kingdon Brunel, Robert Stephenson, Gustave Eiffel e Benjamin Baker estimularam de forma significativa o desenvolvimento do uso do aço na construção de pontes (BECKETT, 1973).

Durante a Segunda Grande Guerra, houve necessidade de produzir uma grande quantidade de material bélico, o que levou ao rápido desenvolvimento de materiais de engenharia. Foram desenvolvidas pontes de montagem rápida, para transposição de cursos de água e brechas secas, viabilizadas pelo aparecimento de equipamentos capazes de transportar cargas móveis de grande peso. Uma das mais notáveis equipagens desenvolvidas nessa época foi a Ponte de Painéis Tipo Bailey, projetada pelo engenheiro inglês Donald Colman Bailey, que usou vigas armadas em treliça, divididas em seções, possíveis de serem montadas rapidamente e capazes de suportar grandes cargas, cujos detalhes estão apresentados nas figuras 3.4 e 3.5.

As vigas principais de uma ponte deste tipo são compostas de um determinado número de painéis Bailey idênticos, unidos nas extremidades, de maneira a formar vigas rígidas e contínuas de uma margem à outra. Pisos em madeira eram normalmente utilizados para

pontes provisórias enquanto painéis de aço revestidos eram empregados para pontes definitivas (HATHRELL, 1972).



Figura 3.4 – Detalhe elementos de uma ponte Bailey (www.paolipc.bogspot.com).



Figura 3.5 – Exemplo de ponte Bailey (www.panzermudel.com.br).

O surgimento do concreto armado e, posteriormente, do concreto protendido, aliados à evolução das estruturas em aço, possibilitaram a criação de pontes em arco com vãos cada vez maiores.

A teoria e aplicação do concreto armado para estruturas de pontes tiveram grande desenvolvimento na Europa com o engenheiro François Hennebique, que usou o concreto armado para construir muitas pontes. Porém, sua contribuição não se compara à de Robert

Maillart, tanto tecnicamente como esteticamente. Os inúmeros projetos de Robert Maillart, utilizando concreto, são exemplos da rápida evolução no emprego deste material.

O concreto foi primeiramente utilizado para a criação de elementos em arco, mas se mostrou propício também para a geração de tabuleiros com vigas retas (BECKERTT, 1973).

Com o desenvolvimento de novos materiais, surgiram novos tipos de estruturas, com comprimentos e vãos ainda maiores. Além de pontes em arcos e com vigas retas, surgiram as pontes em treliças, suspensas, estaiadas e mistas.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

De acordo com o ponto de vista sob o qual sejam consideradas, as OEAs podem ser classificadas de diversas maneiras, sendo as classificações mais usuais:

- a) quanto ao tipo de utilização: rodoviárias, ferroviárias, passarelas para pedestres, utilitárias (aquedutos, oleodutos) e mistas (rodo-ferroviárias);
- b) quanto ao material empregado: madeira, pedra, concreto armado ou protendido, aço, ou mista de dois ou mais materiais;
- c) quanto ao tipo estrutural: em laje, em arco ou abóbada, em viga retas de alma cheia ou vazada (treliças), em quadro rígido, pênsil e estaiada.

O presente trabalho está focado nas pontes e viadutos em concreto armado para fins rodoviários.

3.3 ELEMENTOS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Segundo Gottemoeller (1998), a reação das pessoas diante de uma OEA depende do que elas vêem primeiro. Esta primeira impressão raramente é apagada pelas informações posteriores. E o que as normalmente pessoas vêem primeiro é a forma e o tamanho dos elementos estruturais.

Estruturalmente, as OEAs podem ser divididas em três partes principais: a superestrutura, a meso-estrutura e a infra-estrutura, como indicado na figura 3.6.

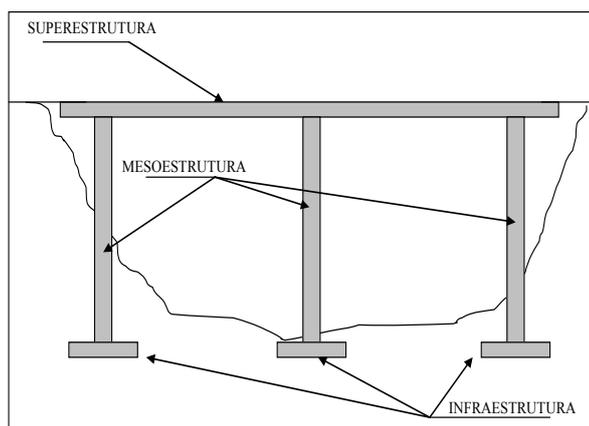


Figura 3.6 – Divisão estrutural de uma ponte.

A infra-estrutura é a parte que tem a função de transmitir ao terreno de implantação da obra os esforços provenientes da meso-estrutura. Constituem a infra-estrutura os elementos de fundação propriamente ditos (blocos, sapatas, estacas, tubulões ou similares), assim como as peças de ligação destes elementos entre si e deles com a meso-estrutura.

A meso-estrutura é constituída de elementos (pilares ou paredes estruturais) que recebem os esforços da superestrutura e de outras forças solicitantes da ponte, como pressões do vento e da água, e os transmitem à infra-estrutura.

A superestrutura é constituída pelo tabuleiro da ponte, formado pelas lajes e vigas principais e secundárias, que servem de elemento de suporte imediato do estrado de rodagem, que constitui a parte útil, sob o ponto de vista da finalidade da obra.

Os encontros, elementos de características muito variáveis, são utilizados em algumas estruturas de ponte com a finalidade de absorver os empuxos dos aterros de acesso, evitando sua transmissão aos demais elementos da ponte, servindo também como apoio extremo. Em algumas estruturas são imprescindíveis, porém em outras não são utilizados, dependendo da situação do terreno de acesso. Normalmente os encontros são considerados como elementos pertencentes à infra-estrutura (PFEIL, 1979).

3.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS TÍPICOS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Nos próximos itens estão descritos os principais sistemas estruturais de pontes.

3.4.1 Pontes em Arco

As pontes em arco são representantes dos primeiros modelos de pontes, como discutido em 3.1. Hoje em dia as pontes em arco podem ser projetadas de diferentes formas, com tabuleiro superior, sustentado por montantes; tabuleiro inferior, sustentado por tirantes; ou tabuleiro intermediário, sustentado lateralmente por montantes e na parte central por tirantes, como mostrado na figura 3.7.

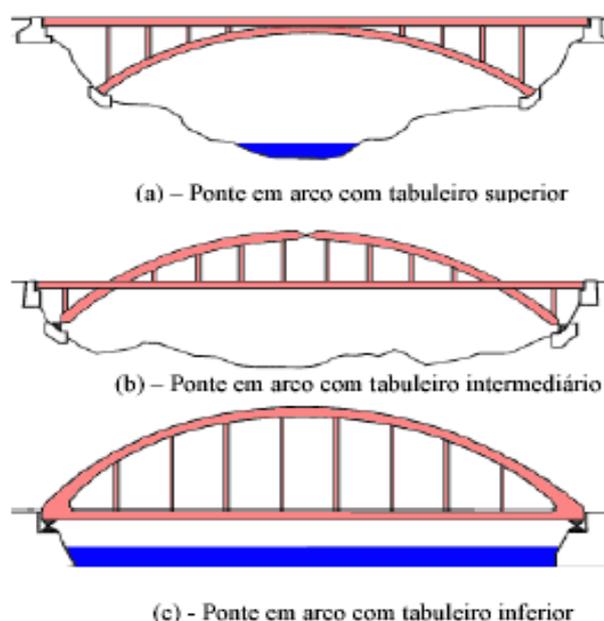


Figura 3.7 – Esquema de pontes em arco.

As figuras 3.8, 3.9 e 3.10 ilustram três pontes em arco com tabuleiro superior, projetadas por Robert Maillart. A “Tavanasa Bridge”, ponte em arco tri-articulado, com vão em torno de 40m, construída em 1905 e destruída em 1927 por uma avalanche. A “Aarburg Bridge” foi construída alguns anos depois, em 1912, enquanto a “Salginatobel Bridge” foi criada em 1930.

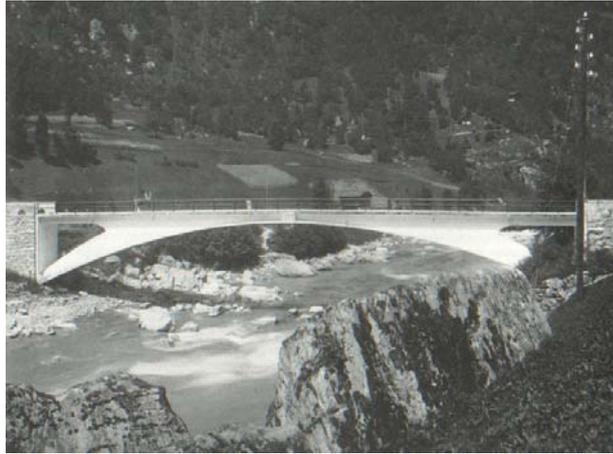


Figura 3.8 – Tavanasa Bridge (BILLINGTON, 1990).

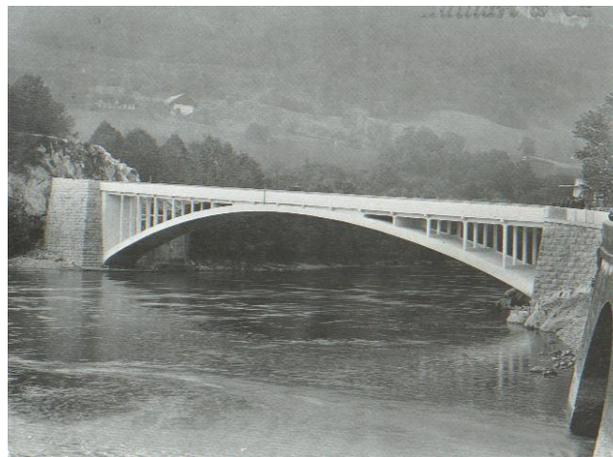


Figura 3.9 – Aarburg Bridge (BILLINGTON, 1990).



Figura 3.10 - Salginatobel Bridge (BILLINGTON, 1990).

Outro exemplo de ponte em arco com tabuleiro superior, de construção mais recente, é a “Natchez Trace Parkway Arches”, projeto da Figg Engineering Group, em 1994, localizada no Tennessee, nos Estados Unidos da América, mostrada na figura 3.11.



Figura 3.11 – Natchez Trace Parkway Arches (ARCILA, 2002).

As pontes em arco com tabuleiro inferior foram historicamente menos utilizadas, pois sua construção é mais complexa. As mesmas ganharam relevância nos últimos anos por razões estéticas. As figuras 3.12 e 3.13 ilustram algumas pontes em arco com tabuleiro inferior.

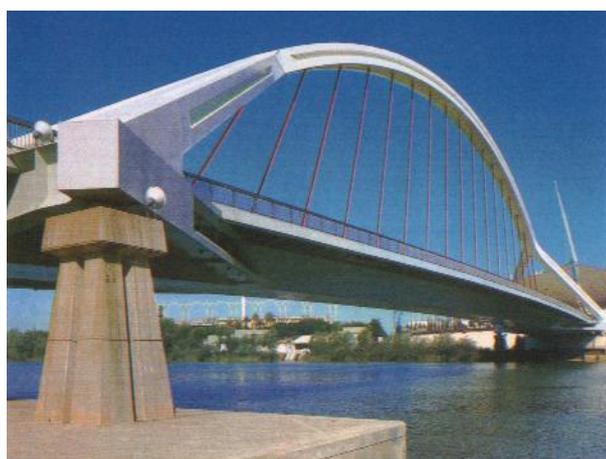


Figura 3.12 – Puente La Barqueta (ARCILA, 2002).



Figura 3.13 – Punte Lusitânia (ARCILA, 2002).

3.4.2 Pontes em Laje

As pontes em laje possuem a seção transversal sem vigamento, como mostrado na representação esquemática da figura 3.14, podendo apresentar um sistema estrutural simplesmente apoiado ou contínuo. As mesmas apresentam como vantagens a pequena altura de construção, a rapidez de construção e a boa rigidez à torção. Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados, confeccionadas em concreto armado ou protendido, em lajes maciças ou alveolares.

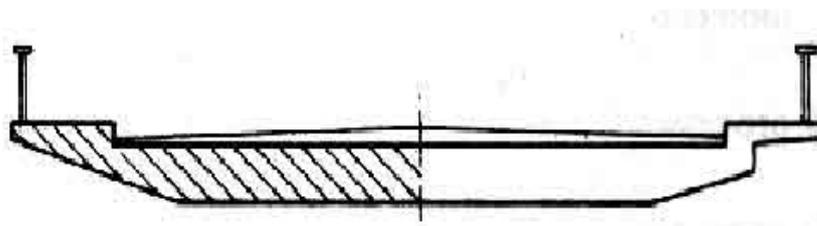


Figura 3.14 – Seção transversal típica de ponte em laje.

3.4.3 Pontes em Viga de Alma Cheia

Este sistema estrutural possui tabuleiro constituído de lajes e vigas. Como indicado na figura 3.15, podem ter o tabuleiro:

- a) formado por vigas principais (longarinas) e secundárias (transversinas), que suportam a laje superior;

- b) formado por longarinas, laje superior e laje inferior, recebendo o nome de viga caixão, um sistema com grande rigidez à torção.

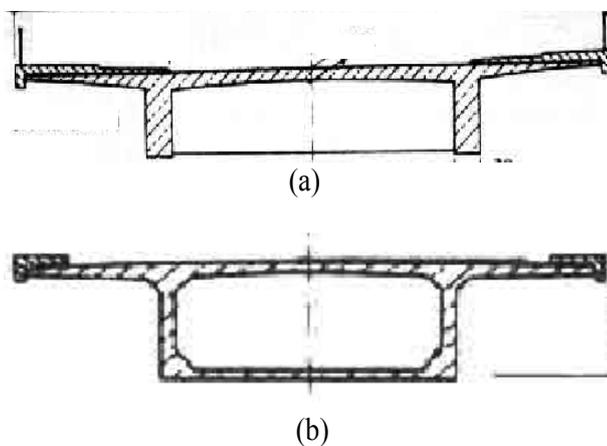


Figura 3.15 – Seções transversais de ponte com viga de alma cheia:

- a) seção sem laje inferior; b) seção viga caixão.

Para qualquer configuração, os elementos podem ser moldados no local ou serem pré-moldados. Esse tipo de sistema estrutural pode ser ilustrado pela Ponte Birs River, mostrada na figura 3.16.

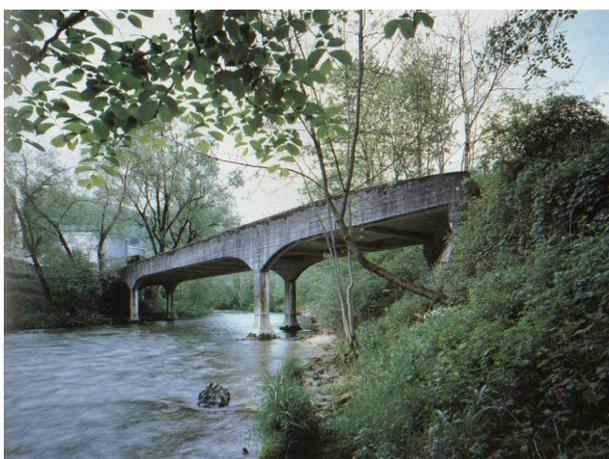


Figura 3.16 – Birs River Bridge (BILLINGTON, 1990).

3.4.4 Pontes em Viga Treliçada

São pontes onde o tabuleiro é formado por lajes suportadas por treliças, como indicado na figura 3.17. São comumente confeccionadas de aço ou madeira. São estruturas leves, que podem ser utilizadas tanto para sistemas simples ou para sistemas muito complexos. A pista de rolamento (laje) pode estar na parte superior ou inferior da treliça. .



Figura 3.17 - Esquema de ponte em viga treliçada.

Um exemplo desse tipo de sistema estrutural pode ser encontrado na “Brücke Suderelbe”, estrutura erigida sobre o rio Elba, em Hamburg, na Alemanha, com comprimento de 340,3 metros e vão de 125,6 metros, concluída em 1992. A mesma pode ser vista na figura 3.18.



Figura 3.18 – Brücke Suderelbe (ARCILA, 2002).

3.4.5 Pontes Suspensas ou Tipo Pênsil

Nas pontes suspensas o tabuleiro, contínuo, costuma ser sustentado por cabos metálicos ligados a dois cabos maiores que, por sua vez, ligam-se a torres de sustentação, como indicado na figura 3.19.

A suspensão das pontes pênséis modernas é realizada mediante cabos ou barras olhadas (cadeia). Cada um desses dois tipos de suspensão apresenta determinadas vantagens e inconvenientes.

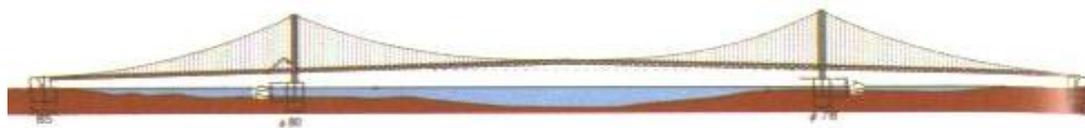


Figura 3.19 – Esquema de pontes suspensas.

No Brasil foi construída a maior ponte pênsil do mundo de barras olhadas, a Ponte Hercílio Luz, Florianópolis, que pode ser vista na figura 3.20, com vão central de 340m.

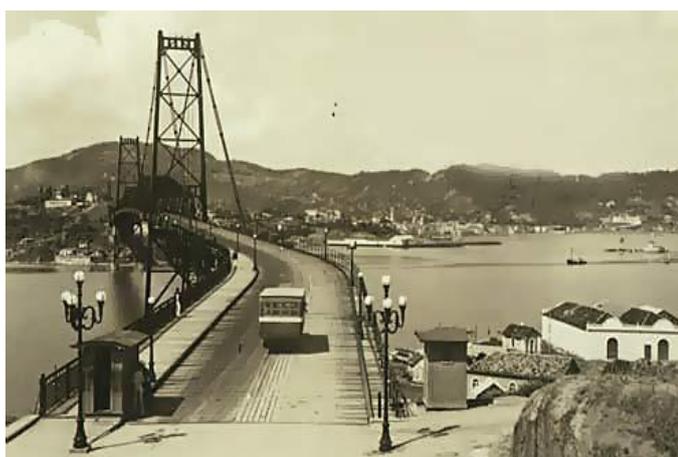


Figura 3.20 – Ponte Hercílio Luz, 1935 (fonte: site Instituto Histórico e Geográfico do Estado de Santa Catarina).

Existe um terceiro tipo de suspensão misto de cabo e barra, mas que tem sido bastante discutido (GRAVINA, 1948). Atualmente os construtores têm dado preferência ao aparelho de suspensão de cabos metálicos, com o qual foram realizadas as maiores pontes pênséis do mundo.

No estudo da suspensão, quer isolada, quer associada a uma viga, é utilizada a hipótese fundamental de perfeita flexibilidade do aparelho suspensor. Nesse caso a configuração de equilíbrio da suspensão depende do sistema de forças aplicadas, e os deslocamentos podem ser grandes, mesmo sob ação de cargas pequenas. Estas pontes, quando sujeitas a pressões de

vento elevadas, apresentam facilmente movimentos sensíveis do tabuleiro, e por isso devem ser projetados com grande rigidez à torção.

A “Tsing Ma Bridge”, figura 3.21, ilustra o sistema estrutural tipo pênsil. Ela faz parte de uma importante conexão existente entre a ilha de Lantau e Hong Kong, inaugurada em 1997, com uma extensão de 2160 metros, e vão de 1377 metros, uma das maiores do mundo de tipologia de ponte suspensa. Com plataforma metálica em dois níveis, esta estrutura é completamente pré-fabricada, com torres de 206 metros de altura em concreto armado.



Figura 3.21 – Tsing Ma Bridge (ARCILA, 2002).

3.4.6 Pontes Estaiadas

Este sistema estrutural consiste de um viga de grande rigidez à torção que se apóia nos encontros e nas torres de ancoragem e de um sistema de cabos retos esticados, denominados estais, ligando os acessos de viga às torres de ancoragem, e estas ao vão central, como mostrado na figura 3.22.

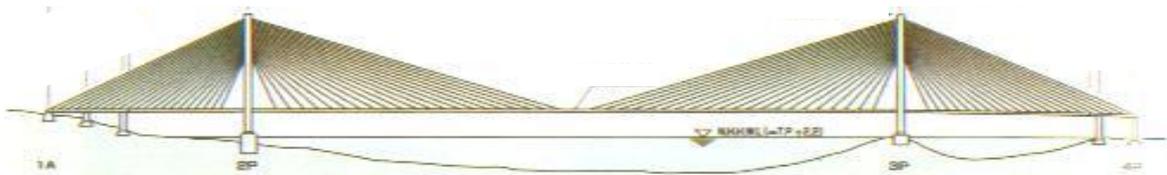


Figura 3.22 – Esquema representativo de pontes estaiadas.

A figura 3.23 ilustra uma ponte estaiada, a “Stonecutters Bridge”, localizada em Hong Kong, mostrada durante o período de construção, que se estendeu de 1999 a 2007. A mesma apresenta comprimento total de 1614m e vão de 1018m, com torres de concreto e aço de 290m de altura.



Figura 3.23 – Stonecutters Bridge (ARCILA, 2002).

Atualmente a ponte mais alta deste tipo no mundo é o Viaduto de Milau, projeto do arquiteto britânico Norman Foster, mostrado na figura 3.24, que se localiza no sudeste da França. Sua estrutura tem 343m de altura, superando a altura da Torre Eiffel, e 2460m de comprimento.



Figura 3.24 – Viaduto de Milau (<http://linhadirecta.blogspot.com>).

3.5 PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES CONSIDERADAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS RODOVIÁRIAS

As estruturas de pontes e viadutos rodoviários, como as de outras estruturas do gênero, devem ser dimensionadas para suportar as ações decorrentes da utilização esperada, sem romper ou deformar excessivamente, de forma a garantir que a estrutura se mantenha útil para os fins a que foi projetada, pelo tempo esperado.

A determinação das ações atuantes sobre as pontes, que devem ser consideradas em seu dimensionamento, se constitui em um problema difícil de ser equalizado, pois este exercício deveria levar em conta os parâmetros característicos de cada ponte e considerar certas variáveis aleatórias ou de difícil definição, tais como as condições ambientais, a densidade e a composição do tráfego e a vida útil prevista para a ponte.

Apesar das dificuldades, os códigos de dimensionamento necessitam fixar as ações que devem ser usadas no cálculo e fazem isto de forma genérica, apostando no conservadorismo. Uma filosofia semi-probabilística é muitas vezes adotada para que se possa considerar a maior parte da incerteza.

As ações comumente consideradas como atuantes sobre a estruturas de uma OAE de concreto podem ser classificadas em:

- a) cargas permanentes: peso próprio dos elementos da estrutura e de outros materiais colocados sobre a ponte, também designadas de sobrecarga fixa, que inclui a pavimentação, os guarda-corpos, os guarda-rodas, as canalizações, os trilhos, e quaisquer outros elementos fixados à estrutura;
- b) sobrecargas de uso: representa a ação dos veículos e é normalmente simbolizada pelo uso de um trem de carga fictício. Deve considerar os efeitos do peso e do tráfego dos veículos, tais como forças de frenagem;
- c) sobrecargas climáticas: representação a ação de elementos climáticos, tais como o vento e a neve;
- d) sobrecargas de água;
- e) sobrecarga do terreno;

- f) sobrecargas acidentais: choque de carros no tabuleiro ou choque das embarcações;
- g) ações indiretas: protensão, fluência, retração do concreto, variações térmicas e processos construtivos;
- h) outras ações: movimento dos apoios e vibrações.

Estas ações podem ser consideradas em combinações distintas, levando em conta a possibilidade de ocorrerem simultaneamente ou não, e de serem favoráveis ou desfavoráveis. A definição dos parâmetros a serem considerados para cada caso deveria ser efetuada a partir de critérios estatísticos. Porém, a complexidade associada à modelagem da variabilidade das cargas e a indisponibilidade de medidas experimentais em grande número, faz com que os códigos fixem valores para as sobrecargas de forma arbitrária, muitas vezes sem um fundamento teórico-experimental de peso.

As cargas que devem ser consideradas no projeto de OAEs são fixadas pelos códigos de cada país. No Brasil a normatização dos projetos de pontes de concreto segue certos parâmetros básicos, sendo os critérios de projeto atualizados em função da evolução das cargas e demandas dos usuários. Até agora, duas normas regulamentaram a maioria dos projetos de pontes e viadutos:

- NB2 - publicada originalmente em 1950 e revisada em 1961, esta norma fixava os valores de cargas de acordo com a NB6/1960 (cargas móveis para pontes rodoviárias) e a NB7/1943 (cargas móveis para pontes ferroviárias);
- NBR 7187 - publicada originalmente em 1987 e revisada em 2003, atualmente se encontra em vigor, com a denominação *Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido – Procedimentos*. Neste trabalho será referida como NBR 7187/03.

As prescrições da norma brasileira vigente, quanto aos carregamentos a serem considerados em projetos de pontes, estão detalhadas no capítulo quatro.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO ESTOQUE DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS

Neste item são apresentados alguns dados sumários sobre o estoque de pontes brasileiras em vias rodoviárias federais, com o objetivo de fornecer um breve panorama da quantidade de pontes e da sua situação, em termos de tipo, idade e extensão.

Também são apresentadas descrições das principais tipologias e considerações sobre os modelos estruturais e classes, com ênfase nas regiões onde se localizarem as estruturas que serão empregadas no estudo de caso.

3.6.1 Identificação do Estoque de OEAs nas Rodovias Federais Brasileiras

Conforme Mendes (2009), as rodovias federais brasileiras, pavimentadas ou não, com extensão total de cerca de 73.000 km, possuem em torno de 5619 pontes construídas, perfazendo um total de 3,98 milhões de metros quadrados de área de tabuleiro. A partir de dados colhidos em diversos órgãos, o mesmo traçou um perfil do estoque de OEAs existentes nas rodovias federais brasileiras, resultando no quadro apresentado a seguir:

- a) 70% do número de pontes, correspondentes a 64% da área de tabuleiro construída, possui idade superior a 30 anos;
- b) 63% das pontes têm extensão inferior a 50 m;
- c) 79% das pontes possuem largura inferior a 12,0 m;
- d) 94% das pontes possuem sistema estrutural em viga de concreto armado ou protendido;
- e) 90% das pontes foram projetadas com trem tipo de 240 kN ou de 360 kN;
- f) 50% das pontes possuem apenas um vão ou um vão com dois balanços;
- g) 93% das pontes possuem vão máximo inferior a 40,0 m.

3.6.2 Identificação da Tipologia das OEAs nas Rodovias Federais Brasileiras

Nas estradas mais antigas, tanto devido ao alto custo relativo das OAEs como em decorrência de técnicas mais limitadas de construção e de menores exigências de fluxo de tráfego e

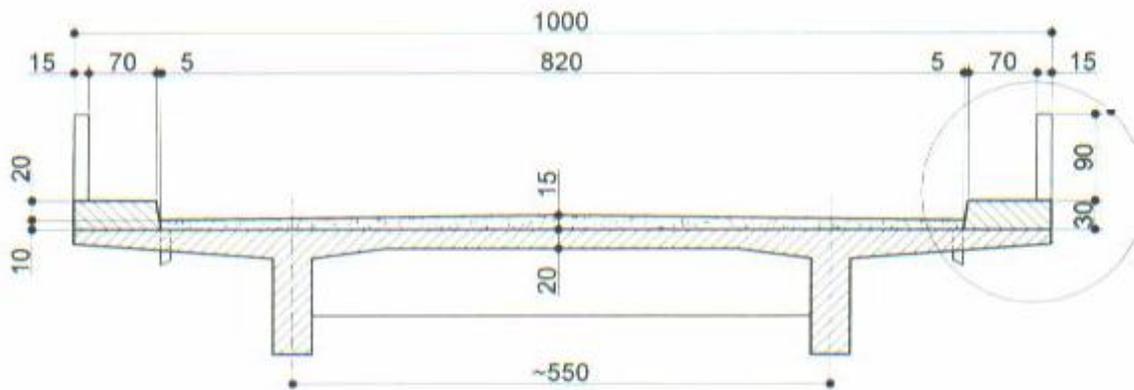


Figura 3.26 – Seção transversal típica ente 1960 e 1975 (DNER, 2004).

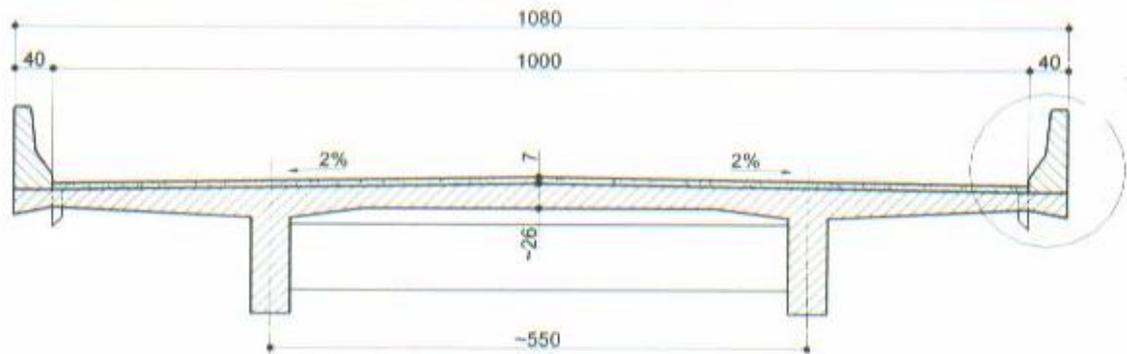


Figura 3.27 – Seção transversal típica ente 1975 e 1985 (DNER, 2004).

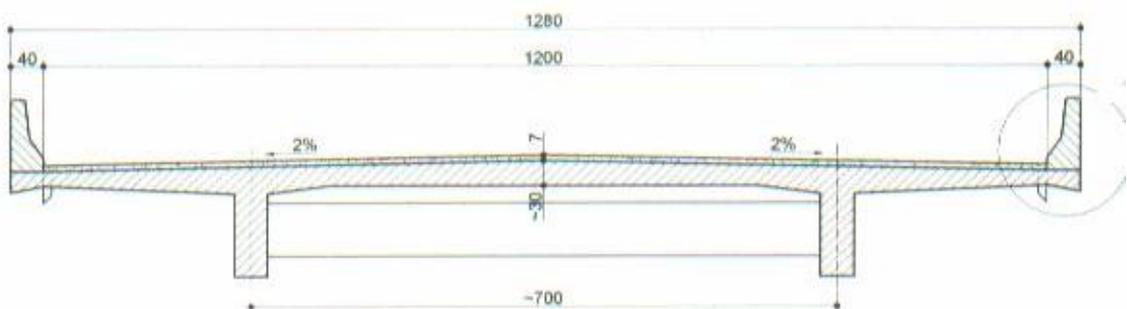


Figura 3.28 – Seção transversal típica a partir de 1985 (DNER, 2004).

Como se pode observar analisando a evolução da tipologia apresentada, o modelo estrutural mais adotado é o de ponte de viga de alma cheia, com tabuleiro formado por longarinas, transversinas e laje superior.

Quanto à classe, se observa um aumento no padrão de carregamento considerado na sequência cronológica, o que será detalhado no capítulo quatro.

4. REVISÃO DA AÇÃO DE CARREGAMENTOS DINÂMICOS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

As diversas ações sobre estruturas podem ser classificadas como:

- a) Permanentes – tendem a ser constantes apresentando apenas pequenas variações significativas ao longo da vida útil da estrutura;
- b) Variáveis – apresentam variações significativas ao longo da vida útil da estrutura;
- c) Excepcionais – ocorrem raramente e com duração curta ao longo da vida útil da estrutura.

As cargas permanentes sobre estruturas de pontes e viadutos são as devido ao peso próprio da estrutura, equipamentos de controle de tráfego e revestimentos.

As cargas variáveis são aquelas dependentes do uso. Como as OAEs são feitas com a finalidade primária de permitir a transposição de obstáculos (rios, vales, estradas), os pesos dos veículos suportados pela estrutura se constituem na carga útil.

Para determinação dos esforços atuantes devido à ação da carga útil, devem ser considerados os efeitos de impacto vertical, que são acréscimos do peso devido ao movimento das cargas e irregularidades da pista; e, também, os esforços horizontais longitudinais devidos à frenagem e aceleração.

Cargas provocadas por elementos naturais, em contato com a estrutura, também devem ser consideradas, observando-se as situações localizadas devido à ação de empuxos do vento, água ou solo.

Um carregamento de projeto é definido pelo conjunto de ações com probabilidade de atuação simultânea, que devem ser combinadas de maneira a representar a condição mais desfavorável para a estrutura.

Os diferentes códigos de projeto de pontes e viadutos prescrevem carregamentos padrões para representar a ação das cargas atuantes. As normas Brasileira, Européia e Americana propõem a consideração de esquemas distintos de carregamento padrão. Porém, uma análise dos momentos fletores e forças cortantes no estado limite último para os carregamentos propostos pela Norma Brasileira mostra que os mesmos são genericamente compatíveis com os resultantes das outras duas normas (LUCHI, 2006).

Neste capítulo são apresentados os procedimentos prescritos na norma brasileira, bem como na norma européia e americana.

1.8 CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA BRASILEIRA

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que fixa especificamente as cargas móveis que devem ser consideradas no cálculo de pontes rodoviárias e passarelas de pedestres é a NBR 7188, aprovada em 1984.

Cabe destacar que, como explica Pinho (2007), as prescrições de cargas móveis constantes nas normas brasileiras não coincidem com as cargas reais que circulam nas rodovias. O trem de carga prescrito na norma utiliza veículos de dimensões especiais, enquanto as cargas reais são caminhões e carretas com dimensões e pesos fixados por uma regulamentação específica no Código de Trânsito Brasileiro, a Lei da Balança e as Resoluções do CONTRAN.

A NBR 7188/84 considera três classes de carregamentos padrões:

- a) classe 45 – na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 450 kN de peso total, com 75 kN por roda, tendo uma largura de roda de 50 cm e comprimento de contato de 20 cm;
- b) classe 30 – veículo-tipo de 300 kN de peso total, com 50 kN por roda, tendo uma largura de roda de 40 cm e comprimento de contato de 20 cm;
- c) classe 12 – veículo-tipo de 120 kN de peso total, com 20 kN para rodas dianteiras e 40 kN para rodas traseiras, tendo uma largura de roda dianteira de 20cm e traseira de 30cm e comprimento de contato de 20 cm.

Atualmente, as obras de arte especiais devem ser calculadas para cargas Classe 45, salvo determinação expressa do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1996).

4.1.1 Trens Tipo

Os trens-tipo compõem-se de um veículo principal, ocupando área supostamente retangular, com 3 metros de largura e 6 metros de comprimento, como se vê na figura 4.1. O mesmo é acompanhado de cargas uniformemente distribuídas, que representam o tráfego circundante, cujos valores são apresentados resumidamente na tabela 4.1. A natureza e geometria dos veículos principais de cálculo acham-se representadas nas figuras 4.2 e 4.3.

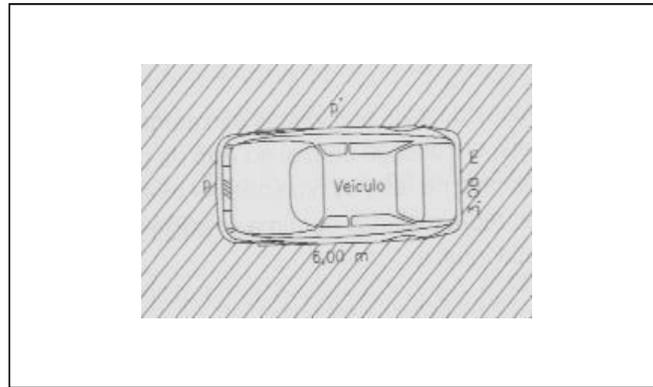


Figura 4.1 –Veículo trem-tipo (NBR 7188/84).

Tabela 4.1 – Cargas dos Veículos Tipo de acordo com NBR 7188/84.

Classe da Ponte	Peso Total do Veículo (kN)	Carga uniforme nas pistas – p (kN/m ²)	Carga uniforme nas pistas – p' (kN/m ²)
45	450	5	3
30	300	5	3
12	120	4	3

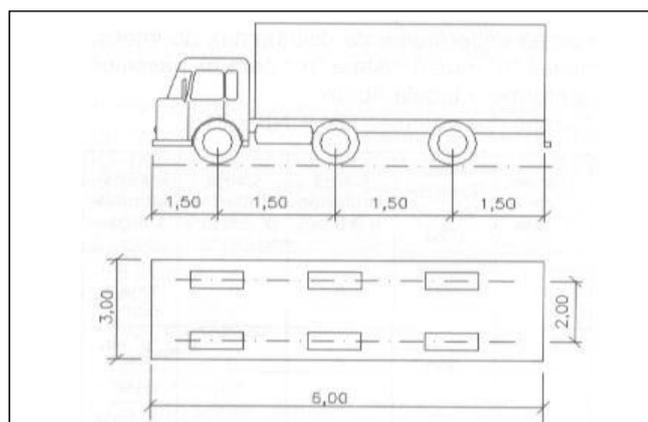


Figura 4.2 – Veículo de cálculo classe 30 e classe 45 (NBR 7188/84).

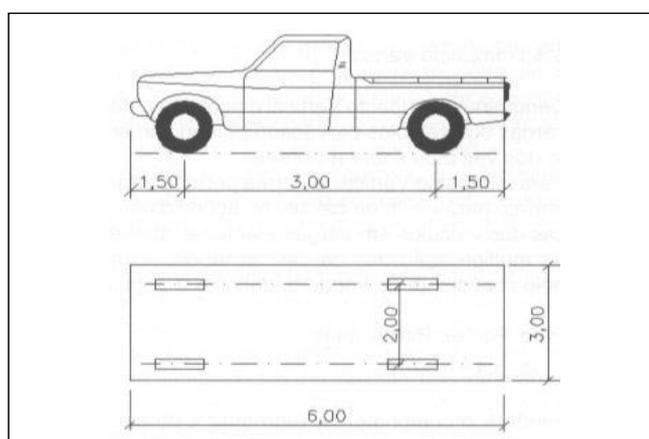


Figura 4.3 – Veículo de cálculo classe 12 (NBR 7188/84).

Para pontes ferroviárias, a norma *Cargas Móveis para Projeto Estrutural de Obras Ferroviárias* - NBR 7189 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, aprovada em 1985, estabelece um trem tipo padrão constituído de uma carga concentrada representando a locomotiva e de uma carga distribuída representando os demais vagões. Os valores das cargas variam de acordo com as classes, mas o espaçamento é o mesmo para todas as categorias.

A figura 4.4 mostra o esquema do trem-tipo padrão. Os valores das cargas, conforme a classe, são mostrados na tabela 4.2.

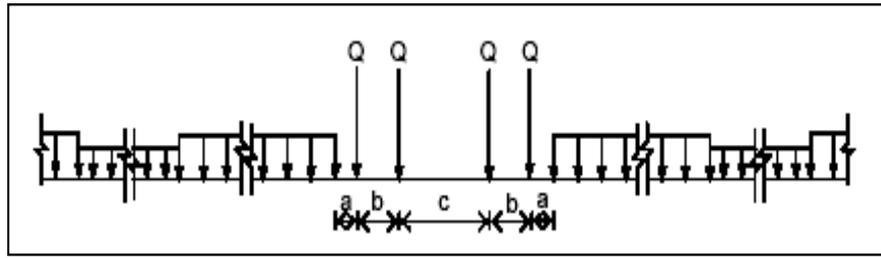


Figura 4.4 – Esquema cargas ferroviárias (NBR 7189/85).

Tabela 4.2 – Valores Numéricos das Cargas Ferroviárias de cálculo da NBR 7189/85.

TB	Q (kN)	q (kN/m)	q' (kN/m)	A (m)	B (m)	c (m)
360	360	120	20	1,00	2,00	2,00
270	270	90	15	1,00	2,00	2,00
240	240	80	15	1,00	2,00	2,00
170	170	25	15	1,00	2,50	5,00

4.1.2 Impacto Vertical

O impacto vertical é o acréscimo das cargas dos veículos provocado pelo movimento das mesmas cargas sobre a ponte.

Nas pontes rodoviárias é causado pelo efeito do deslocamento das cargas e pela irregularidade dos pavimentos. Nas pontes ferroviárias é causado pelo efeito de deslocamento das cargas, irregularidade nos trilhos e nas rodas, inclinação lateral variável da locomotiva e forças de inércia das rodas motoras.

Para determinar o valor estimado do impacto vertical a norma permite transformar as ações dinâmicas dos veículos em cargas estáticas, através da multiplicação das cargas das tabelas 4.1 e 4.2 pelo coeficiente de impacto (φ).

A NBR 7187/03 adota as seguintes expressões para o coeficiente de impacto (φ):

a) ponte rodoviária:

$$\varphi = 1,4 - 0,7\%.L \geq 1,0 \quad (\text{Equação 4.1})$$

b) ponte ferroviária:

$$\varphi = 0,1\%.(1600 - 60\sqrt{L} + 2,25L) \geq 1,2 \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

Para vigas isostáticas: L = vão teórico;

Para vigas contínuas, com ou sem articulações: L= vão teórico de cada tramo carregado;

Para vigas em balanço: L= 2 vezes o comprimento do balanço.

4.1.3 Efeitos de Frenagem e Aceleração

As forças longitudinais de frenagem e aceleração são calculadas sem efeito de impacto e aplicadas no nível da superfície de rolamento da ponte.

Em pontes rodoviárias essa força longitudinal deve ser tomada como sendo igual ao maior valor entre 5% do peso do carregamento do estrado mais as cargas móveis distribuídas, excluídos os passeios; e 30% do peso do veículo tipo.

4.1.4 Força Centrífuga

A força centrífuga é o efeito dinâmico associado com a ação de cargas em uma ponte com curvatura horizontal.

Para pontes rodoviárias em curva horizontal, a NBR 7187/03 adota uma força centrífuga normal ao eixo da obra, considerada atuante na superfície de rolamento, com os seguintes valores numéricos:

$$r \leq 300m \quad F_c = 7\%.\varphi.Q \quad (\text{Equação 4.3})$$

$$r > 300m \quad F_c = \frac{2100}{r}\%.\varphi.Q \quad (\text{Equação 4.4})$$

Para pontes ferroviárias em curva horizontal a norma adota uma força centrífuga normal ao eixo da obra, considerada atuando no centro de gravidade do trem, com os seguintes valores numéricos:

$$\textit{bitola } 1,60m \quad r \leq 1000m \quad F_c = 12\%.\varphi.Q \quad (\text{Equação 4.5})$$

$$\textit{bitola } 1,60m \quad r > 1000m \quad F_c = \frac{12000}{r} \% . \varphi . Q \quad (\text{Equação 4.6})$$

$$\textit{bitola } 1,00m \quad r \leq 600m \quad F_c = 8 \% . \varphi . Q \quad (\text{Equação 4.7})$$

$$\textit{bitola } 1,00m \quad r > 600m \quad F_c = \frac{4800}{r} \% . \varphi . Q \quad (\text{Equação 4.8})$$

Onde: r = raio da curva;
 F_c = força centrífuga;
 Q = peso do veículo padrão de cálculo.

4.1.5 Pressão do Vento

O vento incide nos elementos constitutivos da ponte e na carga móvel. A pressão lateral gerada depende da forma da superfície e da sua posição quanto à direção do vento, de efeitos de rajadas, da situação topográfica do obra, e outros parâmetros.

De forma genérica, as pressões do vento a adotar nos projetos de obras de arte especiais devem atender ao disposto na norma brasileira NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações (ABNT, 1988). Em estruturas maiores e mais complexas, porém, é comum efetuar estudos em túnel de vento com modelos reduzidos de forma a entender melhor as interações entre o vento e a estrutura.

4.1.6 Outros Efeitos

Existem outros efeitos importantes que deverão ser considerados em diferentes casos, de acordo com as condições específicas da obra. Entre eles podem ser citados: efeitos térmicos, atrito nos apoios, empuxos, movimentação das fundações, deformação lenta, entre outros.

4.2 CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA EUROPÉIA

A norma européia que define as cargas de tráfego para projeto de pontes é o Eurocode 1 – Parte 2 – *Traffic Loads on Bridges* (ECS, 2003). Nela estão definidos quatro modelos de carga para pontes rodoviárias, denominados LM1 a LM4.

Os modelos LM1 e LM2 são os carregamentos principais, sendo que o LM2 se destina a verificações locais, enquanto os modelos LM3 e LM4 são usados para alguns projetos especiais. O LM4 representa o acúmulo de veículos no tabuleiro.

O sistema adotado no Eurocode 1 considera um trecho de tráfego de largura w , dividida em n faixas hipotéticas, as quais devem ser todas carregadas.

Tabela 4.3 – Número e largura de faixas de tráfego (Eurocode 1, 2003).

Largura Trafegável (w)	Número de faixas (n)	Largura das faixas	Largura da área remanescente
$w < 5,4$ m	$n = 1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4$ m $\leq w < 6$ m	$n = 2$	$w / 2$	0
$w > 6$ m	$n = \text{Int}(w/3)$	3 m	$w - 3$ m x n

A figura 4.5. mostra a aplicação do LM1 com as cargas indicadas para este modelo.

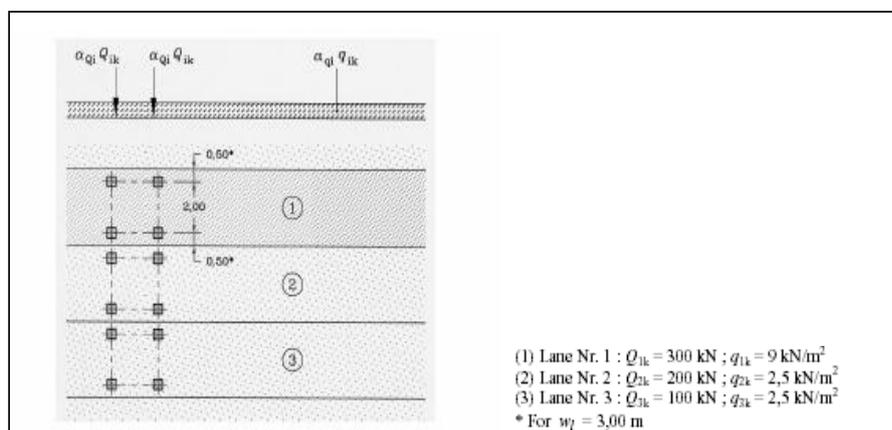


Figura 4.5 – Aplicação do Modelo LM1 (Eurocode 1 – Parte 2 , 2003).

A área de distribuição da carga $\alpha_{Qi} Q_{ik}$ é considerada como tendo 40cm x40cm, e α_{Qi} é um fator de ajuste, que corresponde ao uso de diferentes classes de veículos tipo na norma brasileira. O sistema é colocado na posição mais desfavorável ao esforço analisado.

O modelo LM2 consiste de apenas um eixo com Q_{ak} igual a 400 kN, destinado a verificações locais, apresentado na figura 4.6.

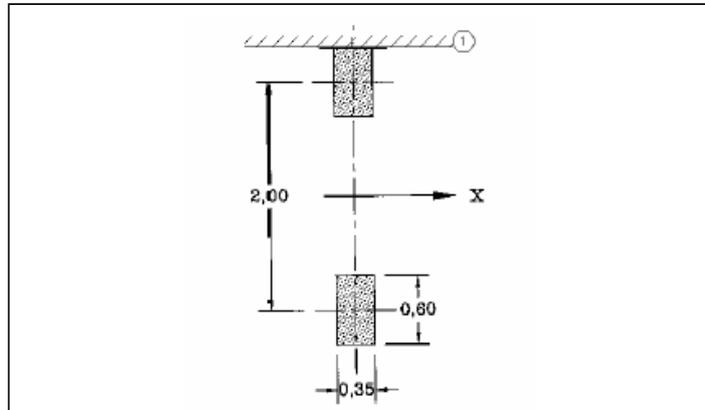


Figura 4.6 – Aplicação do Modelo ML2 (Eurocode 1- Parte 2, 2003)

O modelo ML3 é a consideração de veículos especiais que podem trafegar em rodovias com cargas excepcionais, quando isso for relevante.

Por último, o modelo ML4 é relevante para representação da carga de multidão. O mesmo considera uma carga uniformemente distribuída de 5 kNm^2 e deve ser usado para verificações em partes relevantes ao longo do comprimento da ponte.

A norma europeia prescreve a consideração da dispersão dos esforços concentrados nos elementos estruturais com um ângulo de 45 graus, como mostrado na figura 4.7.

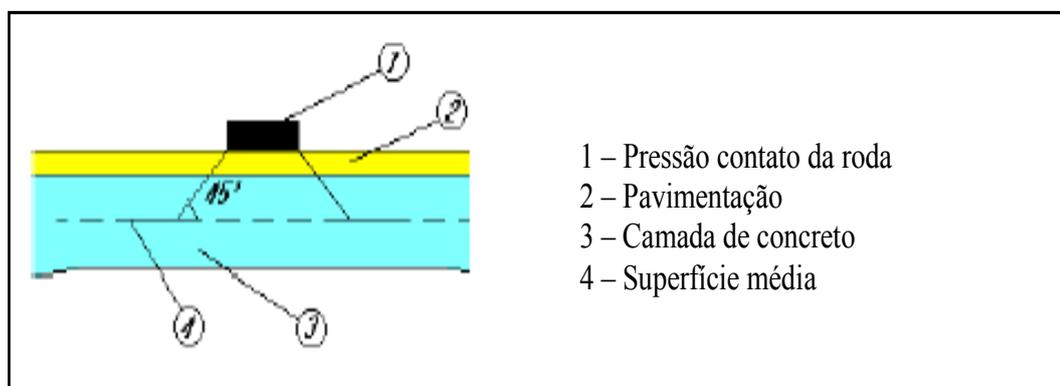


Figura 4.7 – Dispersão das cargas concentradas (Eurocode 1 – Parte 2 , 2003).

A mesma recomenda, ainda, a verificação dos efeitos de frenagem e aceleração e, também, a verificação da eventual existência de força centrífuga atuante, quando houver curvatura horizontal da ponte.

4.3 CARGA MÓVEL DE ACORDO COM A NORMA AMERICANA

Duas especificações propostas pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) definem as cargas móveis para projeto de pontes rodoviárias nos Estados Unidos:

- a STD (*Standard Specifications for Highway Bridges*) de 2002, e
- a LRFD (*Load and Resistance Factor Design Bridge Design Specifications*) de 2003.

Estas especificações, assim como a norma europeia, dividem o trecho de tráfego em faixas, as quais devem ter pelo menos 3,66 m de largura.

A especificação AASHTO STD (2002) define, como seu trem de carga, uma superposição de cargas concentradas com carga uniformemente distribuída. Desta forma prevê, para cada faixa, a ação de uma carga linearmente distribuída ou de uma carga de tráfego combinada com uma carga concentrada simples ou duas cargas concentradas, no caso de vigas contínuas, posicionadas de maneira a produzir máxima solicitação.

Tanto a carga concentrada como as distribuídas devem ser consideradas como atuando em uma largura de 3,05m, centradas em uma linha normal ao eixo da faixa.

É admitido um fator de redução no valor das cargas móveis para a consideração da baixa probabilidade de ocorrência simultânea, se o número de faixas carregadas for igual a três (10%) ou superior (25%).

Existem quatro classes padrão de cargas móveis rodoviárias: H20, H15, HS20 e HS15.

As Classes H20 e H15 adotam veículo padrão com um eixo traseiro e um eixo dianteiro, espaçados entre si de 4,27 m.

As Classes HS20 e HS15 consideram veículo padrão de três eixos, com distância variável entre os dois eixos traseiros.

A figura 4.8 apresenta o veículo padrão de cada classe.

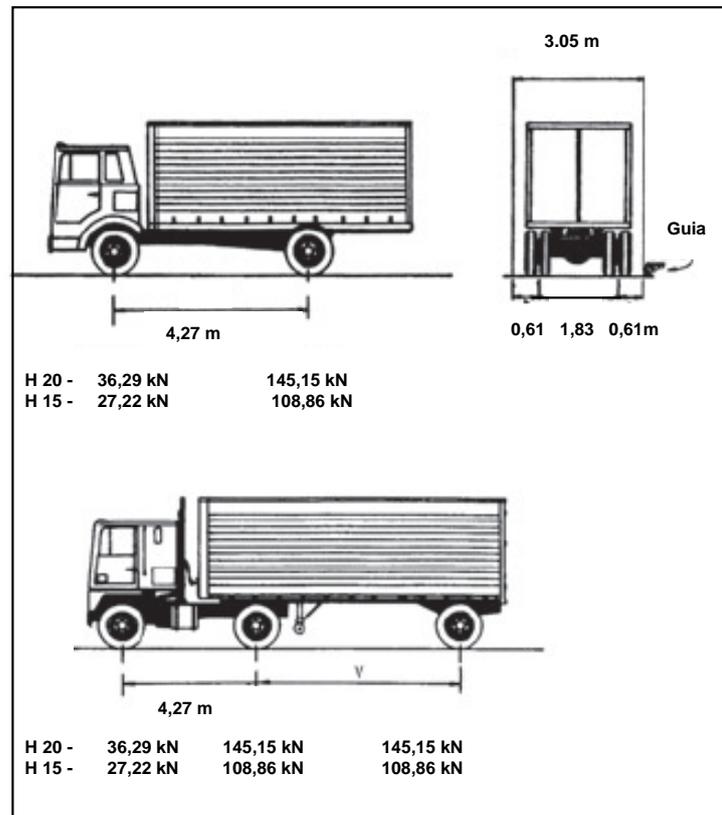


Figura 4.8 – Veículos padronizados usados na norma americana (LUCHI, 2006).

A AASHTO STD (2002) considera os efeitos dinâmicos provenientes das cargas móveis, através de um coeficiente de impacto igual a $1+I$, sendo:

$$I = \frac{15,24}{\ell + 38,10} \leq 0,3 \quad (\text{Equação 4.9})$$

Onde: ℓ = comprimento em metros do vão carregado, para momentos provenientes dos caminhões; comprimento do trecho carregado do vão até o apoio mais distante, para for cortante proveniente de caminhões.

A AASHTO LRFD (2003) especifica o valor do coeficiente de impacto como sendo igual a $1+IM$, sendo:

$IM = 75\%$, para juntas de lajes em todos os estados limites;

$IM = 15\%$, para os outros elementos no estado limite de fadiga

$IM + 33\%$, para os demais estados limites.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS ATUANTES NO SISTEMA VIÁRIO DO BRASIL

Devido à grande variedade de configurações diferentes de veículos que trafegam em estradas brasileiras, utilizam-se nomenclaturas específicas para identificar de maneira precisa cada configuração, sendo definido como *simples* ou *monolítico* o veículo formado de somente uma parte, e de *composto* quando formado de duas ou mais partes.

A denominação, para ser inequívoca, deve contemplar, além do número de partes que constituem o veículo, a configuração dos eixos e o tipo de conexão entre as partes do veículo, que pode ser do tipo reboque ou semi-reboque (ROSSIGALI, 2006).

De acordo com os órgãos rodoviários, a designação dos veículos simples é feita com a indicação do número de eixos seguido de uma letra, que será:

- a) letra C , para veículo simples com ligações tipo reboque;
- b) letra S, para veículos simples com ligações semi-reboque.

Para o caso de caminhões, esta sequência é seguida pelo número de eixos da carreta. Já quando se tratar de ônibus há a incorporação da letra O inicial ao código do veículo.

Na nomenclatura utilizada pelo DNIT (2008), aparecem informações adicionais, como mostrado na tabela 4.4. As ligações tipo semi-reboque podem ser representadas também pela letra I, quando a unidade posterior apresentar eixos isolados, e continuar com a letra S, quando a unidade posterior apresentar eixos não isolados.

Tabela 4.4 – Nomenclatura de veículos (DNIT, 2008).

Tipo	Denominação do Veículo
Leves	Automóvel
Utilitários	Utilitário
Ônibus	O2C, O3C, O4CD
Caminhões	2C, 3C, 4C, 4DC, 2C2, 2C3, 3C2, e 3C3
Semi -Reboques	2S1,2S2,2I2,2S3,2II2,2I3,3SI, S2,3I2,3S3,3II2,3I3, 7rod, 8rod, 9rod
Outros	Outros

O conjunto de veículos 2C, 3C, O2C, 2S2 e 2S3 pode ser considerado como representativo da grande maioria dos veículos em circulação nas estradas brasileiras (ROSSIGALI, 2006).

As configurações dos veículos que trafegam nas estradas brasileiras são regulamentados pela Lei da Balança, conjunto de artigos do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e de Resoluções do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

Denomina-se de Peso Bruto Total (PBT) de veículos monolíticos à soma das cargas máximas permitidas em todos os seus componentes. Já para veículos compostos usa-se a denominação de Peso Bruto Total Combinado (PBTC).

O COTRAN regulamenta os pesos e dimensões permitidas para veículos, podendo ser citadas como pertinentes as seguintes Resoluções:

- Resolução no. 12, de 6 de fevereiro de 1998: estabelece os limites de pesos e dimensões para a circulação de veículos;
- Resolução no. 68, de 23 de setembro de 1998: Define requisitos de segurança necessária à circulação de Combinação de Veículos de Carga – CVC;
- Resolução no. 102, de 20 de setembro de 1999: dispõe sobre a tolerância máxima do peso bruto de veículos, que é de 5%;
- Resolução no. 104, de 21 de dezembro de 1999: Adota os critérios de PBT e PBTC para aferição do peso para aplicação de multa, isentando de multa os excessos de peso verificados nos eixos isolados ou conjunto de eixos. Autoriza o controle através da nota fiscal.
- Resolução no. 114, de 12 de maio de 2000: Admite tolerância de 5% sobre o peso declarado na nota fiscal;
- Resolução no. 164, de 10 de setembro de 2004: Dispensa de autorização especial de tráfego para CVC com PTBC entre 450 e 570 kN;
- Resolução no. 184, de 21 de outubro de 2005: Altera a resolução no. 12/98, sobre Autorização Específica, e resolução no. 68/98, sobre segurança de CVC, e revoga a resolução no, 76/98.

As dimensões máximas autorizadas são:

- a) largura máxima; 2,60 m;
- b) altura máxima: 4,40 m;
- c) comprimento total: 14m para veículos simples; 18,15 m para veículos articulados, e 19,80 m para veículos com reboque.

Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são os seguintes:

- a) peso bruto total por unidade ou combinação de veículos: 450 kN;
- b) peso bruto por eixo simples isolado, equipado com rolamento duplo: 100 kN;
- c) peso bruto por eixo simples isolado, equipado com rolamento simples: 60 kN;
- d) peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem (rodas duplas), sendo a distância entre os dois planos verticais, que contém os centros das rodas, maior que 1,20 m e menor que 2,40 m: 170 kN;
- e) peso bruto por conjunto de dois eixos não em tandem, com a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, maior que 1,20 m e menor que 2,40 m: 150 kN;
- f) peso bruto por conjunto de três eixos em tandem, aplicável somente a semi-reboque, com a distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas maior que 1,20 m e menor que 2,40 m: 255 kN;
- g) peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, com a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas menor que 1,20 m: 90 kN; e se for maior que 1,20 m: 135 kN.

Nenhum veículo ou combinação de veículo poderá transitar com PBT ou PBTC superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração da unidade tratora.

Na tabela 4.5 estão apresentados os limites de peso para cada classe de veículo, de acordo com o DNIT (2008):

Tabela 4.5 - Limite de peso por classe de veículo (DNIT, 2008).

Classe	Número de eixos de cada tipo					Limite de Peso[kN]
	SRS	SRD	DE	TD	TT	
O2C	1	1	0	0	0	160
O3C	1	0	1	0	0	195
O4CD	2	0	1	0	0	255
2C	1	1	0	0	0	160
3C	1	0	0	1	0	230
4C	1	0	0	0	1	315
4CD	2	0	0	1	0	290
2C2	1	3	0	0	0	360
2C3	1	2	0	1	0	430
3C2	1	2	0	1	0	430
3C3	1	1	0	2	0	500
2S1	1	3	0	0	0	260
2S2	1	1	0	1	0	330
2I2	1	3	0	0	0	360
2S3	1	1	0	0	1	415
2I12	1	2	0	1	0	430
2I3**	1	4	0	0	0	460
3S1	1	1	0	1	0	330
3S2	1	0	0	2	0	400
3I2	1	2	0	1	0	430
3S3**	1	0	0	1	1	485
3I12**	1	1	0	2	0	500
3I3**	1	3	0	1	0	530
7 rod	-	-	-	-	-	-
8 rod	-	-	-	-	-	-
9 rod	-	-	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-	-

Tendo as siglas apresentadas na tabela 4.5, os seguintes significados:

SRS – Simples Rodado Simples;

SRD – Simples Rodado Duplo;

DE – Duplo Especial;

TD – Tanden Duplo;

TT – Tanden Triplo.

Cabe destacar que, segundo Luchi (2006), apesar de todas as caracterizações e normalizações, os caminhões em tráfego não são padronizados. De acordo com o mesmo, a classificação dos órgãos rodoviários não descreve completamente os tipos de veículos existentes. Dentro de cada categoria é possível encontrar variabilidade nas distâncias entre eixos, devido às diferentes utilizações dos veículos. Este panorama gera uma situação de incerteza acerca dos esforços efetivamente atuantes no estoque de OAEs.

4.5 COMPARAÇÕES ENTRE CARREGAMENTO REAL E TRENS TIPO

São poucos os estudos sobre cargas efetivas provenientes de veículos atuantes nas obras de arte especiais brasileiras. Existem alguns poucos e recentes levantamentos de órgãos públicos e estudos de pesquisadores no Brasil (LUCHI, 2006, ROSSIGALI, 2006; ARAÚJO, 2007), que começam a se preocupar com a necessidade de modernizar e compatibilizar os valores e configurações das normas de cargas móveis para pontes.

Luchi (2006) conclui, considerando os resultados de análises de rodovias de pista dupla com cenários de tráfego mais realistas, que o trem tipo atual de 45 tf é adequado às cargas ocorridas no período estudado. Os cenários analisados pelo autor consideram 2.000 congestionamentos por ano e admitem uma probabilidade de tráfego de caminhões na segunda faixa de 80%. Com estas condições de tráfego a relação *esforço característico/esforço máximo devido ao trem tipo 45* se torna unitária para a situação de 5 m de espaçamento entre veículos e vãos maiores que 30 m.

Segundo os estudos de Luchi (2006), o estudo da força cortante também é importante na verificação de cargas móveis, uma vez que, para alguns casos, a relação *esforço característico/esforço máximo devido ao trem tipo 45* foi maior no caso do esforço cortante na seção de apoio do que de momento fletor no meio do vão.

Rossigali (2006) apresenta comparações de esforços nas pontes com tabuleiro de modelo atual feitas para as duas classes de veículos normativos, classe 36 e classe 45, e nas pontes com tabuleiro antigo apenas os efeitos em comparação ao veículo tipo classe 36. O autor observa que, em diversos casos, os esforços solicitantes devido ao tráfego real são maiores que aqueles devido ao carregamento de projeto; e, também, que as razões entre os esforços decrescem com o aumento de comprimento do vão, uma vez que se amplia a contribuição da parcela de carga distribuída do carregamento normativo.

Ainda segundo o mesmo autor, nas comparações de todas as pontes estudadas com tabuleiro de modelo antigo para estruturas de vão pequeno (10m) os esforços críticos devido a carregamentos classe 36 são superados pelos esforços devido a veículos reais, e também em algumas outras situações para vãos maiores. Em nenhum vão ou sistema estrutural, com tabuleiro de modelo atual, os esforços devidos ao tráfego real superaram aqueles gerados pelo carregamento classe 45.

Segundo Araújo (2007) a presença simultânea de veículos pesados nas pontes podem ser muito frequentes e estão diretamente relacionadas às características do fluxo de tráfego, mas a quantidade de veículos pesados sobre a ponte não indica a situação mais crítica para o cálculo dos esforços. A distribuição das cargas e seus respectivos valores são fatores determinantes. O autor simulou vários cenários, obtendo o maior momento fletor para vãos de 100m com presença simultânea de 10 caminhões. Esse momento correspondeu a 67,93% do momento causado pelo trem-tipo normativo de 45tf. Ainda segundo o autor, o carregamento de multidão prescrito na norma brasileira mostrou-se conservador, para os casos estudados.

Devido a estas constatações, mostra-se relevante a avaliação da vida útil de fadiga de vigas de tabuleiro de pontes em função do fluxo de veículos pesados.

5. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho enfoca principalmente vigas de pontes classe 36, projetadas de acordo com a NB-6/60, por que em algumas situações podem ocorrer solicitações, devidas ao carregamento real, iguais ou maiores do que os valores de projeto. Muitas das pontes existentes e em plena atividade, foram projetadas ainda pela norma anterior, como citado no item 3.6.1, situação exemplificada na a figura 5.1.



Figura 5.1 – Placa indicativa em ponte na BR 116, fotografada em julho de 2008.

O trem tipo de 45 prescrito pela NBR 7188/84 para pontes de Classe 1, é adequado para simular os carregamentos reais hoje atuantes nas rodovias brasileiras (LUCHI, 2006; ROSSIGALLI, 2006; ARAÚJO, 2007).

As vigas analisadas são representativas das vigas existentes no estoque de pontes gaúchas e brasileiras, tanto no que se refere às características geométricas quanto aos modelos estruturais adotados, de acordo com o apresentado anteriormente, item 3.6.1. Isto é, vigas retangulares, analisadas como viga T, bi apoiadas e vigas com dois apoios e balanços nas extremidades. Os comprimentos dos vãos são pequenos, por serem os de maior incidência e, também, por serem os vãos pequenos mais sensíveis aos carregamentos móveis.

Como estratégia de pesquisa para estimar a vida útil de fadiga de vigas de concreto armado de tabuleiro de pontes os seguintes procedimentos foram adotados: montagem da situação prevista em projeto, levantamento dos efeitos das mudanças ocorridas e análise paramétrica de cenários de fluxo e impactos sobre a vida útil

A primeira fase contempla:

- a) caracterização do elemento estrutural (viga) extraído de um contexto;
- b) definição da seção resistente;
- c) montagem do modelo estrutural, com carga permanente e carga móvel de norma;
- d) traçado das envoltórias das solicitações;
- e) verificação da fadiga, de acordo com a norma brasileira.

A seguir foi realizado um levantamento de:

- a) estimativa do número de ciclos, N ;
- b) determinação do dano causado pela passagem de cada unidade diferente de carga móvel.

Para a análise da situação imposta, e situações futuras, o procedimento adotado foi através a montagem de histogramas de momentos para os diferentes cenários (previsto em projeto, real e fictícios), avaliar o número de ciclos ocorridos e avaliar o quanto falta para atingir a vida útil de fadiga estimada.

Para situação de projeto, o carregamento imposto é o trem tipo de norma vigente na época do projeto..

Para a situação real, a avaliação do carregamento e intensidade de fluxo de veículos, foi feita através de dados coletados e registrados pelos Postos de Pedágio (P11, P21 e P31) e Posto de Monitoramento do DNIT (P85), apresentados no Anexo B.

Para análise de situação futura foram montados cenários fictícios.

5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DA ESTRUTURA

Foram utilizados modelos de tabuleiros representativos da malha viária, com laje associada a duas longarinas de seção retangular constante, e transversinas:

- Seção Transversal Tipo 1, baseada no modelo antigo do DNER: com 10 m, sendo 8,20 m a largura da pista e guarda-rodas de 0,90 m, sem acostamento, figura 5.2;
- Seção Transversal Tipo 2, baseada no modelo atual: com 13 m, sendo 7m a 7,50 m a largura da pista, com acostamento de 2,50m, figura 5.3.

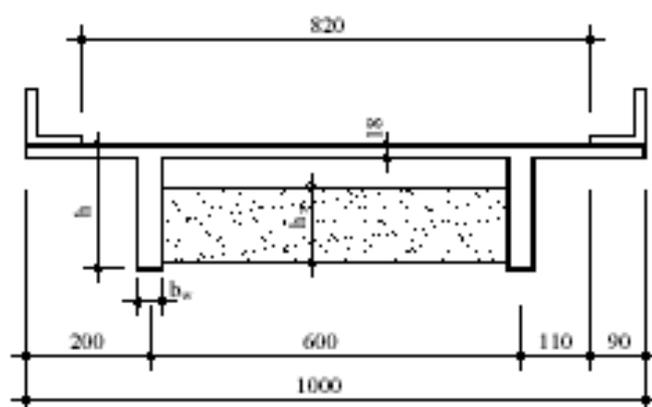


Figura 5.2 – Seção Transversal Tipo 1.

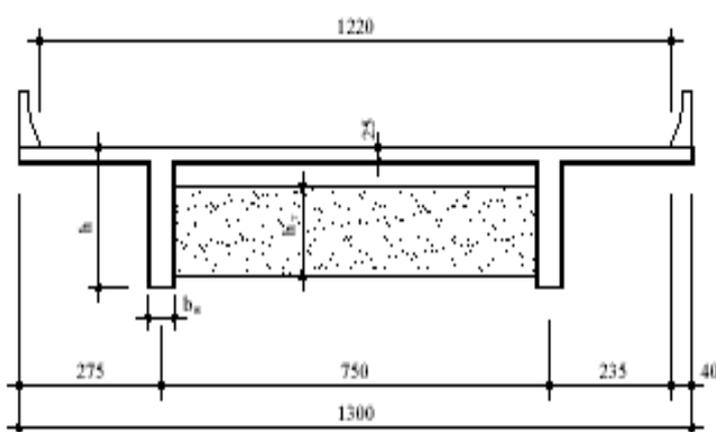


Figura 5.3 – Seção Transversal Tipo 2.

Foram consideradas as características:

- a) vãos de comprimento de 10 m, 15 m e 20 m;
- b) vigas bi apoiadas, e vigas contínuas com dois balanços e um vão intermediário.

Obedecendo a seguinte designação das vigas longarinas:

- a) a letra V representa o elemento viga;
- b) os números 1 e 2 representam os tipos de seção transversal, respectivamente;
- c) os sub-índices indicam o número e o comprimento de vãos.

Desta forma foram gerados os códigos de cada viga, mostrados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Denominação das Vigas

VIGA	DESCRIÇÃO
V1 ₁₋₁₀	Viga Tipo 1, bi apoiada com vão de 10 m.
V1 ₁₋₁₅	Viga Tipo 1, bi apoiada com vão de 15 m.
V1 ₁₋₂₀	Viga Tipo 1, bi apoiada com vão de 20 m.
V1 _{2b1-10}	Viga Tipo 1, contínua com 2 balanços (1,5 m) e vão de 10 m.
V1 _{2b1-15}	Viga Tipo 1, contínua com 2 balanços (2,25 m) e vão de 15 m.
V1 _{2b1-20}	Viga Tipo 1, contínua com 2 balanços (3,0 m) e vão de 20 m.
V2 ₁₋₁₀	Viga Tipo 2, bi apoiada com vão de 10.
V2 ₁₋₁₅	Viga Tipo 2, bi apoiada com vão de 15 m.
V2 ₁₋₂₀	Viga Tipo 2, bi apoiada com vão de 20 m.
V2 _{2b1-10}	Viga Tipo 2, contínua com 2 balanços (1,5 m) e vão de 10 m.
V2 _{2b1-15}	Viga Tipo 2, contínua com 2 balanços (2,25 m) e vão de 15 m.
V2 _{2b1-20}	Viga Tipo 2, contínua com 2 balanços (3,0 m) e vão de 20 m

A seção das vigas longarinas, considerada T, com a laje como parte integrante da mesa das vigas, figura 5.4, tem as dimensões apresentadas na tabela 5.2.

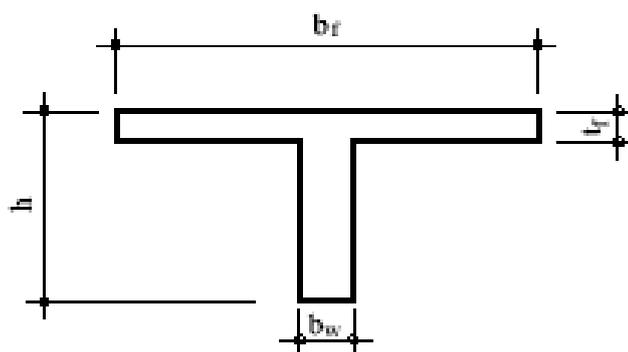


Figura 5.4 – Seção transversal viga T.

Tabela 5.2 – Dimensões das vigas

VIGA	t_f [cm]	b_w [cm]	b_f [cm]	h [cm]
V1 ₁₋₁₀	18	30	230	100
V1 ₁₋₁₅	18	35	335	150
V1 ₁₋₂₀	18	40	400	200
V1 _{2b1-10}	18	30	150	150
V1 _{2b1-15}	18	35	215	225
V1 _{2b1-20}	18	40	280	300
V2 ₁₋₁₀	25	30	230	100
V2 ₁₋₁₅	25	35	335	150
V2 ₁₋₂₀	25	40	400	200
V2 _{2b1-10}	25	30	150	150
V2 _{2b1-15}	25	35	215	225
V2 _{2b1-20}	25	40	280	300

As alturas das vigas foram definidas em função dos vãos, isto é, igual a $0,10 L$ para as bi-apoiadas e $0,15 L$ para as vigas com balanço devido aos momentos negativos, que são dimensionados pela seção retangular (BARONI & VIERO, 2007).

A obtenção das dimensões da mesa de acordo com as prescrições da NBR 6118/03, adotando-se um valor máximo para $b_f = 4,0$ metros.

As vigas transversinas têm largura constante de 30 cm e altura igual a 0,6 da altura da longarina, existentes a cada 5 metros. Estas vigas são separadas das lajes, com função apenas de travamento, de maneira que as cargas das lajes são transferidas somente para as longarinas.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As propriedades dos materiais consideradas nas análises foram de acordo com o adotado para projetos até anos 80:

a) Concreto: $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$; $E_c = 21.000 \text{ MPa}$; $\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$.

b) Aços: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$; $E_s = 210.000 \text{ MPa}$; $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$.

5.3 CARGAS PERMANENTES

As solicitações mínimas sobre as pontes são representadas pelas solicitações provocadas pelas cargas permanentes de peso próprio: as longarinas e transversinas, da laje, do revestimento e do guarda corpo. Foram consideradas cargas permanentes de acordo com o usual em projetos, sendo essas cargas discriminadas a seguir:

a) cargas distribuídas devidas ao peso próprio dos elementos, revestimentos e guarda corpo:

V1 - $q_1 = 35 \text{ kN/m} + (25 \times b \times h)$; b,h dimensões das longarinas.

V2 - $q_2 = 51 \text{ kN/m} + (25 \times b \times h)$; b,h dimensões das longarinas.

b) cargas concentradas devido as transversinas: $P = 2,25 \times h \times L_1$; L_1 distância entre longarinas.

Os modelos estruturais completos, com o carregamento permanente, de cada viga, estão apresentados no Anexo A.

5.4 EFEITO DAS CARGAS MÓVEIS SOBRE AS PONTES

O efeito da passagem de veículos sobre as pontes pode ser representado através da análise de esforços solicitantes provocados por essas cargas. Para isso, primeiramente, foi feita uma

avaliação dos esforços solicitantes produzidos pelo trem tipo 36 da norma NB-6/60 e pelo trem tipo 45 da NBR 7188/84.

Os trens de carga considerados, de acordo com cada norma, estão apresentados a seguir, sendo para a seção transversal Tipo 1 conforme a figura 5.5, e para a Tipo 2 conforme a figura 5.6. A partir destes, foram obtidos os esquemas de carga de projeto, que estão apresentados na figura 5.7.

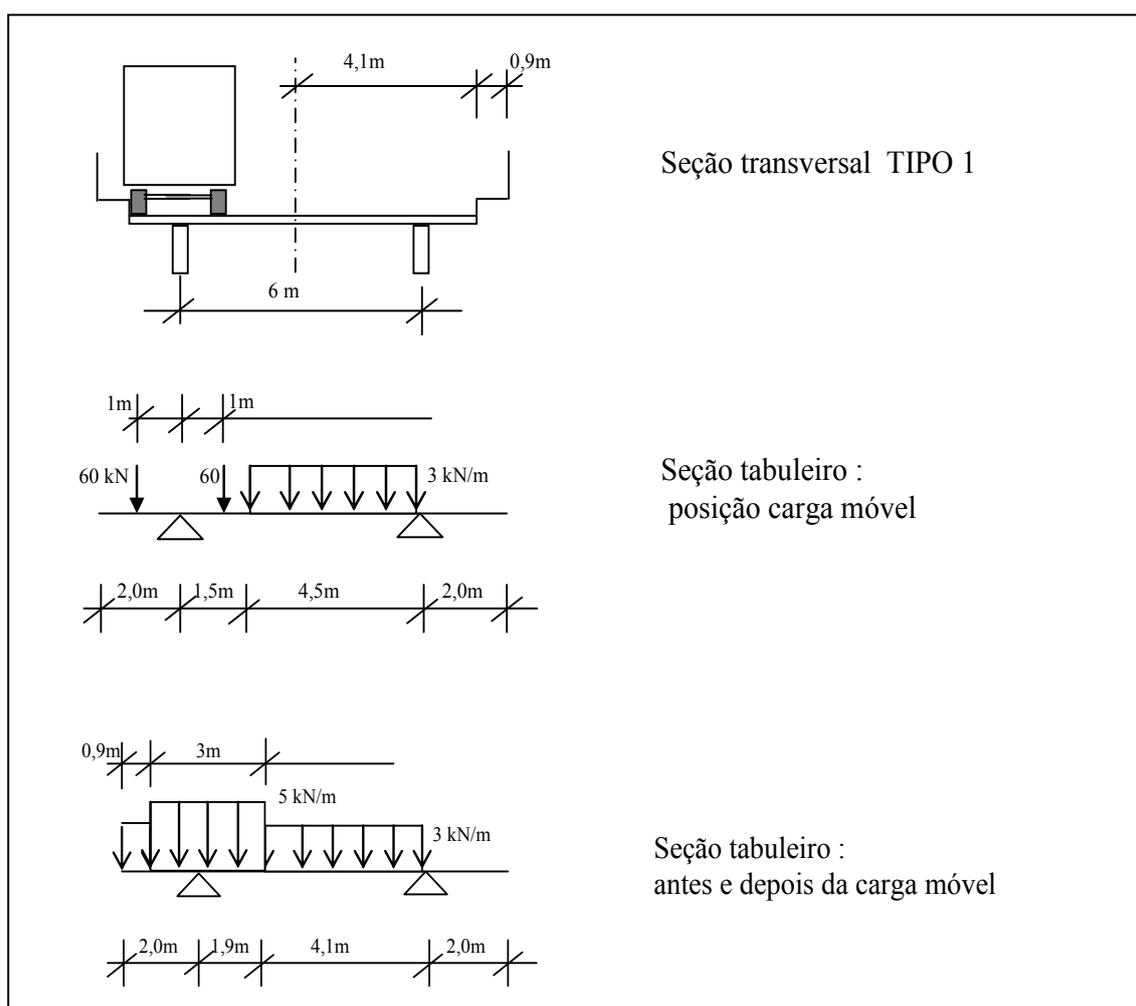


Figura 5.5 – Trem tipo 36 (NB6/60), seção Tipo 1.

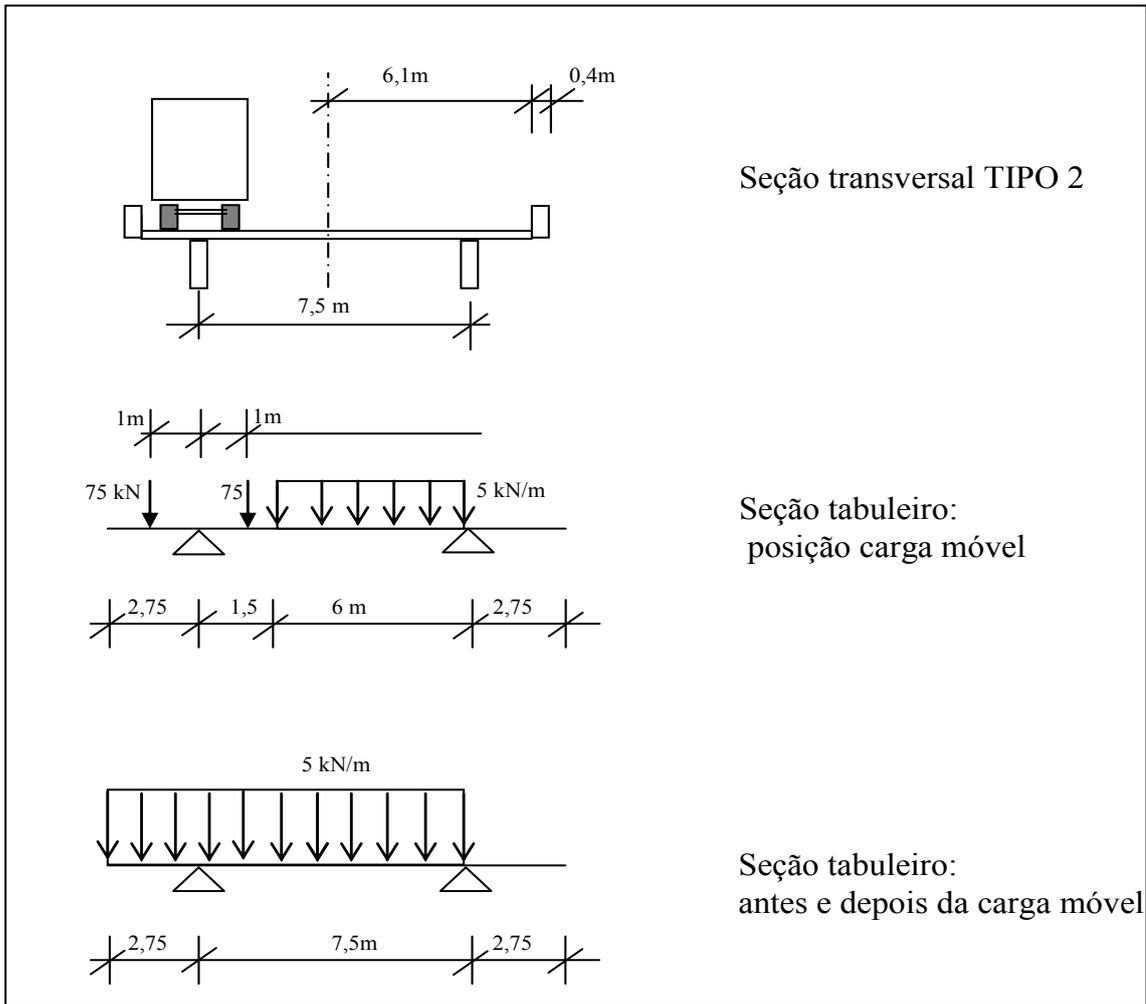


Figura 5.6 – Trem tipo 45 (NBR7188/84), seção Tipo 2.

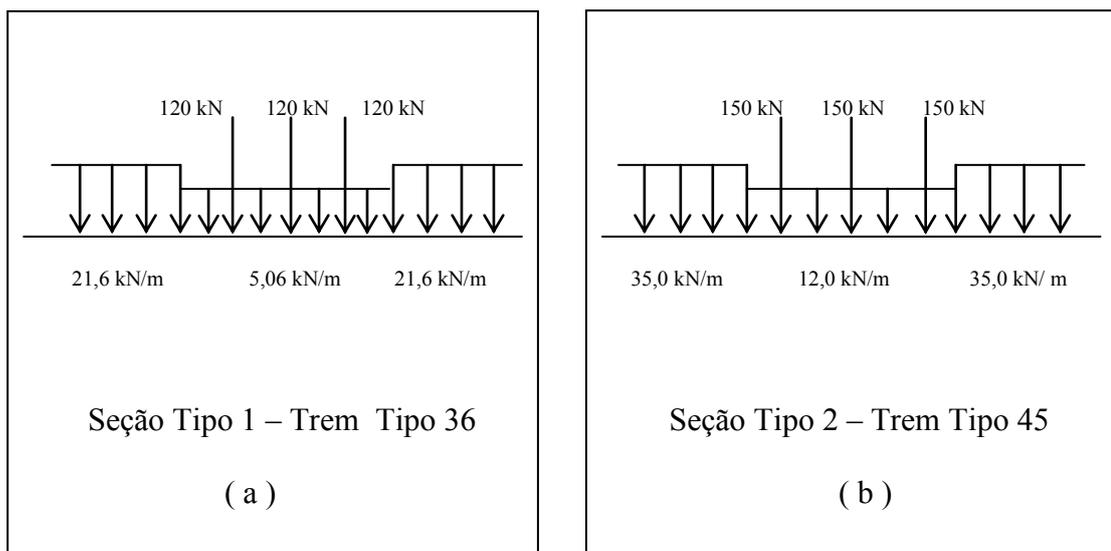


Figura 5.7 – Esquemas de cargas para trens tipo 36/seção Tipo 1 e 45/seção Tipo 2.

Para consideração do acréscimo na carga do veículo devido ao movimento das mesmas cargas sobre a ponte, foi aplicado o coeficiente de impacto, determinado de acordo com o apresentado no item 4.1.2. Os valores estão apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Coeficiente de impacto vertical.

Viga	L [m]	Φ
V1 e V2	10	1,33
V1 e V2	15	1,29
V1 e V2	20	1,26

Foram também determinados os esforços solicitantes para a ação de cada tipo de veículo constante do monitoramento. Mantidas as cargas distribuídas da norma para simular a simultaneidade de veículos leves

Posteriormente, são apresentados histogramas de frequência de ocorrência de esforços solicitantes devido à ação do tráfego, conforme registrado pelos Postos de Pedágio (P11, P21 e P31) e pelo Posto de Monitoramento do DNIT (P85). Foram registrados os dados para os diferentes tipos de veículos existentes na frota brasileira, classificados por categorias de acordo com as resoluções do DNIT, descritas anteriormente no item 4.4.

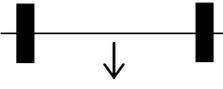
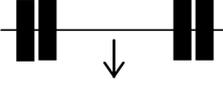
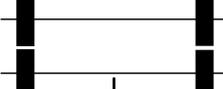
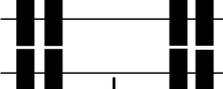
Para fins de determinação das envoltórias dos esforços, foram considerados os veículos presentes nos relatórios agrupados de acordo com o número de eixos e cargas, conforme indicado na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Tipos de Veículos Componentes para cada Número de Eixos

Veículo	No. Eixos	Veículo	No. Eixos	Veículo	No. Eixos	Veículo	No. Eixos
O2C	2	O4CD	4	2C3	5	3C3	6
2C		4C		3C2		3S3	
-		4CD		2S3		3I12	
O3C		2C2		2I12		3I3	
3C	3	2S2	4	2I3	5	7rod	7
2S1		2I2		3S2		8rod	8
-		3S1		3I2		9rod	9

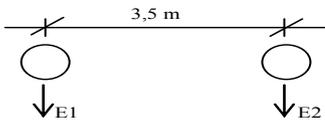
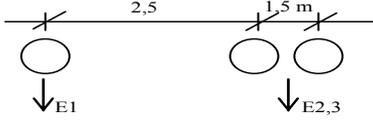
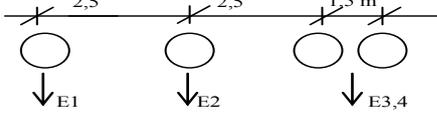
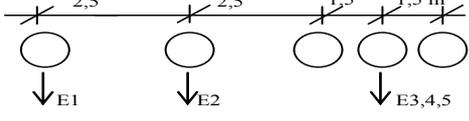
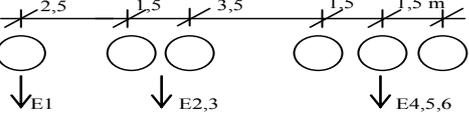
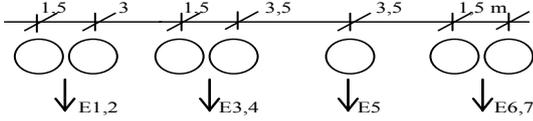
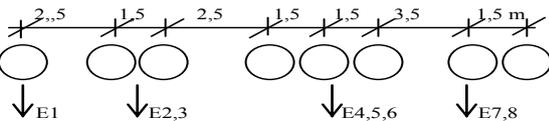
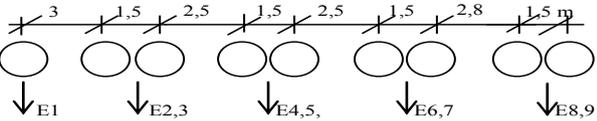
A tabela 5.5 apresenta os esquemas gráficos de distribuição do peso máximo admitido por eixo ou conjunto de eixos, esta mostrado também a tolerância de 5% na carga, respeitando as determinações vigentes.

Tabela 5.5 – Representação Gráfica da Distribuição de Peso por Eixo

Situação	Esquema gráfico	Carga [kN]	Tolerância (+5%) [kN]
Eixo isolado 2 pneumáticos		60	63
Eixo isolado 4 pneumáticos		100	105
Eixo duplo 2 pneumáticos cada		120	126
Eixo Duplo 4 pneumáticos cada		170	178,5
Eixo triplo 4 pneumáticos cada		255	267,75

A seguir, tabela 5.6, estão apresentadas as silhuetas dos veículos, com seus respectivos limites de peso, utilizados para consideração dos efeitos das cargas móveis, e distâncias entre eixos. Estes limites são os limites legais, de acordo com a Portaria do DENATRAN número 86 de 2006.

Tabela 5.6– Silhuetas dos Veículos

Tipo	Carga veículo [kN]	Esquema	Carga por eixo [kN]
2eixos-16	160		E1 = 60 E2 = 100
3eixos-23	230		E1 = 60 E2,3 = 170
4eixos-33	330		E1 = 60 E2 = 100 E3,4 = 170
5eixos-41,5	415		E1 = 60 E2 = 100 E3,4,5 = 255
6eixos-48,5	485		E = 60 E = 170 E = 255
7rod-56t	560		E1,2 = 120 E3,4 = 170 E5 = 100 E6,7 = 170
8rod-65,5	655		E1 = 60 E2,3 = 170 E4,5,6 = 255 E7,8 = 170
9rod-74	740		E1 = 60 E2,3 = 170 E4,5 = 170 E6,7 = 170 E8,9 = 170

5.5 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO

A análise dos modelos estruturais sob a ação dos carregamentos, devido às cargas permanentes e devido a passagem dos veículos, para obtenção dos esforços seccionais foi feita com a utilização do programa computacional Ftool-Two-Dimensional Analysis Tool, Versão Educacional 2.12 , desenvolvido por Luiz Fernando Marta, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC Rio.

Para cada modelo de viga, considerando o carregamento permanente, foram traçados os diagramas de esforços internos. E para cada trem tipo de norma, trem tipo 36 (NB-6/60) e trem tipo 45 (NBR 7188/84), foram traçadas envoltórias de esforços internos.

A composição dos valores para determinação dos momentos fletores máximos, para cada viga, está apresentada nas tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 5.7 – Momentos Fletores – Vigas bi apoiadas.

Viga	$M_{\text{permanente}}$ [kN.m]	Trem Tipo	$M_{\text{móvel}}$ [kN.m]	M_{max} [kN.m]
V1 ₁₋₁₀	565,0	36	1085,7	1650,7
		45	1385,8	1950,8
V1 ₁₋₁₅	1454,9	36	1916,3	3371,2
		45	2430,9	3885,8
V1 ₁₋₂₀	3020,0	36	2870,0	5890,6
		45	3645,3	6665,3
V2 ₁₋₁₀	773,4	36	1130,2	1904,2
		45	1458,2	2231,1
V2 ₁₋₁₅	1930,0	36	1916,3	3846,3
		45	2430,9	4360,9
V2 ₁₋₂₀	3887,5	36	3115,3	7002,8
		45	4017,5	7905,0

Tabela 5.8 – Momentos Fletores – Vigas com balanços

Viga	M _{permanente} [kN.m]	Trem Tipo	M _{móvel} [kN.m]	M _{Max} [kN.m]
V1 _{2b1-10}	+ 496,9	36	+ 1085,7	+ 1582,6
		45	+ 1385,8	+ 1882,7
	- 68,1	36	- 247,0	- 315,1
		45	- 311,9	- 380,0
V1 _{2b1-15}	+ 1287,5	36	+ 1916,3	+ 3203,8
		45	+ 2430,9	+ 3718,4
	- 167,4	36	- 482,6	- 650,0
		45	- 608,1	- 775,5
V1 _{2b1-20}	+ 2691,5	36	+ 2870,6	+ 5562,1
		45	+ 3646,0	+ 6337,5
	- 328,5	36	- 709,1	- 1037,6
		45	- 948,3	- 1276,8
V2 _{2b1-10}	+ 682,3	36	+ 1130,8	+ 1813,1
		45	+ 1431,7	+ 2114,0
	- 91,1	36	- 250,2	- 341,3
		45	- 317,2	- 408,3
V2 _{2b1-15}	+ 1710,8	36	+ 1916,3	+ 3701,9
		45	+ 2622,4	+ 4333,2
	- 219,3	36	- 482,8	- 702,1
		45	- 619,7	- 839,0
V2 _{2b1-20}	+ 3466,8	36	+ 3115,3	+ 6582,1
		45	+ 4017,5	+ 7484,3
	- 420,8	36	- 721,2	- 1142,0
		45	- 918,6	- 1339,4

Os modelos estruturais com a representação dos carregamentos considerados e os respectivos diagramas de esforços internos estão apresentados no Anexo A.

Pode-se observar nos valores apresentados nas tabelas 5.7 e 5.8 a maior significância das cargas móveis na composição dos esforços máximos quanto menor o vão da viga, assim como a diferença significativa entre as solicitações geradas pelos trens de carga 36 e 45.

Para as vigas V1, correspondentes ao tipo de seção transversal anterior a 1984, o dimensionamento das armaduras foi feito para solicitações do trem tipo 36. Já para as vigas V2, o dimensionamento das armaduras foi feito para o trem tipo 45.

Após o dimensionamento às solicitações máximas foi efetuada a verificação da fadiga, apresentada a seguir.

5.6 VERIFICAÇÃO DA FADIGA

As vigas foram dimensionadas aos esforços solicitantes, sob carregamento permanente e móvel, e verificado o efeito da fadiga atendendo prescrições vigentes para projetos (anteriores a NBR 6118/03), prescrições somente para a verificação das tensões nas armaduras. Os procedimentos prescritos pela EB-3/67 (versão antiga da NBR 7180/07) e pela NBR 7187/86 conduzem a valores similares (ARAÚJO,1999).

Assim sendo, quando as variações de tensões nas armaduras ($\Delta\sigma_s$) ultrapassaram os valores de $\Delta\sigma_{fsd}$ prescrito (~ 180 MPa), as áreas de aço foram multiplicadas pelo coeficiente de fadiga ($k=\Delta\sigma_s/\Delta\sigma_{fsd}$).

Também foram mantidas as tensões no concreto entre 50 e 60% da resistência estática.

Tabelas com o dimensionamento e redimensionamento (para atender verificação da fadiga) estão apresentadas no Anexo A.

As tensões no concreto e no aço foram determinadas pelas expressões apresentadas a seguir, para vigas seção T, (MONTROYA et al, 1979).

$$\sigma_c = \frac{M \times x}{I_{II}} \quad (\text{Equação 5.1})$$

$$\sigma_s = \eta \times \sigma_c \times \left(\frac{d \times x}{x} \right) \quad (\text{Equação 5.2})$$

Onde:

η - relação entre os módulos de elasticidade longitudinais dos materiais, igual a 10, de acordo com a NBR 6118/03.

x – altura da linha neutra;

I_{II} – Momento de inércia da seção fissurada.

Sendo, para a seção T, utilizadas as expressões 5.3 e 5.4.

$$\frac{b_w}{2}.x^2 + [(b - b_w).h_f + \eta.A_s]x - \left[(b - b_w).\frac{h_f^2}{2} + \eta.A_s.d \right] = 0 \quad (\text{Equação 5.3})$$

$$I_{II} = \frac{b.x^3 - (b - b_w).(x - h_f)^3}{3} + \eta.A_s.(d - x)^2 \quad (\text{Equação 5.4})$$

E, para seção retangular, utilizadas as expressões 5.5 e 5.6, (Süssekind, 1980).

$$x = \frac{\eta.A_s}{b} \left(-1 \sqrt{1 + \frac{2b.d}{\eta.A_s}} \right) \quad (\text{Equação 5.5})$$

$$I_{II} = \frac{b.x^3}{3} + \eta.A_s.(d - x)^2 \quad (\text{Equação 5.6})$$

Os resultados encontrados para o dimensionamento e para a verificação de fadiga, para cada viga, estão apresentados nas tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9 – Dimensionamento e Verificação de Fadiga – Mom. máximos positivos

Viga	As [cm ²]	x [cm]	I _{II} [cm ⁴]	σ _c máxima [kN/cm ²]	σ _c mínima [kN/cm ²]	σ _s máxima [kN/cm ²]	σ _s mínima [kN/cm ²]	Δσ _s [kN/cm ²]
V1 ₁₋₁₀	70	20,7	4,04E6	0,845	0,289	28,3	9,7	18,6
V1 ₁₋₁₅	80	24,2	12,28E6	0,665	0,287	31,7	13,7	18,0
V1 ₁₋₂₀	100	30,6	28,99E6	0,623	0,319	32,4	16,6	15,8
V1 _{2b1-10}	45	27,3	6,70E6	0,644	0,202	26,6	8,3	18,3
V1 _{2b1-15}	50	31,8	18,92E6	0,538	0,216	31,0	12,5	18,5
V1 _{2b1-20}	60	37,5	42,5E6	0,490	0,253	33,0	17,0	16,0
V2 ₁₋₁₀	95	23,5	5,19E6	1,008	0,350	28,5	9,9	18,6
V2 ₁₋₁₅	105	26,7	16,00E6	0,746	0,330	31,7	14,0	17,7
V2 ₁₋₂₀	125	32,1	36,00E6	0,714	0,351	35,1	17,3	17,8
V2 _{2b1-10}	60	30,0	8,60E6	0,746	0,238	27,4	8,72	18,6
V2 _{2b1-15}	70	35,5	26,00E6	0,599	0,237	30,3	12,0	18,3
V2 _{2b1-20}	80	40,3	56,00E6	0,542	0,251	33,5	15,6	18,0

Tabela 5.10 – Dimensionamento e Verificação de Fadiga – Mom. máximos negativos

Viga	As [cm ²]	x [cm]	I _{II} [cm ⁴]	σ _c máxima [kN/cm ²]	σ _c mínima [kN/cm ²]	σ _s máxima [kN/cm ²]	σ _s mínima [kN/cm ²]	Δσ _s [kN/cm ²]
V1 _{2b1-10}	25	40,7	3,14E6	0,408	0,088	10,0	2,1	7,9
V1 _{2b1-15}	25	48,7	8,26E6	0,383	0,099	13,1	3,4	9,7
V1 _{2b1-20}	25	54,2	16,02E6	0,353	0,111	15,2	4,8	10,4
V2 _{2b1-10}	25	40,7	3,14E6	0,529	0,118	12,9	2,9	10,0
V2 _{2b1-15}	25	48,7	8,26E6	0,495	0,129	16,9	4,4	12,5
V2 _{2b1-20}	25	54,2	16,00E6	0,454	0,142	19,7	6,2	13,5

5.7 ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE FADIGA E DO DANO ACUMULADO

As estimativas da vida útil de fadiga do concreto e do dano acumulado foram feitas com as hipóteses de acordo com as considerações dos itens anteriores, e mostradas no quadro resumo na figura 5.8.

As tabelas 5.11 a 5.22 apresentam os valores de momentos positivos máximos, tensões e número de ciclos limite para cada modelo considerado e carregamentos aplicados. As tabelas 5.23 a 5.28 referem-se aos momentos negativos máximos, para as vigas com balanços.

Também estão indicados nas tabelas os valores de N (número de ciclos) estimados através da Curvas S-N (Tepfers e Kutti, 1979, apresentada no Capítulo 2 e prescrita no CEB, 1990), equação 5.7, e do dano provocado pela passagem do veículo considerado (1/N).

$$\frac{\sigma_{\max}}{f_{cm}} = 1 - \beta(1 - R)\log N \quad (\text{Equação 5.7})$$

Onde:

σ_{\max} = tensão máxima;

f_{cm} = resistência média do concreto à compressão;

β = constante do material, de valor entre 0,0685 e 0,0800;

R = relação de tensão, expressa pela equação 5.8.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (\text{Equação 5.8})$$

Vigas	Tipo V1 – dimensionadas pelo trem tipo 36 Tipo V2 – dimensionadas pelo trem tipo 45
Momentos mínimos	Carregamento permanente, de acordo com o item 5.3
Momentos máximos	Carregamento permanente, de acordo com o item 5.3 Carregamento Móvel: veículo centrado na longarina, com esquema de carga de acordo com as silhuetas da tabela 5.6, e carga de multidão de acordo com cada norma.

Figura 5.8 – Quadro resumo: hipóteses para estimativas de vida útil de fadiga e dano.

Tabela 5.11 – Vida útil de fadiga - Modelo: $V1_{1-10} - M_{\min} = 565,0 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$

Carg1móvel	M máximo [kN.m]	σ máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N	N	Dano
					($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1650,7	0,85	0,564	0,342	9,687 8,294	4,86E09 1,97E08	2,06E-10 5,08E-9
Trem-45	1950,8	1,05	0,697	0,277	6,119 5,240	1,31E06 1,74E05	7,60E-07 5,76E-06
2eixos-16	1171,4	0,63	0,418	0,461	15,751 13,487	5,63E15 3,06E13	1,77E-16 3,26E-14
3eixos-23	1386,6	0,74	0,495	0,389	12,067 10,332	1,17E12 2,15E10	8,57E-13 4,65E-11
4eixos-33	1217,5	0,65	0,435	0,444	14,825 12,694	6,68E14 4,94E12	1,50E-15 2,02E-13
5eixos-41.5	1655,6	0,89	0,591	0,326	8,852 7,580	7,11E08 3,79E07	1,41E-09 2,63E-08
6eixos-48,5	1577,4	0,85	0,563	0,342	9,690 8,297	4,89E09 1,98E08	2,04E-10 5,05E-09
7eixos-56t	1366,3	0,73	0,488	0,395	12,358 10,581	2,28E12 3,81E10	4,39E-13 2,62E-11
8eixos-65,5	1581,5	0,85	0,565	0,341	9,644 8,258	4,40E09 1,81E08	2,27E-10 5,52E-09
9eixos-74	1496,7	0,80	0,535	0,361	10,628 9,100	4,25E10 1,26E09	2,36E-11 7,94E-10

Tabela 5.12 – Dados Vida útil - Modelo: $V_{1-15} - M_{\min} = 1454,9 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	3371,2	0,67	0,443	0,432	14,293 12,238	1,96E14 1,73E12	5,10E-15 5,78E-13
Trem-45	3885,8	0,77	0,511	0,374	11,407 9,767	2,55E11 5,85E09	3,92E-12 1,71E-10
2eixos-16	2648,1	0,52	0,348	0,549	21,113 18,078	1,30E21 1,19E18	7,72E-22 8,36E-19
3eixos-23	2954,5	0,58	0,389	0,492	17,583 15,056	3,83E17 1,14E15	2,61E-18 8,80E-16
4eixos-33	3087,8	0,61	0,406	0,471	16,392 14,036	2,47E16 1,09E14	4,05E-17 9,21E-15
5eixos-41,5	3378,2	0,67	0,444	0,431	14,247 12,199	1,76E14 1,58E12	5,67E-15 6,3E-13
6eixos-48,5	3305,6	0,65	0,435	0,440	14,736 12,618	5,45E14 4,15E12	1,84E-15 2,41E-13
7eixos-56t	3028,6	0,60	0,398	0,480	16,902 14,472	7,97E16 1,96E14	1,25E-17 3,37E-15
8eixos-65,5	3488,1	0,69	0,459	0,417	13,553 11,605	3,57E13 4,02E11	2,80E-14 2,49E-12
9eixos-74	3360,7	0,66	0,442	0,433	14,362 12,298	2,30E14 1,98E12	4,34E-15 5,04E-13

Tabela 5.13 – Dados Vida útil - Modelo: $V_{1-20} - M_{\min} = 3020,0 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	5890,6	0,62	0,416	0,513	17,509 14,992	3,22E17 9,81E14	3,10E-18 1,02E-15
Trem-45	6666,0	0,71	0,470	0,453	14,139 12,107	1,38E14 1,28E12	7,25E-15 7,82E-13
2eixos-16	4985,9	0,53	0,352	0,606	23,999 20,550	9,99E23 3,54E20	1,00E-24 2,82E-21
3eixos-23	5381,1	0,57	0,380	0,561	20,639 17,672	4,35E20 4,69E17	2,29E-21 2,12E-18
4eixos-33	5597,0	0,59	0,395	0,540	19,185 16,427	1,53E19 2,67E16	6,52E-20 3,73E-17
5eixos-41,5	5972,9	0,63	0,421	0,506	17,084 14,628	1,21E17 4,25E14	8,23E-18 2,35E-15
6eixos-48,5	5500,3	0,58	0,388	0,549	19,810 16,962	6,45E19 9,16E16	1,55E-20 1,09E-17
7eixos-56t	5622,1	0,60	0,397	0,537	19,029 16,294	1,07E19 1,97E16	9,34E-120 5,08E-17
8eixos-65,5	6275,7	0,66	0,443	0,481	15,680 13,426	4,78E15 2,66E13	2,09E-16 3,75E-14
9eixos-74	6178,3	0,65	0,436	0,489	16,109 13,793	1,28E16 6,20E13	7,79E-17 1,61E-14

Tabela 5.14 – Dados Vida útil - Modelo: $V_{1-2b1-10} - M_{\min} = 496,9 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,20 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1582,6	0,64	0,430	0,314	12,132 10,388	1,36E12 2,44E10	7,38E-13 4,09E-11
Trem-45	1882,7	0,77	0,511	0,264	9,690 8,297	4,90E09 1,98E08	2,04E-10 5,04E-09
2eixos-16	1103,8	0,45	0,300	0,450	18,590 15,918	3,89E18 8,28E15	2,57E-19 1,21E-16
3eixos-23	1318,5	0,54	0,358	0,377	15,037 12,875	1,09E15 7,51E12	9,18E-16 1,33E-13
4eixos-33	1126,9	0,46	0,306	0,441	18,120 15,515	1,32E18 3,27E15	7,59E-19 3,06E-16
5eixos-41,5	1585,8	0,65	0,431	0,313	12,102 10,363	1,30E12 2,30E10	7,90E-13 4,34E-11
6eixos-48,5	1424,5	0,58	0,387	0,349	13,744 11,768	5,55E13 5,86E11	1,80E-14 1,71E-12
7eixos-56t	1298,2	0,53	0,353	0,383	15,311 13,110	2,05E15 1,29E13	4,89E-16 7,76E-14
8eixos-65,5	1470,9	0,60	0,400	0,338	13,238 11,335	1,73E13 2,16E11	5,78E-14 4,63E-12
9eixos-74	1428,6	0,58	0,388	0,348	13,698 11,729	4,99E13 5,36E11	2,00E-14 1,87E-12

Tabela 5.15 – Dados Vida útil - Modelo: $V_{1-2b1-15} - M_{\min} = 1287,5 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,22 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	3203,8	0,54	0,359	0,402	15,647 13,398	4,44E15 2,50E13	2,25E-16 4,00E-14
Trem-45	3718,4	0,62	0,417	0,346	13,029 11,156	1,07E13 1,43E11	9,36E-14 6,99E-12
2eixos-16	2480,7	0,42	0,278	0,519	21,916 18,766	8,25E21 5,83E18	1,21E-22 1,71E-19
3eixos-23	2787,1	0,47	0,312	0,462	18,661 15,978	4,58E18 9,51E15	2,18E-19 1,05E-16
4eixos-33	2920,4	0,49	0,327	0,441	17,567 14,042	3,69E17 1,10E15	2,71E-18 9,08E-16
5eixos-41,5	3210,8	0,54	0,360	0,401	15,605 13,362	4,03E15 2,30E13	2,48E-16 4,35E-14
6eixos-48,5	3080,2	0,52	0,345	0,418	16,428 14,066	2,68E16 1,17E14	3,73E-17 8,58E-15
7eixos-56t	2760,0	0,46	0,309	0,466	18,903 16,185	7,99E18 1,53E16	1,25E-19 6,53E-17
8eixos-65,5	3282,0	0,55	0,368	0,392	15,190 13,006	1,55E15 1,01E13	6,46E-16 9,85E-14
9eixos-74	3174,9	0,53	0,356	0,406	15,823 13,548	6,65E15 3,53E13	1,50E-16 2,83E-14

Tabela 5.16 – Dados Vida útil - Modelo: $V1_{1-2b1-20} - M_{\min} = 2691,5 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,24 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	5562,1	0,49	0,327	0,484	19,040 16,303	1,10E19 2,01E16	9,13E-20 4,98E-17
Trem-45	6337,5	0,56	0,372	0,425	15,924 13,635	8,39E15 4,31E13	1,19E-16 2,32E-14
2eixos-16	4657,4	0,41	0,274	0,578	25,118 21,508	1,31E25 3,22E21	7,61E-26 3,11E-22
3eixos-23	5052,6	0,45	0,297	0,533	21,963 18,806	9,19E21 6,40E18	1,09E-22 1,56E-19
4eixos-33	5268,5	0,46	0,310	0,511	20,604 17,642	4,02E20 4,39E17	2,49E-21 2,28E-18
5eixos-41,5	5644,4	0,50	0,332	0,477	18,648 15,967	4,44E18 9,27E15	2,25E-19 1,08E-16
6eixos-48,5	5171,8	0,46	0,304	0,520	21,188 18,142	1,54E21 1,39E18	6,49E-22 7,21E-19
7eixos-56t	5293,6	0,47	0,311	0,508	20,459 17,518	2,88E20 3,30E17	3,48E-21 3,03E-18
8eixos-65,5	5947,2	0,52	0,350	0,453	17,346 14,853	2,22E17 7,12E14	4,51E-18 1,40E-15
9eixos-74	5849,8	0,52	0,344	0,460	17,743 15,193	5,54E17 1,56E15	1,81E-18 6,24E-16

Tabela 5.17 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{1-10} - M_{\min} = 773,4 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,35 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1904,2	0,86	0,574	0,407	10,489 8,982	3,09E10 9,58E08	3,24E-11 1,04E-09
Trem-45	2231,1	1,01	0,672	0,347	7,330 6,276	2,14E07 1,89E06	4,68E-08 5,30E-07
2eixos-16	1458,9	0,66	0,440	0,531	17,440 14,933	2,75E17 8,57E14	3,63E-18 1,17E-15
3eixos-23	1666,3	0,75	0,502	0,465	13,582 11,630	3,82E13 4,27E11	2,62E-14 2,34E-12
4eixos-33	1479,4	0,67	0,446	0,523	16,981 14,540	9,58E16 3,47E14	1,04E-17 2,88E-15
5eixos-41,5	1917,9	0,87	0,578	0,404	10,337 8,851	2,17E10 7,10E08	4,60E-1 1,41E-09
6eixos-48,5	1851,4	0,84	0,558	0,418	11,098 9,503	1,25E11 3,18E09	7,98E-12 3,14E-10
7eixos-56t	1645,9	0,74	0,496	0,471	13,900 11,902	7,94E13 7,97E11	1,26E-14 1,25E-12
8eixos-65,5	1849,0	0,84	0,557	0,419	11,126 9,527	1,34E11 3,36E09	7,48E-12 2,97E-10
9eixos-74	1764,3	0,80	0,532	0,439	12,189 10,437	1,55E12 2,74E10	6,47E-13 3,66E-11

Tabela 5.18 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{1-15} - M_{\min} = 1930,0 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,33 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	3846,3	0,66	0,439	0,502	16,445 14,081	2,79E16 1,21E14	3,59E-17 8,29E-15
Trem-45	4360,9	0,75	0,497	0,443	13,161 11,269	1,45E13 1,86E11	6,90E-14 5,38E-12
2eixos-16	3317,4	0,57	0,378	0,582	21,697 18,578	4,98E21 3,79E18	2,01E-22 2,64E-19
3eixos-23	3612,9	0,62	0,412	0,534	18,424 15,776	2,66E18 5,97E15	3,76E-19 1,68E-16
4eixos-33	3734,6	0,64	0,426	0,517	17,341 14,848	2,19E17 7,05E14	4,56E-18 1,42E-15
5eixos-41,5	4013,7	0,69	0,458	0,481	15,246 13,054	1,76E15 1,13E13	5,68E-16 8,83E-14
6eixos-48,5	3974,1	0,68	0,453	0,486	15,516 13,285	3,28E15 1,93E13	3,05E-16 5,19E-14
7eixos-56t	3644,3	0,62	0,416	0,530	18,133 15,526	1,36E18 3,36E15	7,36E-19 2,98E-16
8eixos-65,5	4092,5	0,70	0,467	0,472	14,730 12,613	5,37E14 4,10E12	1,86E-15 2,44E-13
9eixos-74	3965,1	0,68	0,452	0,487	15,578 13,339	3,79E15 2,18E13	2,64E-16 4,58E-14

Tabela 5.19 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{1-20} - M_{\min} = 3887,5 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,35 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	7002,8	0,63	0,422	0,555	18,962 16,236	9,16E18 1,72E16	1,09E-19 5,81E-17
Trem-45	7905,0	0,71	0,477	0,492	15,036 12,874	1,09E15 7,49E12	9,21E-16 1,34E-13
2eixos-16	6223,8	0,56	0,375	0,625	24,298 20,805	1,99E24 6,39E20	5,03E-25 1,57E-21
3eixos-23	6604,5	0,60	0,398	0,589	21,357 18,287	2,28E21 1,94E18	4,39E-22 5,16E-19
4eixos-33	6790,3	0,61	0,409	0,573	20,170 17,271	1,48E20 1,86E17	6,76E-21 5,36E-18
5eixos-41,5	7144,3	0,65	0,431	0,544	18,231 15,611	1,70E18 4,08E15	5,87E-19 2,45E-16
6eixos-48,5	7098,0	0,64	0,428	0,548	18,465 15,810	2,91E18 6,46E15	3,43E-19 1,55E-16
7eixos-56t	6729,7	0,61	0,406	0,578	20,542 17,589	3,49E20 3,89E17	2,87E-21 2,57E-18
8eixos-65,5	7373,8	0,67	0,445	0,527	17,151 14,686	1,42E17 4,85E14	7,06E-18 2,06E-15
9eixos-74	7270,9	0,66	0,438	0,535	17,621 15,088	4,18E17 1,22E15	2,39E-18 8,17E-16

Tabela 5.20 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{2b1-10} - M_{\min} = 682,3 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,24 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1813,1	0,63	0,421	0,376	13,543 11,596	3,49E13 3,95E11	2,86E-14 2,53E-12
Trem-45	2140,0	0,75	0,497	0,319	10,772 9,223	5,91E10 1,67E09	1,69E-11 5,98E-10
2eixos-16	1367,8	0,48	0,318	0,499	19,869 17,012	7,39E19 1,03E17	1,35E-20 9,72E-18
3eixos-23	1575,2	0,55	0,366	0,433	16,325 13,978	2,11E16 9,51E13	4,73E-17 1,05E-14
4eixos-33	1365,8	0,48	0,317	0,500	19,911 17,049	8,15E19 1,12E17	1,23E-20 8,93E-18
5eixos-41,5	1826,8	0,64	0,425	0,373	13,408 11,481	2,56E13 3,02E11	3,91E-14 3,31E-12
6eixos-48,5	1675,5	0,58	0,389	0,407	15,037 12,875	1,09E15 7,50E12	9,19E-16 1,33E-13
7eixos-56t	1554,8	0,54	0,361	0,439	16,614 14,226	4,11E16 1,68E14	2,43E-17 5,95E-14
8eixos-65,5	1716,0	0,60	0,399	0,398	14,569 12,475	3,71E14 2,98E12	2,70E-15 3,35E-13
9eixos-74	1673,2	0,58	0,389	0,408	15,064 12,899	1,16E15 7,29E12	8,63E-16 1,26E-13

Tabela 5.21 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{2b1-15} - M_{\min} = 1710,8 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,24 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	3701,9	0,51	0,341	0,462	17,882 15,312	7,62E17 2,05E15	1,31E-18 4,88E-16
Trem-45	4333,2	0,60	0,399	0,395	14,489 12,406	3,08E14 2,55E12	3,24E-15 3,92E-13
2eixos-16	3098,1	0,43	0,286	0,552	23,293 19,945	1,96E23 8,80E19	5,09E-24 1,14E-20
3eixos-23	3393,6	0,47	0,313	0,504	20,233 17,324	1,71E20 2,11E17	5,85E-21 4,74E-18
4eixos-33	3515,3	0,49	0,324	0,487	19,226 16,462	1,68E19 2,90E16	5,95E-20 3,45E-17
5eixos-41,5	3794,4	0,52	0,350	0,451	17,289 14,803	1,49E17 6,36E14	5,15E-18 1,57E-15
6eixos-48,5	3663,8	0,51	0,338	0,467	18,139 15,532	1,38E18 3,40E15	7,25E-19 2,94E-16
7eixos-56t	3328,7	0,46	0,307	0,514	20,821 17,828	6,63E20 6,73E17	1,51E-21 148E-18
8eixos-65,5	3834,5	0,53	0,353	0,4546	17,044 14,594	1,11E17 3,93E14	9,04E-18 2,5E-15
9eixos-74	3728,0	0,52	0,344	0,459	17,710 15,164	5,13E17 1,46E15	1,95E-18 6,85E-16

Tabela 5.22 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{2b1-20} - M_{\min} = 3466,8 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	6582,1	0,48	0,318	0,527	21,038 18,014	1,09E21 1,03E18	9,16E-22 9,68E-19
Trem-45	7484,3	0,54	0,361	0,463	17,365 14,869	2,32E17 7,39E14	4,32E-18 1,35E-15
2eixos-16	5803,1	0,42	0,280	0,597	26,097 21,346	1,25E26 2,22E22	7,99E-27 4,51E-23
3eixos-23	6183,3	0,45	0,299	0,561	23,305 19,955	2,02E23 9,01E19	4,95E-24 1,11E-20
4eixos-33	6369,6	0,46	0,308	0,544	22,178 18,900	1,51E22 9,77E18	6,63E-23 1,02E-19
5eixos-41,5	6723,6	0,49	0,325	0,516	20,351 17,425	2,24E20 2,66E17	4,46E-21 3,75E-18
6eixos-48,5	6677,3	0,48	0,323	0,519	20,570 17,613	3,72E20 4,10E17	2,69E-21 2,44E-18
7eixos-56t	6309,0	0,46	0,305	0,550	22,530 19,292	3,39E22 1,96E19	2,95E-23 5,11E-20
8eixos-65,5	6953,1	0,50	0,336	0,499	19,337 16,558	2,17E19 3,61E16	4,60E-20 2,77E-17
9eixos-74	6850,2	0,50	0,331	0,506	19,777 16,934	5,99E19 8,60E16	1,67E-20 1,16E-17

Tabela 5.23 – Dados Vida útil - Modelo: $V1_{2b1-10} - X_{\min} = 68,1 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,09 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	315,1	0,41	0,272	0,216	13,553 11,605	3,58E13 4,03E11	2,80E-14 2,48E-12
Trem-45	380,0	0,49	0,328	0,179	11,947 10,229	8,84E11 1,70E10	1,13E-12 5,90E-11
2eixos-16	280,2	0,36	0,242	0,243	14,617 12,516	4,14E14 3,28E12	2,42E-15 3,05E-13
3eixos-23	419,9	0,54	0,363	0,162	10,103 9,507	1,27E11 3,21E09	7,89E-12 3,11E-10
4eixos-33	332,6	0,43	0,287	0,205	13,082 11,201	1,21E13 1,59E11	8,28E-14 6,29E-12
5eixos-41,5	589,5	0,76	0,509	0,116	8,099 6,935	1,26E08 8,60E06	7,97E-09 1,16E-07
6eixos-48,5	589,5	0,76	0,509	0,116	8,099 6,935	1,26E08 8,60E06	7,97E-09 1,16E-07
7eixos-56t	419,9	0,54	0,363	0,162	11,103 9,507	1,27E11 3,21E09	7,89E-12 3,11E-10
8eixos-65,5	589,5	0,76	0,509	0,116	8,099 6,935	1,26E08 8,60E06	7,97E-09 1,16E-07
9eixos-74	419,9	0,54	0,363	0,162	11,103 9,507	1,27E11 3,21E09	7,89E-12 3,11E-10

Tabela 5.24 – Dados Vida útil - Modelo: $V1_{2b1-15} - X_{\min} = 167,4 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,10 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	650,0	0,38	0,256	0,258	14,636 12,532	4,33E14 3,40E12	2,31E-15 2,94E-13
Trem-45	775,5	0,46	0,305	0,216	12,939 11,079	8,69E12 1,20E11	1,15E-13 8,33E-12
2eixos-16	491,8	0,29	0,193	0,340	17,851 15,285	7,10E17 1,93E15	1,41E-18 5,19E-16
3eixos-23	688,4	0,41	0,271	0,243	14,067 12,045	1,17E14 1,11E12	8,57E-15 9,02E-13
4eixos-33	688,4	0,41	0,271	0,243	14,067 12,045	1,17E14 1,11E12	8,57E-15 9,02E-13
5eixos-41.5	935,1	0,55	0,368	0,179	11,242 9,626	1,75E11 4,23E09	5,72E-12 2,36E-10
6eixos-48,5	935,1	0,55	0,368	0,179	11,242 9,626	1,75E11 4,23E09	5,72E-12 2,36E-10
7eixos-56t	688,4	0,41	0,271	0,243	14,067 12,045	1,17E14 1,11E12	8,57E-15 9,02E-13
8eixos-65,5	935,1	0,55	0,368	0,179	11,242 9,626	1,75E11 4,23E09	5,72E-12 2,36E-10
9eixos-74	684,1	0,41	0,271	0,241	13,987 11,976	9,70E13 9,47E11	1,03E-14 1,06E-12

Tabela 5.25 – Dados Vida útil - Modelo: $V1_{2b1-20} - X_{\min} = 328,5 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,11 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1037,6	0,35	0,234	0,317	16,356 14,005	2,27E16 1,01E14	4,41E-17 9,89E-15
Trem-45	1276,8	0,43	0,288	0,257	13,988 11,977	9,72E13 9,48E11	1,03E-14 1,05E-12
2eixos-16	780,2	0,26	0,176	0,421	20772 17,786	5,92E20 6,11E17	1,69E-21 1,64E-18
3eixos-23	1025,4	0,35	0,232	0,320	16,506 14,133	3,20E16 1,36E14	3,12E-17 7,36E-15
4eixos-33	1025,4	0,35	0,232	0,320	16,506 14,133	3,20E16 1,36E14	3,12E-17 7,36E-15
5eixos-41.5	1340,3	0,45	0,303	0,245	13,485 11,546	3,05E13 3,53E11	3,28E-14 2,84E-12
6eixos-48,5	1340,3	0,45	0,303	0,245	13,485 11,546	3,05E13 3,53E11	3,28E-14 2,84E-12
7eixos-56t	1025,4	0,35	0,232	0,320	16,506 14,133	3,20E16 1,36E14	3,12E-17 7,36E-15
8eixos-65,5	1340,3	0,45	0,303	0,245	13,485 11,546	3,05E13 3,53E11	3,28E-14 2,84E-12
9eixos-74	1025,4	0,35	0,232	0,320	16,506 14,133	3,20E16 1,36E14	3,12E-17 7,36E-15

Tabela 5.26 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{2b1-10} - X_{\min} = 91,1 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,12 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	341,3	0,44	0,295	0,267	14,042 12,023	1,10E14 1,06E12	9,08E-15 9,48E-13
Trem-45	408,3	0,53	0,353	0,223	12,162 10,414	1,45E12 2,59E10	6,88E-13 3,85E-11
2eixos-16	318,6	0,40	0,267	0,295	15,190 13,007	1,55E15 1,02E13	6,45E-16 9,84E-14
3eixos-23	448,2	0,58	0,387	0,203	11,228 9,614	1,69E11 4,11E09	5,92E-12 2,43E-10
4eixos-33	359,6	0,47	0,311	0,253	13,447 11,540	3,00E13 3,47E11	3,33E-14 2,88E-12
5eixos-41,5	617,8	0,80	0,534	0,147	7,984 6,836	9,63E07 6,85E06	1,04E-08 1,46E-07
6eixos-48,5	617,8	0,80	0,534	0,147	7,984 6,836	9,63E07 6,85E06	1,04E-08 1,46E-07
7eixos-56t	448,2	0,58	0,387	0,203	10,228 9,614	1,69E11 4,11E09	5,92E-12 2,43E-10
8eixos-65,5	617,8	0,80	0,534	0,147	7,984 6,836	9,63E07 6,85E06	1,04E-08 1,46E-07
9eixos-74	448,2	0,58	0,387	0,203	10,228 9,614	1,69E11 4,11E09	5,92E-12 2,43E-10

Tabela 5.27 – Dados Vida útil - Modelo: $V2_{2b1-15} - X_{\min} = 219,3 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,13 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	702,1	0,41	0,276	0,312	15,368 13,159	2,33E15 1,44E13	4,29E-16 6,94E-14
Trem-45	839,0	0,49	0,330	0,261	13,243 11,339	1,75E13 2,18E11	5,71E-14 4,58E-12
2eixos-16	557,1	0,33	0,219	0,394	18,801 16,098	6,23E18 1,25E16	1,58E-19 7,97E-17
3eixos-23	751,9	0,44	0,296	0,292	14,515 12,429	3,27E14 2,68E12	3,05E-15 3,73E-13
4eixos-33	751,9	0,55	0,296	0,292	14,515 12,429	3,27E14 2,68E12	3,05E-15 3,73E-13
5eixos-41,5	998,7	0,59	0,393	0,220	11,359 9,726	2,29E11 5,32E09	4,38E-12 1,88E-10
6eixos-48,5	998,7	0,59	0,393	0,220	11,359 9,726	2,29E11 5,32E09	4,38E-12 1,88E-10
7eixos-56t	752,0	0,44	0,296	0,292	14,514 12,427	3,26E14 2,67E12	3,07E-15 3,74E-13
8eixos-65,5	998,7	0,59	0,393	0,220	11,359 9,726	2,29E11 5,32E09	4,38E-12 1,88E-10
9eixos-74	759,2	0,45	0,299	0,289	14,399 12,329	2,51E14 2,13E12	3,99E-15 4,69E-13

Tabela 5.28 – Dados Vida útil - Modelo: $V_{2b1-20} - X_{\min} = 420,8 \text{ kNm} - \sigma_{\min} = 0,14 \text{ kN/cm}^2$

Carga móvel	M máximo [kN.m]	σ_c máxima [kN/cm ²]	$\sigma_{C_{\max}}/f_{cm}$	$\sigma_{C_{\min}}/\sigma_{C_{\max}}$	Log N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	N ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)	Dano ($\beta=0,0685$) ($\beta=0,0800$)
Trem-36	1142,0	0,39	0,258	0,368	17,154 14,688	1,43E17 4,88E14	7,01E-18 2,05E-15
Trem-45	1339,4	0,45	0,302	0,314	14,847 12,713	7,03E14 5,16E12	1,42E-15 1,94E-13
2eixos-16	899,5	0,30	0,203	0,468	21,859 18,717	7,22E21 5,21E18	1,38E-22 1,92E-19
3eixos-23	1139,6	0,39	0,257	0,369	17,188 14,717	1,54E17 5,21E14	6,49E-18 1,92E-15
4eixos-33	1139,6	0,39	0,257	0,369	17,188 14,717	1,45E17 5,21E14	6,49E-18 1,92E-15
5eixos-41,5	1452,8	0,49	0,328	0,290	13,808 11,823	6,43E13 6,66E11	1,56E-14 1,50E-12
6eixos-48,5	1452,8	0,49	0,328	0,290	13,808 11,823	6,43E13 6,66E11	1,56E-14 1,50E-12
7eixos-56t	1139,6	0,39	0,257	0,369	17,188 14,717	1,54E17 5,21E14	6,49E-18 1,92E-15
8eixos-65,5	1432,8	0,9	0,324	0,294	13,981 11,971	9,56E13 9,35E11	1,05E-14 1,07E-12
9eixos-74	1139,6	0,29	0,257	0,369	17,188 14,717	1,54E17 5,21E14	6,49E-18 1,92E-15

Observa-se que alguns tipos de veículos reais provocam solicitações superiores àquelas provenientes do carregamento de projeto. Para as vigas V1, projetadas de acordo com o trem tipo 36 da NB-6/60, em todos os casos existem momentos maiores dos que os devidos ao trem tipo de projeto, sendo que nos balanços são muito maiores. Já para as vigas V2, projetadas atendendo ao trem tipo 45 da NBR 7188/84, somente nos balanços ocorrem momentos maiores do que de projeto. Confirmando as conclusões apresentadas por outros pesquisadores, citados anteriormente.

O veículo 5eixos-41,5 provoca momentos fletores maiores do que o trem tipo 36 em todos os modelos de vigas analisados. Os veículos 6eixos-48,5 e 8rod-65,5 provocam momentos aproximadamente iguais ao trem 36 para alguns modelos de vigas e superiores para outros modelos de vigas analisados. Sendo que para os balanços analisados, os momentos provocados são superiores inclusive para o carregamento do trem tipo 45.

Portanto, a passagem desses veículos causa dano maior do que o carregamento de projeto, e conseqüentemente, levam a uma diminuição da vida útil estimada.

5.7.1 Vida Útil de Fadiga de Projeto

A verificação dos limites de tensão de fadiga assegurou a vida útil de projeto, trem tipo 36 para a V1 e trem tipo 45 para a V2, acima dos 2.000.000 de ciclos para todos os modelos de vigas estudados. Isto é, fadiga de média a baixa intensidade. Porém ocorre uma significativa diferença na vida útil para as solicitações decorrentes do carregamento do trem tipo 36 para o trem tipo 45. Sendo que para as vigas de 10 metros de vão ($V1_{1-10}$) o número de ciclos fica abaixo de 2.000.000 para o trem tipo 45.

Para as vigas com modelos bi apoiados de 10 metros ($V1_{1-10}$, $V2_{1-10}$) as cargas móveis são o carregamento preponderante, muito maior relativamente ao peso próprio, levando-as a ter vida útil de fadiga de projeto menor em cada situação comparando com as demais.

Os gráficos das figuras 5.9 a 5.17 mostram as comparações de vida de projeto, para cada modelo, com os valores limites de β (0,0685 e 0,0800).

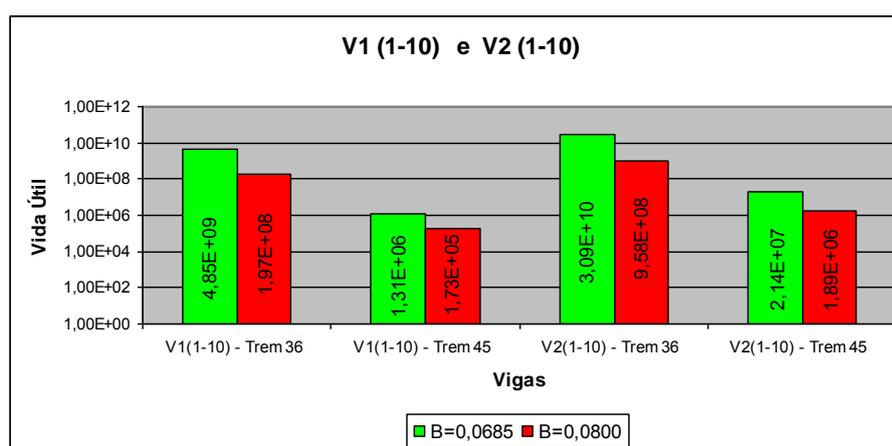


Figura 5.9 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$.

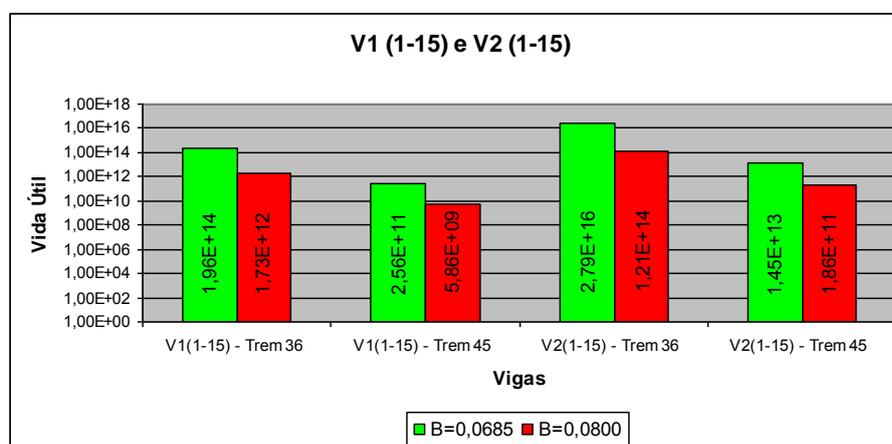


Figura 5.10 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas $V1_{1-15}$ e $V2_{1-15}$.

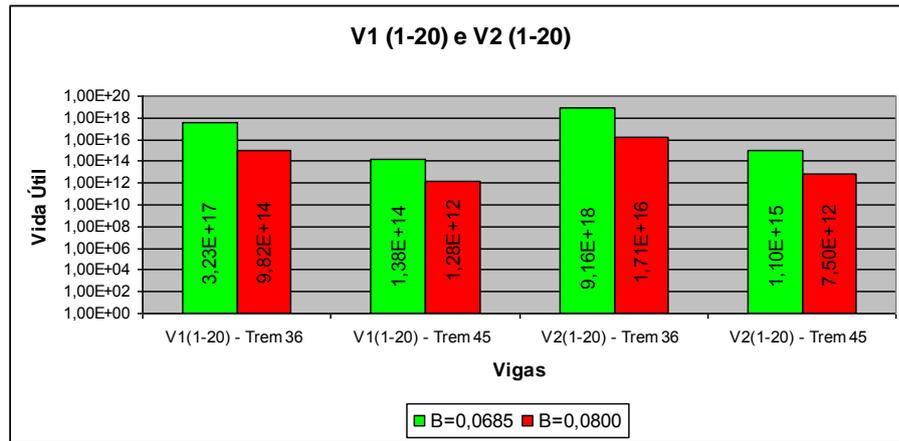


Figura 5.11 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas bi apoiadas V1₁₋₂₀ e V2₁₋₂₀.

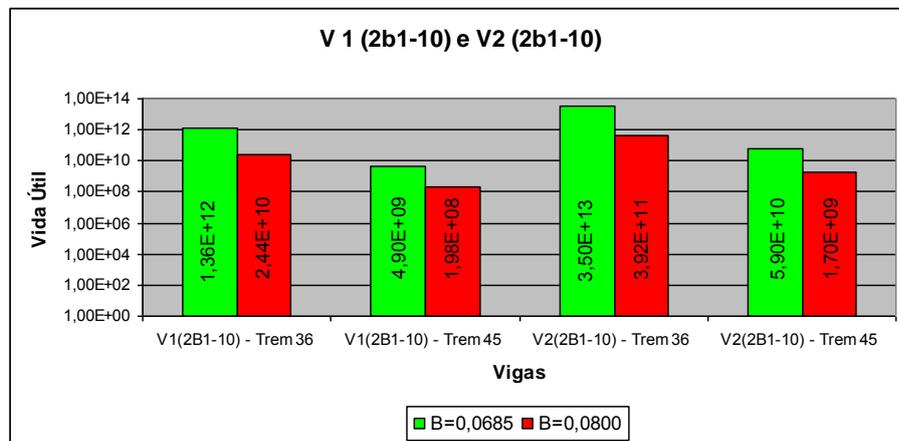


Figura 5.12 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1_{2b1-10} e V2_{2b1-10}.

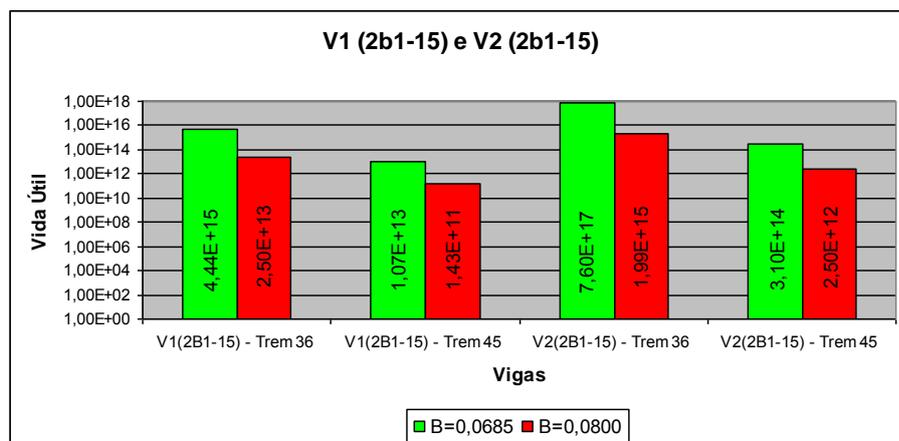


Figura 5.13 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1_{2b1-15} e V2_{2b1-15}.

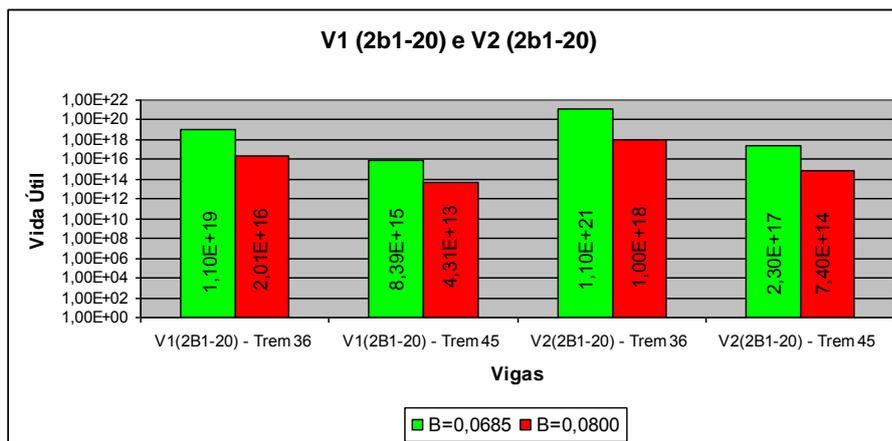


Figura 5.14 – Vida útil de fadiga de projeto, vigas com balanços V1_{2b1-20} e V2_{2b1-20}.

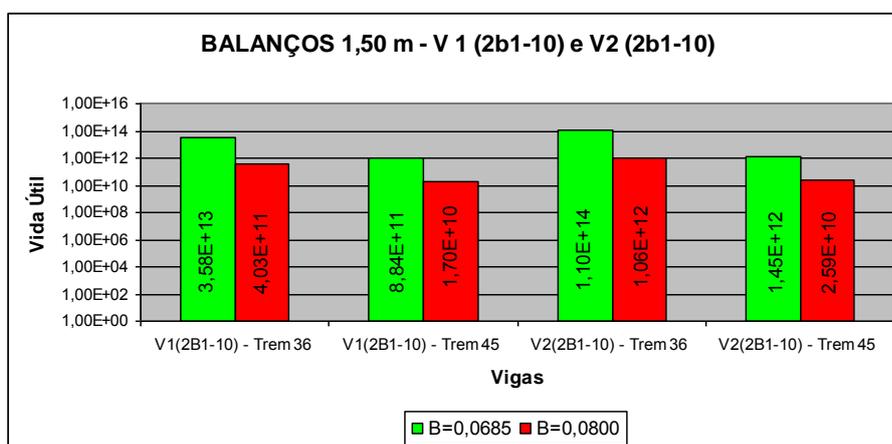


Figura 5.15 – Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1_{2b1-10} e V2_{2b1-10}.

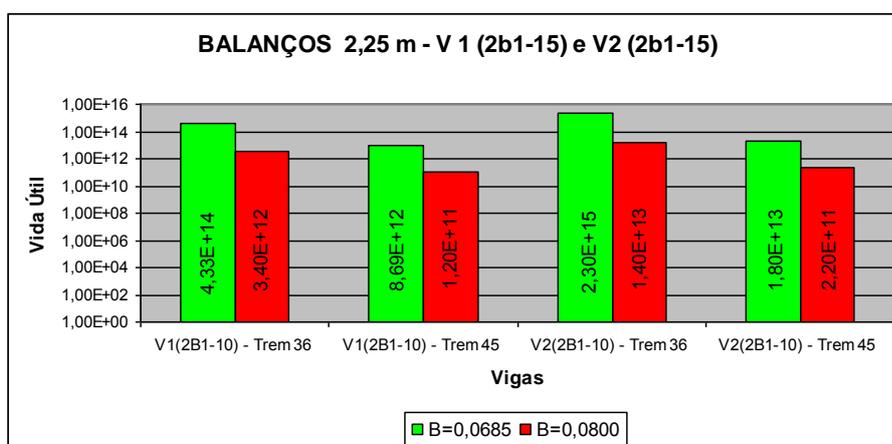


Figura 5.16 – Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1_{1b1-15} e V2_{2b1-15}.

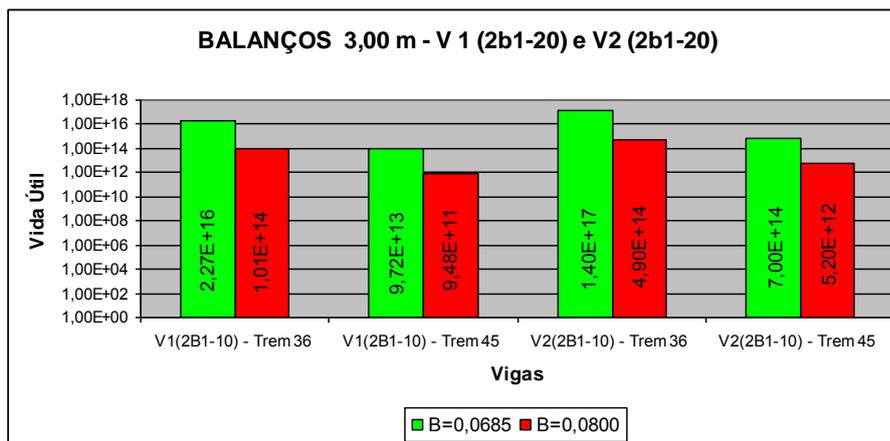


Figura 5.17 – Vida útil de fadiga de projeto, balanços V1_{2b1-20} e V2_{2b1-20}.

5.7.2 Vida Útil de Fadiga sob Espectro de Carga Real

Para a avaliação da situação real foi utilizado espectro de carga e intensidade de fluxo de veículos reais, obtidos através de dados coletados e registrados pela CONCEPA e pelo Posto de Monitoramento do DNIT, cujas tabelas estão apresentadas no Anexo B.

Os resultados dessa avaliação estão apresentados no Capítulo 6.

6. COMPARAÇÃO DOS DANOS POR FADIGA DEVIDO A TRÁFEGO REAL E CARREGAMENTO DE PROJETO

Neste capítulo são apresentadas verificações acerca da vida útil de fadiga esperada quando a estrutura padrão definida no capítulo 5 é submetida a um espectro de carga derivado de um fluxo real de veículos registrado numa das estradas mais importantes do Rio Grande do Sul, a BR 290, referentes a períodos de 2 a 9 anos. Os resultados são comparados aos que seriam obtidos quando se aplica o carregamento de projeto à mesma estrutura.

Foram analisados dados de fluxo de veículos provenientes de 4 fontes localizadas ao longo da BR 290. Nas quatro situações a avaliação da vida útil de fadiga foi efetuada através do princípio de acumulação de dano, considerando diferentes categorias de veículos pesados e adotando-se a regra de Palmgren-Miner, que supõe que o dano de um elemento sob qualquer nível de variação de tensão é aditivo.

6.1 DESCRIÇÃO DAS SITUAÇÕES DE ANÁLISE

Com o intuito de avaliar os danos derivados de fluxos reais de veículos em relação a situações de projeto se coletaram dados sobre fluxos de veículos em estradas gaúchas.

Os melhores dados obtidos foram provenientes da rodovia BR 290, uma das principais artérias de tráfego do Rio Grande do Sul, que une a região das praias à Argentina, passando por Porto Alegre, como indicado na figura 6.1. Pode-se notar na figura que a BR 290 tem grande extensão, atravessando o Rio Grande do Sul de leste a oeste. No primeiro trecho, conhecido como Free Way, a rodovia BR 290 tem características de via expressa e atravessa seis municípios (Osório, Santo Antonio da Patrulha, Glorinha, Gravataí, Cachoeirinha e Porto Alegre), no segundo trecho, coincidente com a rodovia BR 116 e conhecido como Travessia Getúlio Vargas, passa por Porto Alegre e Eldorado do Sul. Depois segue até a fronteira com a Argentina, passando por inúmeras cidades, entre as quais São Gabriel, Rosário do Sul, Alegrete e chegando a Uruguaiana.



Figura 6.1 – Rodovias Federais no Rio Grande do Sul (Fonte: Ministério dos Transportes).

A maior parte dos dados obtidos correspondente a um registro de 9 anos efetuado em 3 pedágios localizados em trechos sob administração da Concessionária CONCEPA, denominados postos de coleta de dados P11, P21 e P31, indicados na figura 6.2, que mostra a localização dos mesmos no mapa rodoviário do Rio Grande do Sul. Como indicado na tabela 6.1, dois deles estão localizados entre Porto Alegre e Osório, recebendo todo o tráfego turístico e de carga que desce pela BR 101. O terceiro está localizado na saída de Porto Alegre para a fronteira e captura o fluxo de carga internacional e de turistas argentinos.

Um quarto grupo de dados referente a esta rodovia foi obtido a partir de 2 anos de registro do Posto de Monitoramento do DNIT (posto de coleta de dados P85), situado em São Gabriel, no meio do estado, também indicado na figura 6.2.



Figura 6.2 – Mapa – Postos de coleta de dados (www.transporte.gov.br).

Tabela 6.1 – Relação da Situação e Localização dos Postos de Coleta de Dados.

Situação	Localização
1	Posto de pedágio P11 – situado em Santo Antonio da Patrulha, BR 290 - km 19.
2	Posto de pedágio P21 – situado em Gravataí, BR 290 - km 77.
3	Posto de pedágio P31 – situado em Eldorado do Sul, BR 290 – km 110.
4	Posto de Monitoramento P85 – situado em São Gabriel, BR 290 – km 408.

Para consideração dos danos por fadiga referentes a estes fluxos foram adotados os seguintes procedimentos:

- Análise dos dados acerca do fluxo de tráfego mensal, disponibilizados pela CONCEPA (P11, P21 e P31), e pelo DNIT (P85);
- Montagem dos espectros de carga a partir dos dados de fluxo. Cabe salientar que foram desprezados os espectros gerados por veículos leves ($P < 30\text{kN}$), atendendo ao prescrito na norma brasileira;

- c) Composição do dano ao longo do período de tempo de cada espectro, correspondente a nove anos (entre 2000 e 2008), para os dados da CONCEPA e dois anos e meio (a partir de 2000), para os dados do DNIT.

6.2 ANÁLISE DOS DADOS DE FLUXO REAL DE VEÍCULOS

As tabelas 6.2 a 6.5 apresentam os registros referentes ao número de passagens anuais (ou semestrais, no caso da tabela 6.5) de veículos, por categoria, obtidos de cada posto de coleta de dados. Para montagem destas tabelas os veículos foram agrupados em categorias, conforme explicado no capítulo 5, usando o código vigente nas planilhas de dados da CONCEPA e do DNIT. Para fins de conhecimento, no Anexo B são apresentadas as tabelas completas, com os dados coletados mensalmente nos quatro postos de coleta de dados.

Tabela 6.2 – Registro de fluxo de veículos anual, Situação 1 – P11.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO13+14	TOTAL (Veículos/ano)
2000	203162	229137	52047	149739	39818	3122	30	41	677096
2001	213840	235278	62834	150396	47436	6815	38	310	716947
2002	195178	204111	65648	143072	48532	10201	39	924	667705
2003	185612	198563	62288	149228	49623	11015	826	1782	658937
2004	174731	232844	66392	164893	55788	17844	112	3869	716473
2005	173371	219176	67645	159841	53115	20711	103	5584	699546
2006	157270	232499	63686	175896	63845	27945	136	4320	725597
2007	151957	265167	55633	217217	88846	40613	17	1960	821410
2008	127925	243037	51409	208066	105024	38781	103	7250	781595

Tabela 6.3 – Registro de fluxo de veículo anual, Situação 2 – P21.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO13+14	TOTAL (Veículos/ano)
2000	517823	445578	105349	226576	66595	4121	92	52	1366186
2001	534363	427741	114385	226859	76111	9466	606	279	1389810
2002	517118	392122	115993	214318	78404	14911	848	903	1334617
2003	492815	380157	114594	228422	80609	19690	202	1818	1318307
2004	436364	394888	117972	257258	97370	37883	12263	20117	1374115
2005	460564	400916	134210	240142	89586	38468	5455	11436	1380777
2006	430296	444794	111771	278454	108590	54678	344	13063	1441990
2007	411640	512231	87943	336857	146889	62411	26	2605	1560602
2008	385341	499298	87329	318270	180086	56023	289	10468	1537104

Tabela 6.4 – Registro de fluxo de veículo anual, Situação 3 – P31.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO13+14	TOTAL (Veículos/ano)
2000	358857	166733	79788	119982	29028	1609	77	160	756234
2001	413919	188275	88045	132018	33716	4472	82	510	861037
2002	388928	165557	79123	105178	31641	5298	70	774	776569
2003	360199	169483	73933	140138	46100	9044	131	1593	800621
2004	295226	177523	66995	149721	42682	10339	81	1229	743796
2005	272444	180137	70727	143549	52300	8766	61	1296	729280
2006	267885	207885	68124	168601	66382	11287	44	4199	794407
2007	226446	221185	24261	194326	99333	28494	12	1306	795363
2008	214492	211091	24978	173481	109145	25904	179	5324	764594

Tabela 6.5 – Registro de fluxo de veículo anual, Situação 4 – P85.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO13+14	TOTAL (Veículos/ano)
2000-1	14845	20288	6143	12216	1727	0	0	0	118592
2000-2	16781	22783	6295	15488	2526	0	0	0	
2001-1	18068	27978	7099	14822	2895	355	4	0	138333
2001-2	21062	59532	7588	16649	3211	696	17	8	
2002-1	19574	25986	8768	12548	2490	483	6	24	(72.981 * 2)

Observa-se, analisando as tabelas, que, em todos os postos de coleta, uma tendência de crescimento no número de passagens de veículos pesados na ligação de Porto Alegre com a fronteira¹ (postos P31 e P85) e certa estabilidade no tráfego da free-way (postos P11 e P21), como mostram a tabela 6.6 e o gráfico da figura 6.3.

Tabela 6.6 – Variação Anual de Passagem de Veículos e Variação Média no Período

	P11	P21	P31	P85
2000	-	-	-	-
2001	+ 5,89 %	+ 1,73 %	+ 13,86 %	+ 16,65 %
2002	- 6,87 %	- 3,97 %	- 9,81 %	+ 5,51 %
2003	- 1,31 %	- 1,22 %	+ 3,10 %	-
2004	+ 8,73 %	+ 4,23 %	- 7,10 %	-
2005	- 2,36 %	+ 0,48 %	- 1,95 %	-
2006	+ 3,72 %	+ 4,43 %	+ 8,93 %	-
2007	+ 13,20 %	+ 8,23 %	+ 0,12 %	-
2008	- 4,85 %	- 1,51 %	- 3,87 %	-
Média	+ 2,02 %	+ 1,55 %	+ 0,41 %	+ 11,08 %

¹ Para fins desta análise os dados referentes ao primeiro semestre de 2002 do posto P85 do DNIT foram multiplicados por dois, visando estimar qual seria o número de passagens anuais. Este procedimento se justifica como cenário mais favorável por que no segundo semestre, em geral, verifica-se um número igual ou maior de passagens do que no primeiro semestre.

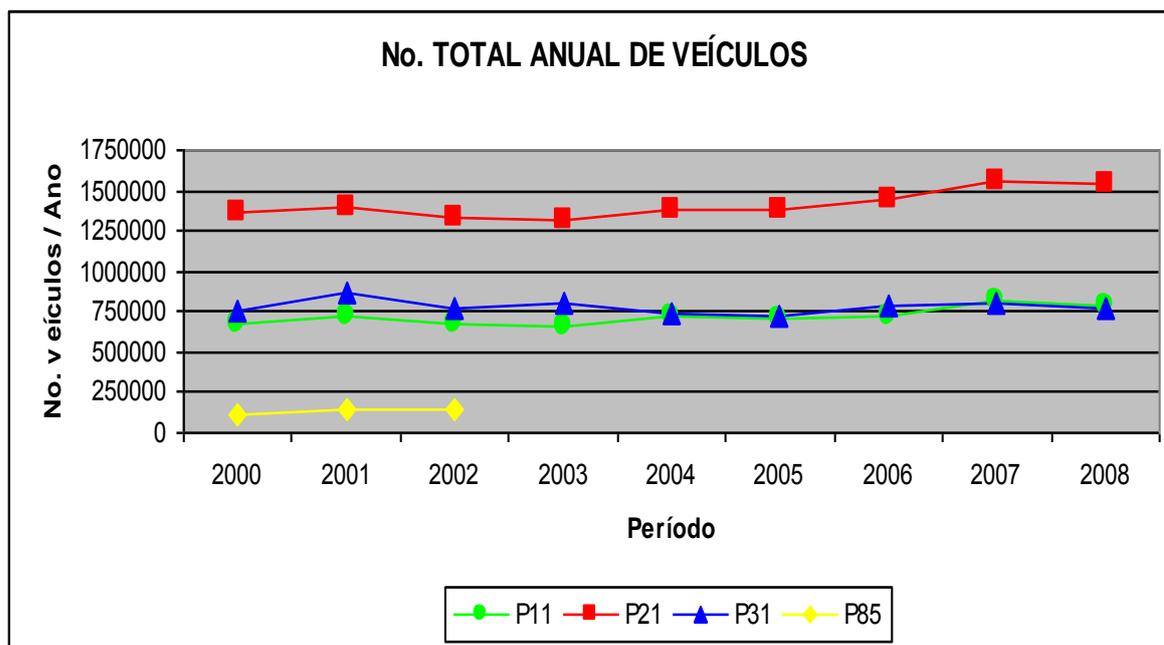


Figura 6.3 – Fluxo de tráfego - registro de veículos pesados por ano no período.

Observa-se que o fluxo de veículos pesados registrado no P21 é mais elevado do que nos postos de coleta de dados P11 e P31. Já no P85 o nível de fluxo de veículos fica muito abaixo dos demais, indicando um trecho de menor tráfego ou menor controle da passagem de veículos.

Com base nos dados, foi determinada a taxa de variação de cada tipo de veículo pesado em relação ao fluxo total anual, isto é, percentual médio na distribuição, para os quatro postos de coleta de dados, tabela 6.7. Os três postos da CONCEPA mostram tendência semelhantes para o intervalo de 9 anos obtido, com redução dos veículos menores (de 2 a 4 eixos) e aumento do fluxo de veículos maiores (5 a 9 eixos). É interessante notar que o fluxo de veículos de 8 e 9 eixos é muito pequeno.

Tabela 6.7 – Variação Média Anual de Distribuição dos Tipos de Veículos no Fluxo

	2 eixos C02	3 eixos C04	4 eixos C06	5 eixos C07	6 eixos C08	7 eixos C011	8 eixo C012	9 eixos C013+14
P11	-1,70%	-0,34%	-0,14%	+0,56%	+0,94%	+0,56%	0,00%	+0,12%
P21	-1,60%	-0,02%	-0,25%	+0,52%	+0,86%	+0,42%	0,00%	+0,07%
P31	-2,43%	+0,70%	-0,91%	+0,85%	+1,30%	+0,40%	+0,01%	+0,08%
P85	+0,73%	+0,35%	+1,04%	-2,42%	-0,09%	+0,36%	+0,01%	+0,02%

Os dados referentes ao posto de coleta P85 diferem dos demais, indicando crescimento no número de veículos pesados com 2 a 4 eixos. Esta diferença pode ser ocasionada pela natureza mais rural do tráfego na região deste posto, agregado ao fato de que os dados, neste caso, são referentes a um período de tempo menor e mais antigo (2000-2002).

Os espectros de carregamento gerados a partir da consideração dos dados de fluxos de tráfegos para cada posto de coleta estão apresentados nas figuras 6.4 a 6.7. Observa-se que os veículos com mais eixos começam a se tornar mais frequentes a partir de 2003.

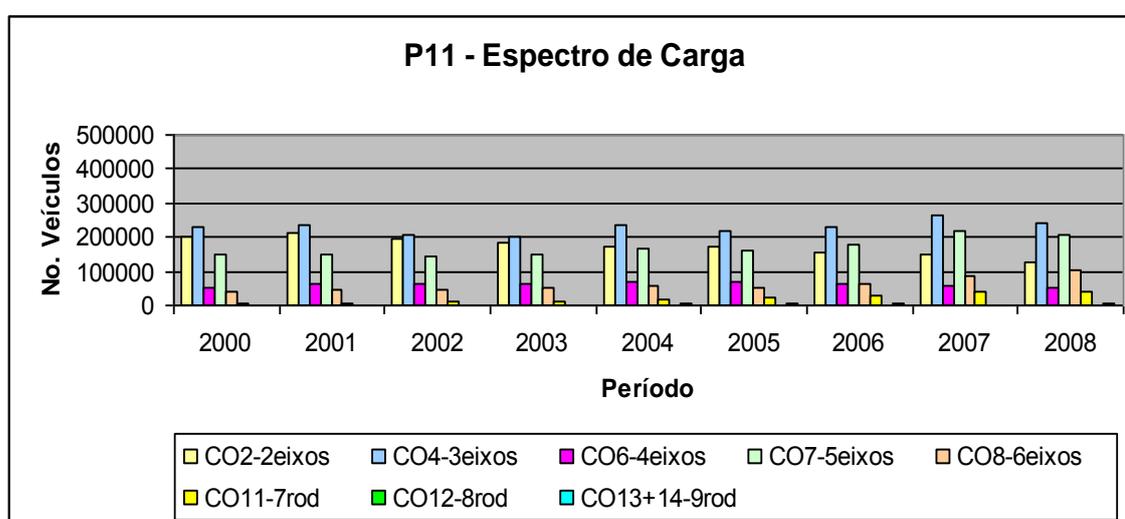


Figura 6.4 – Espectro de carga Situação 1 - P11 (CONCEPA).

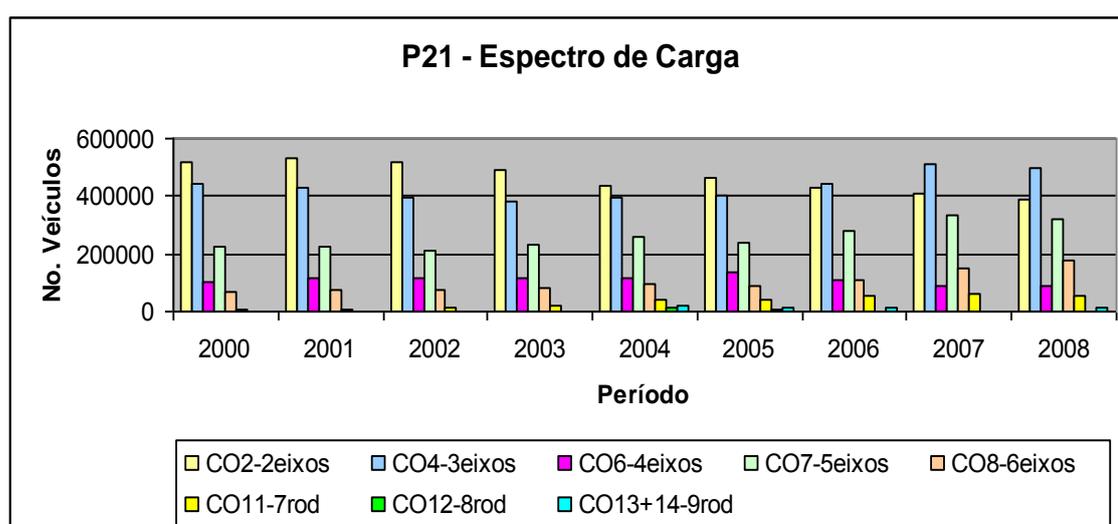


Figura 6.5 – Espectro de carga Situação 2 – P21 (CONCEPA).

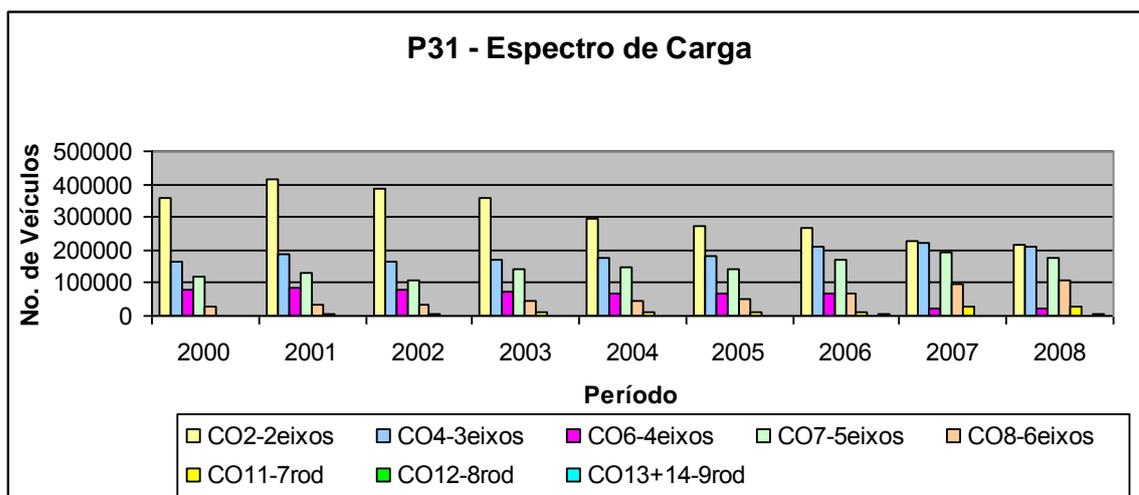


Figura 6.6 – Espectro de carga Situação 3 – P31 (CONCEPA).

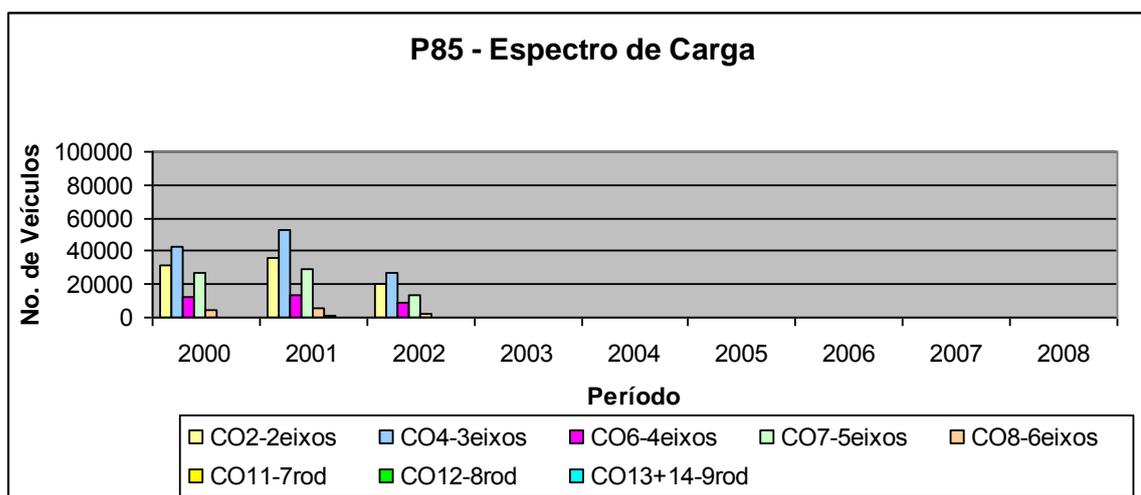


Figura 6.7 – Espectro de carga Situação 4 – P85 (DNIT).

O aumento geral do número de passagens de veículos pesados, associado à tendência de incremento de veículos mais pesados e com mais eixos (que se torna notável a partir de 2003) resulta, como discutido no capítulo anterior, numa exposição mais frequente da estrutura a solicitações iguais ou maiores do que as esperadas para o trem tipo de 36t, ocasionando um acúmulo mais rápido de danos devido à fadiga, o que, conseqüentemente, encurta a vida útil esperada do elemento. Nas tabelas 6.8 a 6.11 se apresenta a evolução percentual da quantidade de veículos de cada categoria ao longo do período de registro, para cada posto de coleta. Além disto, para fins de ilustração, se apresenta a taxa de crescimento média, ao longo do período como um todo, além da variação média anual.

Tabela 6.8 - Percentuais de tipo de veículo/ano – P11.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO1314
2000	30,00%	33,84%	7,69%	22,11%	5,88%	0,46%	0,00%	0,01%
2001	29,83%	32,82%	8,76%	20,98%	6,62%	0,95%	0,01%	0,04%
2002	29,23%	30,57%	9,83%	21,43%	7,27%	1,53%	0,01%	0,14%
2003	28,17%	30,13%	9,45%	22,65%	7,53%	1,67%	0,13%	0,27%
2004	24,39%	32,50%	9,27%	23,01%	7,79%	2,49%	0,02%	0,54%
2005	24,78%	31,33%	9,67%	22,85%	7,59%	2,96%	0,01%	0,80%
2006	21,67%	32,04%	8,78%	24,24%	8,80%	3,85%	0,02%	0,60%
2007	18,50%	32,28%	6,77%	26,44%	10,82%	4,94%	0,00%	0,24%
2008	16,37%	31,10%	6,58%	26,62%	13,44%	4,96%	0,01%	0,93%
Média (9 anos)	24,77%	31,85%	8,53%	23,37%	8,41%	2,65%	0,02%	0,40%
Δ médio	-1,7%	-0,34%	-0,14%	+0,56%	+0,94%	+0,56%	0,00%	0,12%

Tabela 6.9 - Percentuais de tipo de veículo/ano – P 21.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO1314
2000	37,90%	32,61%	7,71%	16,58%	4,87%	0,30%	0,01%	0,00%
2001	38,45%	30,78%	8,23%	16,32%	5,48%	0,68%	0,04%	0,02%
2002	38,75%	29,38%	8,69%	16,06%	5,87%	1,12%	0,06%	0,07%
2003	37,38%	28,84%	8,69%	17,33%	6,11%	1,49%	0,02%	0,14%
2004	31,76%	28,74%	8,59%	18,72%	7,09%	2,76%	0,89%	1,46%
2005	33,36%	29,04%	9,72%	17,39%	6,49%	2,79%	0,40%	0,83%
2006	29,84%	30,85%	7,75%	19,31%	7,53%	3,79%	0,02%	0,91%
2007	26,38%	32,82%	5,64%	21,59%	9,41%	4,00%	0,00%	0,17%
2008	25,07%	32,48%	5,68%	20,71%	11,72%	3,64%	0,02%	0,68%
Média (9 anos)	33,21%	30,61%	7,86%	18,22%	7,17%	2,29%	0,16%	0,48%
Δ médio	-1,60%	-0,02%	-0,25%	+0,52%	+0,86%	+0,42%	0,00%	+0,07%

Tabela 6.10 - Percentuais de tipo de veículo/ano – P31.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos CO7	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO1314
2000	47,45%	22,05%	10,55%	15,87%	3,84%	0,21%	0,01%	0,02%
2001	48,07%	21,87%	10,23%	15,33%	3,92%	0,52%	0,01%	0,06%
2002	50,08%	21,32%	10,19%	13,54%	4,07%	0,68%	0,01%	0,10%
2003	44,99%	21,17%	9,23%	17,50%	5,76%	1,13%	0,02%	0,20%
2004	39,69%	23,87%	9,01%	20,13%	5,74%	1,39%	0,01%	0,17%
2005	37,36%	24,70%	9,70%	19,68%	7,17%	1,20%	0,01%	0,18%
2006	33,72%	26,17%	8,58%	21,22%	8,36%	1,42%	0,01%	0,53%
2007	28,47%	27,81%	3,05%	24,43%	12,49%	3,58%	0,00%	0,16%
2008	28,05%	27,61%	3,27%	22,69%	14,27%	3,39%	0,02%	0,70%
Média (9 anos)	39,77%	24,06%	8,20%	18,93%	7,29%	1,50%	0,01%	0,23%
Δ médio	-2,43%	+0,70%	-0,91%	+0,85%	+1,30%	+0,40%	0,01%	+0,08%

Tabela 6.11 - Percentuais de tipo de veículo/ano – P85.

ANO	2 eixos CO2	3 eixos CO4	4 eixos CO6	5 eixos C07	6 eixos CO8	7 eixos CO11	8 eixos CO12	9 eixos CO1314
2000	26,67%	36,32%	10,49%	22,94%	3,59%	0,00%	0,00%	0,00%
2001	26,11%	38,37%	9,76%	20,96%	4,07%	0,71%	0,01%	0,01%
2002	28,14%	37,03%	12,57%	18,10%	3,41%	0,71%	0,01%	0,03%
Média (2,5 anos)	26,97%	37,24%	10,94%	20,67%	3,69%	0,47%	0,01%	0,01%
Δ médio	+0,73%	+0,35%	+1,04%	-2,42%	-0,09%	+0,36%	+0,01%	+0,02%

Pela análise dos dados no período verifica-se que a maioria dos veículos pesados, em todos os postos, apresentam 2 ou 3 eixos, havendo ainda um percentual significativo de veículos de 5 eixos. Nos postos da CONCEPA se observa uma tendência de redução dos veículos de 2 eixos e incremento dos veículos maiores, sendo notável o crescimento dos veículos de 6 eixos. Esta tendência não se verifica nos dados mais antigos do posto do DNIT.

De forma geral, o percentual de veículos que causam dano igual ou superior ao trem 36t (5, 6, 8 e 9 eixos) é significativo, atingindo em média aproximadamente 25% do fluxo total de veículos.

As figuras 6.8 a 6.11 mostram os histogramas de frequência devido ao tráfego de veículos de cada classe em relação ao número total de veículos contabilizado por ano nos postos de coleta.

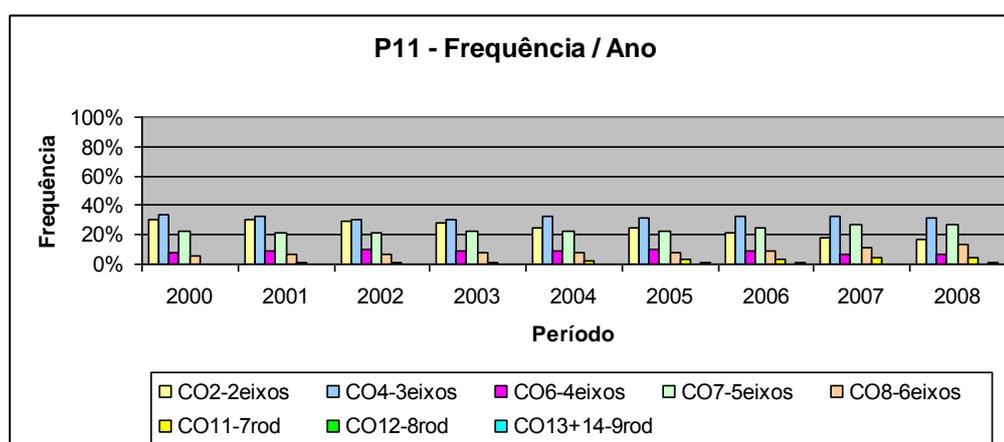


Figura 6.8 – Distribuição de frequência do tráfego real por classe de veículo, P11.

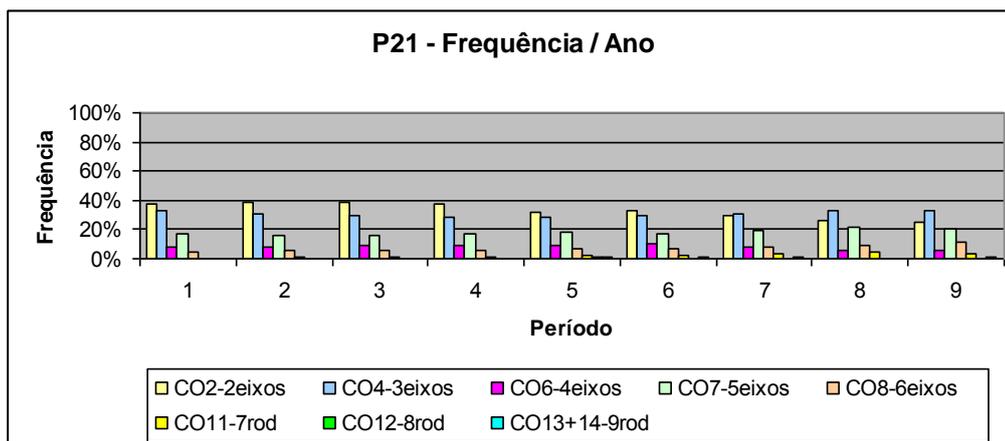


Figura 6.9 – Distribuição de frequência do tráfego real por classe de veículo, P21.

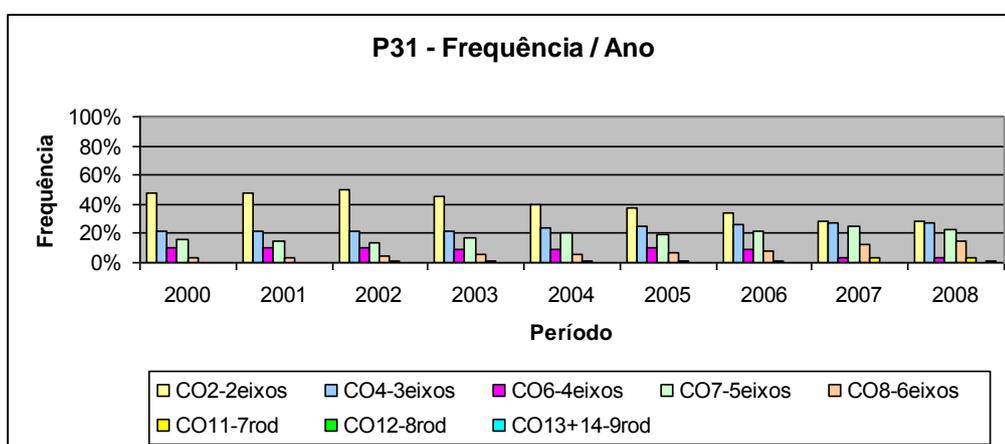


Figura 6.10 – Distribuição de frequência do tráfego real por classe de veículo, P31.

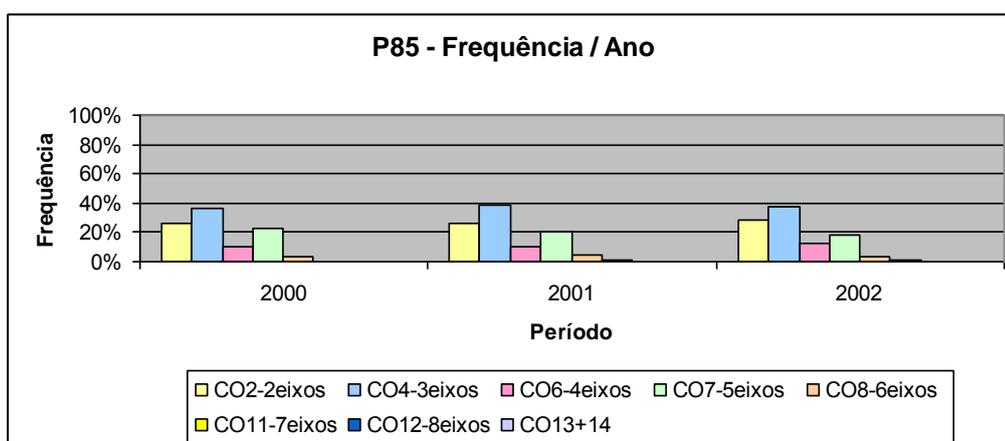


Figura 6.11 – Distribuição de frequência do tráfego real por classe de veículo, P85.

6.3 ANÁLISE DOS DANOS POR FADIGA ASSOCIADOS AOS ESPECTROS DE CARGA REAL

Nesta seção se avalia o dano acumulado esperado devido à ação de diferentes espectros de carga, representativos do fluxo de veículos de cada uma das situações analisadas sobre as vigas mais afetadas pelo carregamento, como explicado no capítulo 5.

Para subsidiar a análise foram tomadas como base as tabelas 5.11 a 5.28, que definem o dano provocado pela passagem de cada tipo de veículo. Estes dados foram usados para montar os histogramas de dano acumulado que representam o percentual de vida útil de fadiga consumido, para cada modelo de viga, nas diferentes situações consideradas.

6.3.1 Vigas bi apoiadas Tipo V1 e Tipo V2

Os histogramas das figuras 6.12 a 6.17 mostram o percentual acumulado de vida útil de fadiga consumido durante o período considerado, para cada uma das vigas padrão definidas no capítulo 5 (vigas tipo V1 e tipo V2, com 10, 15 e 20 metros de vão), para as diferentes situações de fluxo de tráfego analisadas (P11, P21, P31 e P85).

A análise mostra que, para as vigas bi apoiadas tipo V1 e V2, no período de tempo considerado, tomando o espectro de carga das 4 situações e os veículos com seu peso nominal, sem excesso de carga, a probabilidade de consumo de vida útil, utilizando-se o processo de cálculo apresentado no capítulo anterior, atingiria, no máximo, 1% ao ano. Estes são resultados positivos, pois indicariam que os elementos atingiriam vidas úteis de fadiga elevadas, possivelmente superiores aos 100 anos, mantidas as condições de tráfego atuais. De fato, para as vigas com vãos de 15 e 20 metros, o dano provocado pelo espectro registrado no período de análise causa um consumo de vida útil praticamente desprezível. Somente para as vigas com vão de 10 metros o consumo de vida útil é um pouco mais elevado.

Para fins de comparação foram determinados os danos por fadiga considerando os valores limites do intervalo de β (0,0685 e 0,0800), representativos dos dois extremos (mais favorável e mais desfavorável). Verifica-se que este é um parâmetro pouco conhecido, cujo valor muitas vezes não se conhece, mas que é extremamente importante nas simulações.

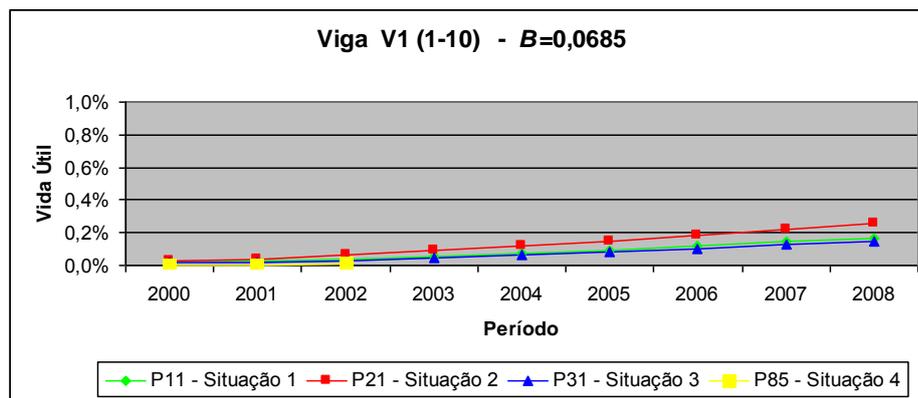
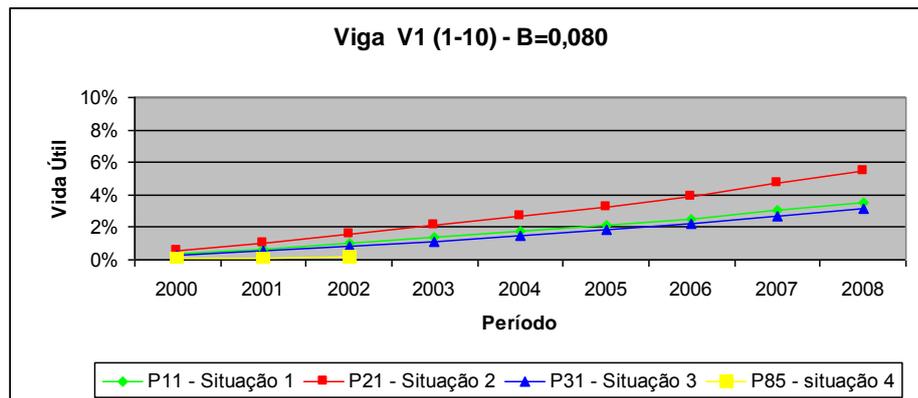


Figura 6.12 – Vida útil de fadiga consumida no período, V1₁₋₁₀.

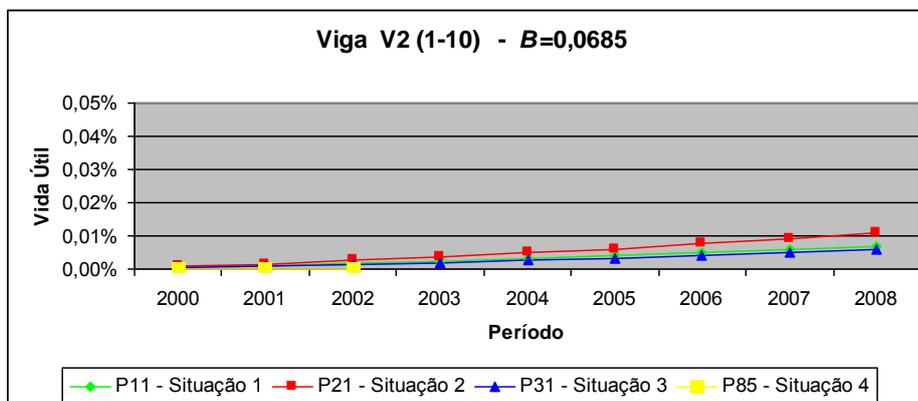
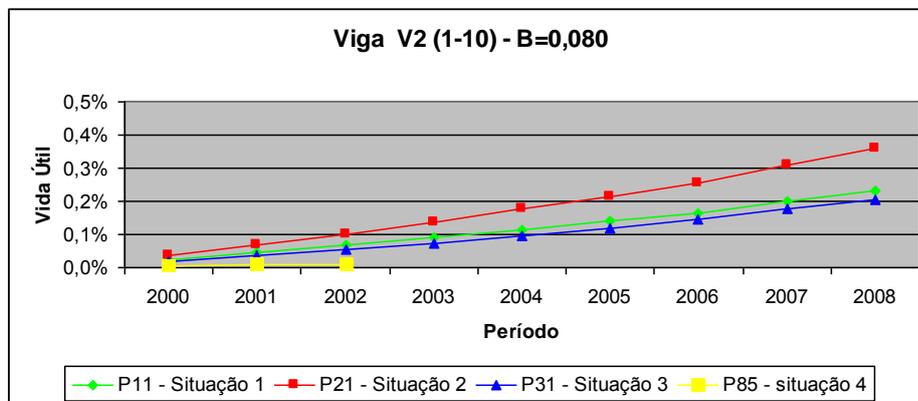


Figura 6.13 – Vida útil de fadiga consumida no período, V2₁₋₁₀

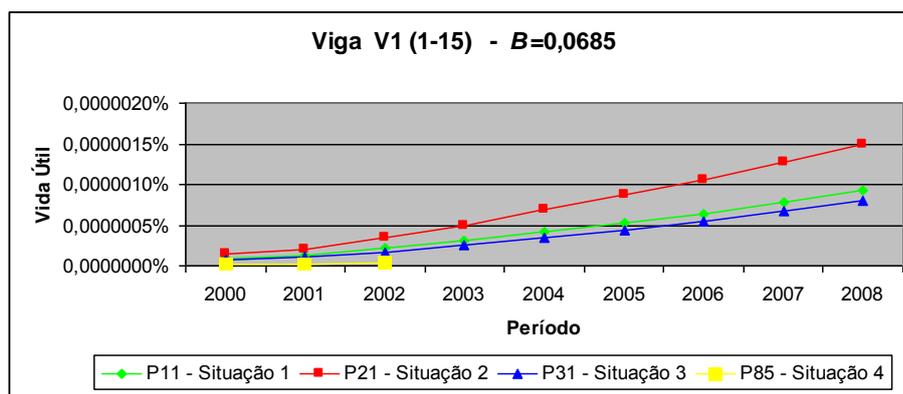
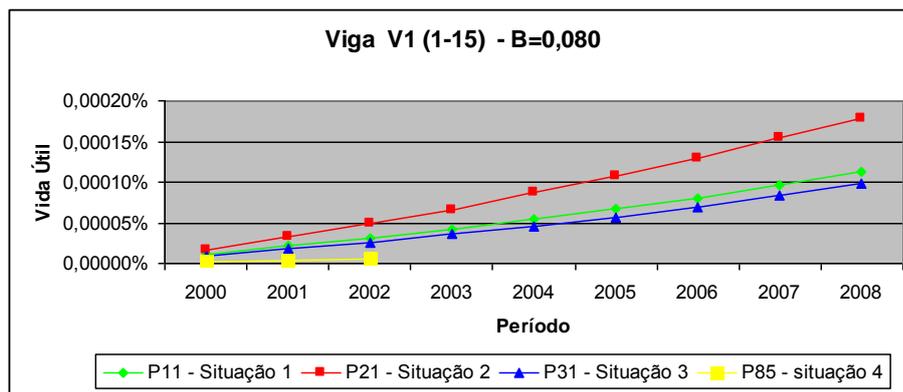


Figura 6.14 – Vida útil de fadiga consumida no período, V1₁₋₁₅.

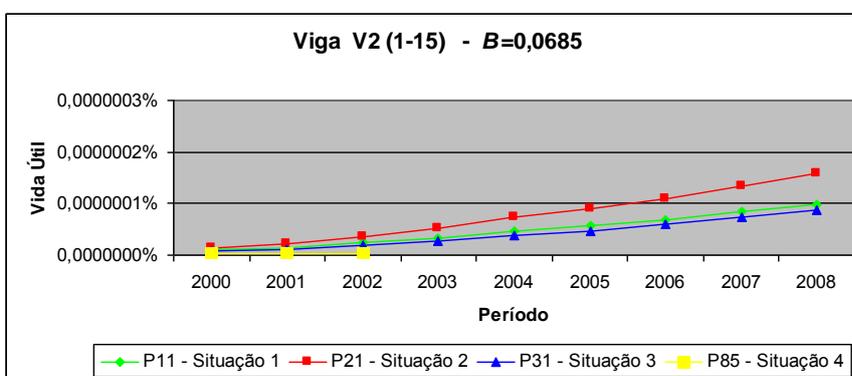
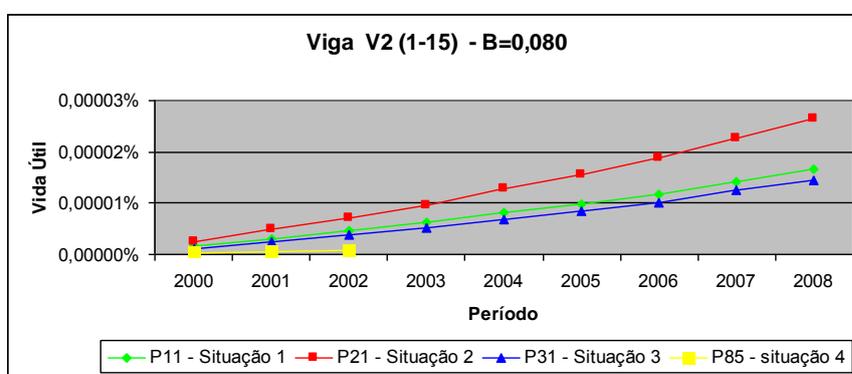


Figura 6.15 – Vida útil de fadiga consumida no período, V2₁₋₁₅.

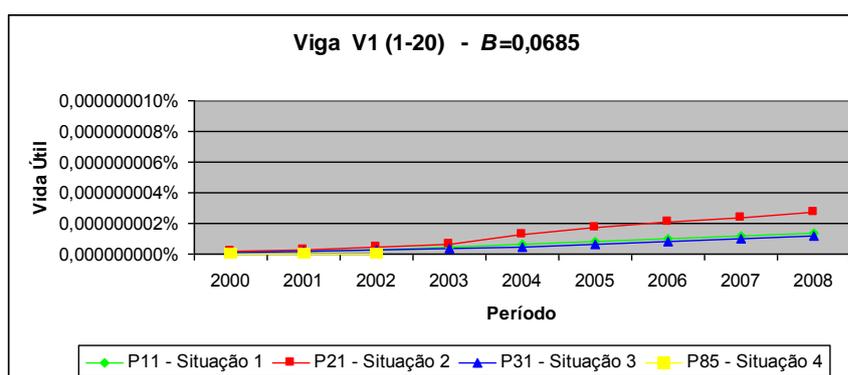
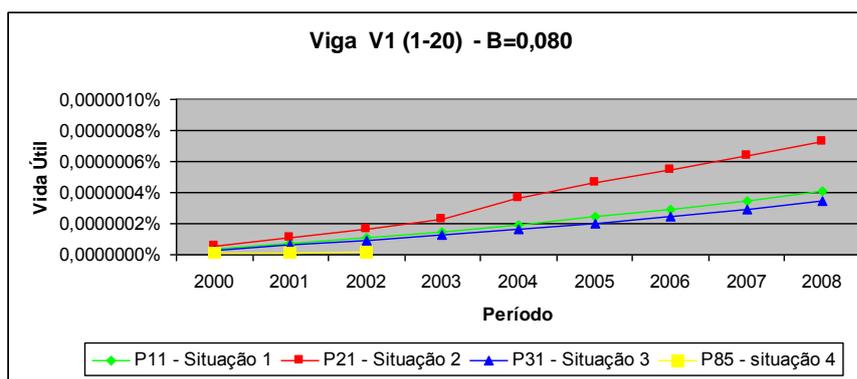


Figura 6.16 – Vida útil consumida no período, V1₁₋₂₀.

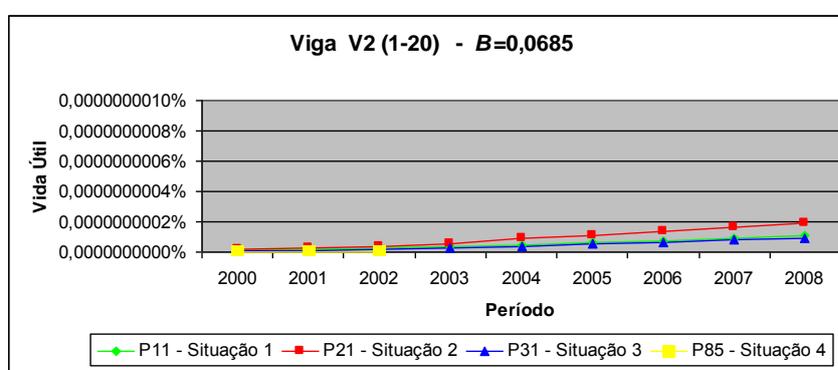
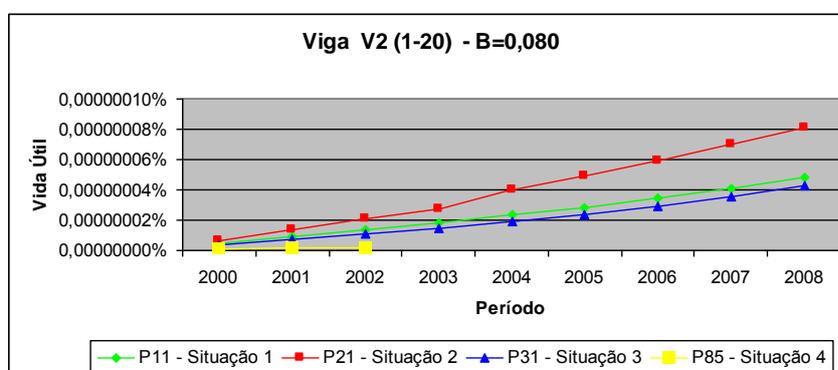


Figura 6.17 – Vida útil consumida no período, V2₁₋₂₀.

Os valores numéricos que expressam o consumo de vida útil acumulado no período, esta apresentado nas tabelas 6.12 e 6.13.

Tabela 6.12 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, V1₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,017%	0,343%	0,026%	0,522%	0,014%	0,273%	0,003%	0,061%
2001	0,024%	0,690%	0,037%	1,050%	0,018%	0,574%	0,004%	0,126%
2002	0,041%	1,023%	0,062%	1,551%	0,031%	0,817%	0,005%	0,156%
2003	0,058%	1,370%	0,089%	2,084%	0,047%	1,142%	-	-
2004	0,078%	1,753%	0,120%	2,696%	0,065%	1,486%	-	-
2005	0,096%	2,125%	0,148%	3,262%	0,082%	1,821%	-	-
2006	0,117%	2,536%	0,181%	3,918%	0,102%	2,218%	-	-
2007	0,143%	3,048%	0,222%	4,718%	0,125%	2,686%	-	-
2008	0,168%	3,550%	0,261%	5,495%	0,147%	3,115%	-	-

Tabela 6.13 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,001%	0,022%	0,001%	0,034%	0,001%	0,018%	0,0001%	0,004%
2001	0,001%	0,045%	0,002%	0,069%	0,001%	0,038%	0,0002%	0,008%
2002	0,002%	0,067%	0,003%	0,101%	0,001%	0,053%	0,0003%	0,010%
2003	0,002%	0,090%	0,004%	0,136%	0,002%	0,075%	-	-
2004	0,003%	0,115%	0,005%	0,176%	0,003%	0,097%	-	-
2005	0,004%	0,139%	0,006%	0,213%	0,003%	0,119%	-	-
2006	0,005%	0,166%	0,008%	0,256%	0,004%	0,145%	-	-
2007	0,006%	0,199%	0,009%	0,308%	0,005%	0,175%	-	-
2008	0,007%	0,232%	0,011%	0,359%	0,006%	0,203%	-	-

Observa-se que a viga V1 atinge um percentual de consumo de vida útil de 3,55% para a situação 1 (P11), 5,50% para a situação 2 (P21) e 3,11% para a situação 3 (P31), no período de 9 anos, e 0,16% para a situação 4 (P85) no período de 2 anos e meio.

Já na viga V2, dimensionada com trem tipo 45t, o consumo da vida útil de fadiga foi muito menor, atingindo percentuais de 0,23% para a situação 1 (P11), 0,36% para a situação 2 (P21), 0,20% para a situação 3 (P31), e 0,01% para a situação 4 (P85). Esta análise confirma que a consideração do trem tipo 45t é suficiente para representar os efeitos das cargas dos veículos que circulam hoje no Brasil nestes elementos.

As vigas bi apoiada com 10 metros ($V1_{1-10}$ e a viga $V2_{1-10}$) apresentam evoluções semelhantes, embora diferenciadas em uma ordem de grandeza. O modelo de viga $V1_{1-10}$, com pequeno vão e dimensionado segundo as prescrições da NB6/60, com uso de um trem tipo 36t, cujo efeito é reconhecidamente defasado em relação às cargas atuais, se apresenta como a situação mais sensível às cargas móveis, resultando num consumo mais rápido da vida útil de fadiga. Isto é, neste tipo de viga as deformações derivadas de cada passagem de veículo são maiores e o dano se acumula mais rápido.

Dada esta situação se efetuou uma simulação buscando estimar a evolução do consumo de vida útil para as vigas $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, adotando uma hipótese de progressão linear do dano acumulado por ano (representando uma progressão linear do aumento de fluxo com manutenção do percentual médio de cada tipo de veículo pesado obtido nos períodos de registro disponíveis). Os resultados são apresentados nas figuras 6.18 e 6.19. Nos gráficos se desconsidera a existência de dano anterior ao período de coleta de dados e se emprega um valor de $\beta = 0,08$ (mais crítico).

Analisando os gráficos das figuras se verifica que a viga $V2_{1-10}$, com vão de 10m e dimensionada para trem tipo 45t, suporta 100 anos de crescimento linear de tráfego de veículos pesados com danos modestos devido à fadiga, sendo estimado que se consumiu apenas 10% da vida útil por fadiga.

Para a situação mais crítica, representada pela viga $V1_{1-10}$, com vão de 10m e dimensionada para trem tipo 36t, pode-se ter um acúmulo mais rápido de danos, sendo estimado que se consuma aproximadamente 60% da vida útil de fadiga na pior situação, em 100 anos.

Ou seja, verifica-se que, para vigas bi-apoiadas, em ambos os casos, se atenderiam as expectativas de vida útil de projeto adotadas atualmente no cálculo de OAEs, para um cenário com desenvolvimento do fluxo de veículos pesados em progressão linear a partir de 2009. A situação não é tão confortável nas vigas em balanço, como discutido a seguir.

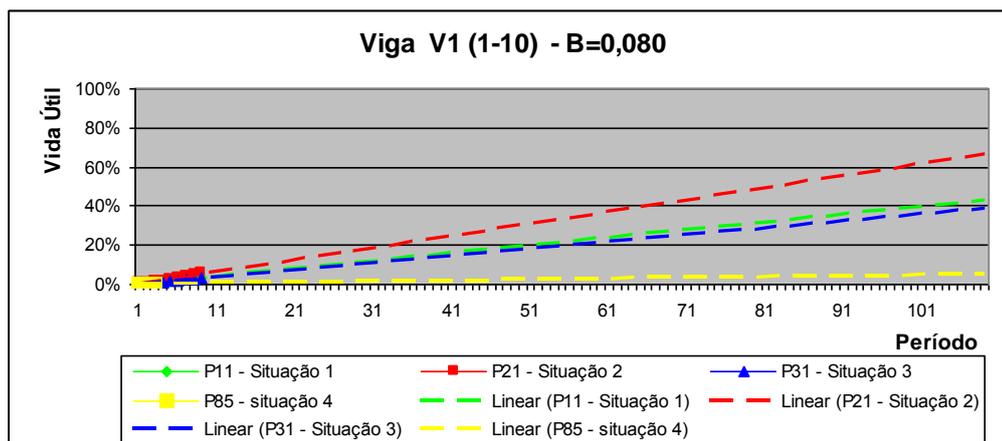


Figura 6.18 – Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V1₁₋₁₀.

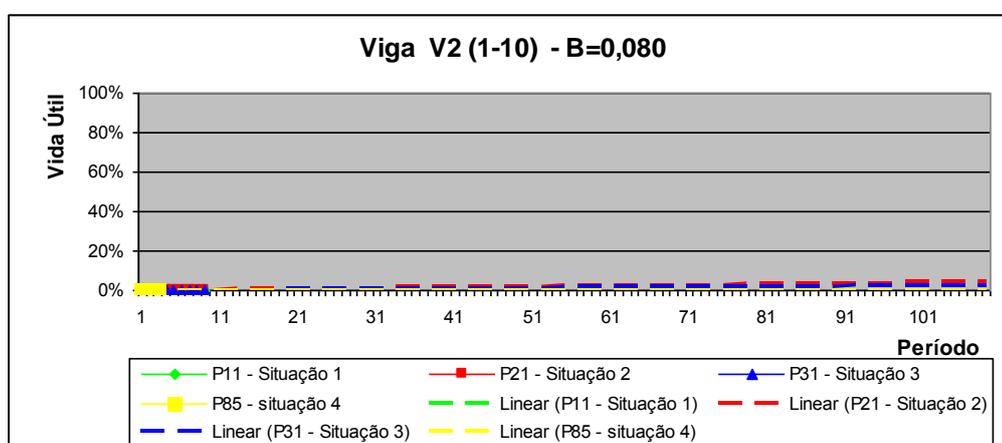


Figura 6.19 – Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V2₁₋₁₀.

6.3.2 Vigas com balanços Tipo V1 e Tipo V2

Os gráficos nas figuras 6.20 a 6.25 mostram a evolução do percentual de vida útil de fadiga consumido em função da acumulação de danos em vigas tipo V1 e V2, com 10, 15 e 20 metros de vão e balanços de 1,50, 2,25 e 3,00 metros, para cada situação de fluxo (P11, P21, P31 e P85) e para os valores limites de β (0,0685 e 0,0800).

Como o dano acumulado devido à oscilação do momento positivo nos vãos intermediários é muito pequeno, ou praticamente desprezível, como mostram as tabelas apresentadas no Anexo B, neste item somente são apresentados e discutidos os gráficos relativos aos efeitos dos momentos negativos.

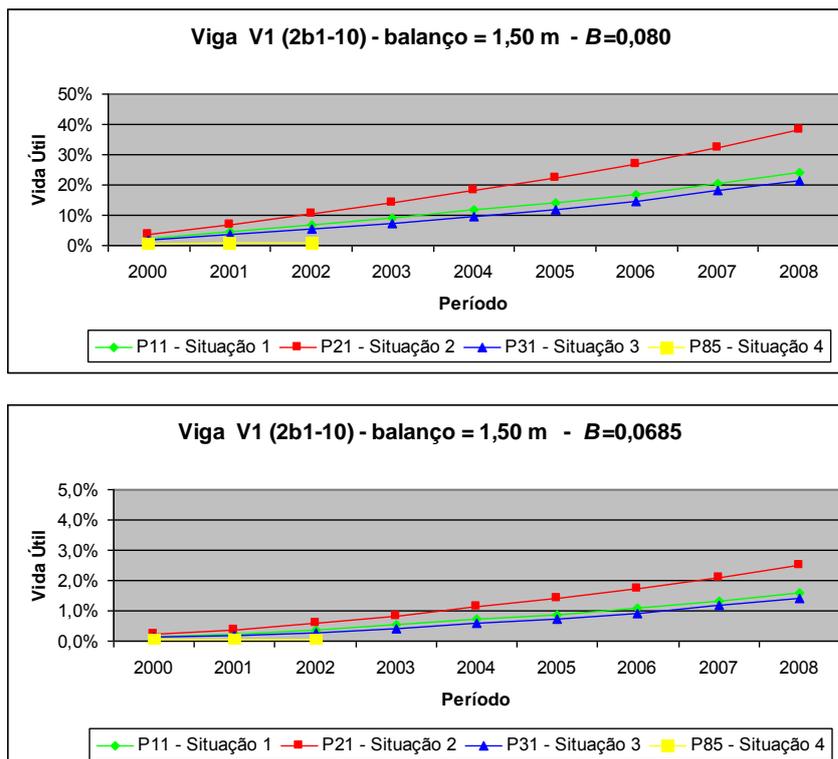


Figura 6.20 – Vida útil de fadiga consumida no período, V1_{2b1-10}.

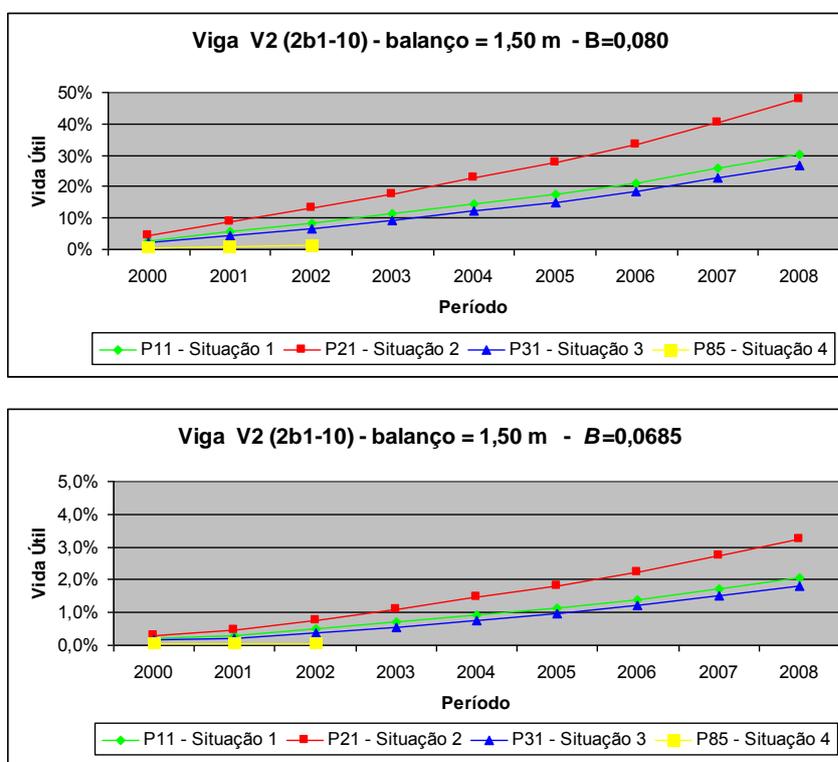


Figura 6.21 – Vida útil de fadiga consumida no período, V2_{2b1-10}.

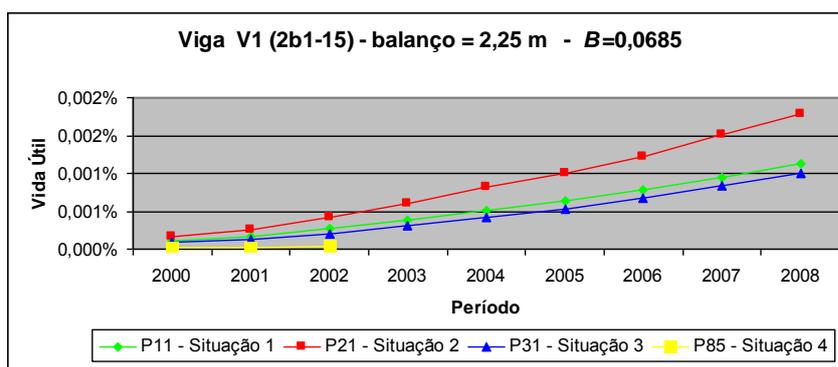
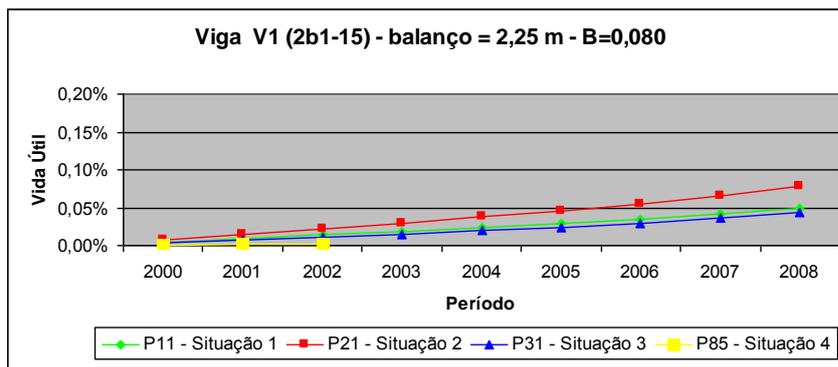


Figura 6.22 – Vida útil de fadiga consumida no período, V1_{2b1-15}.

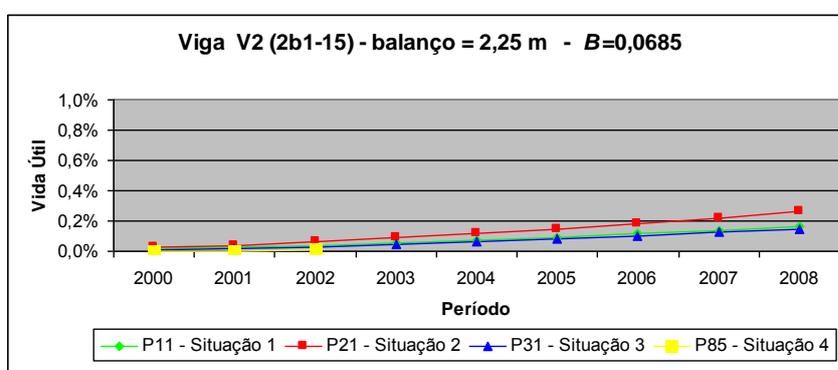
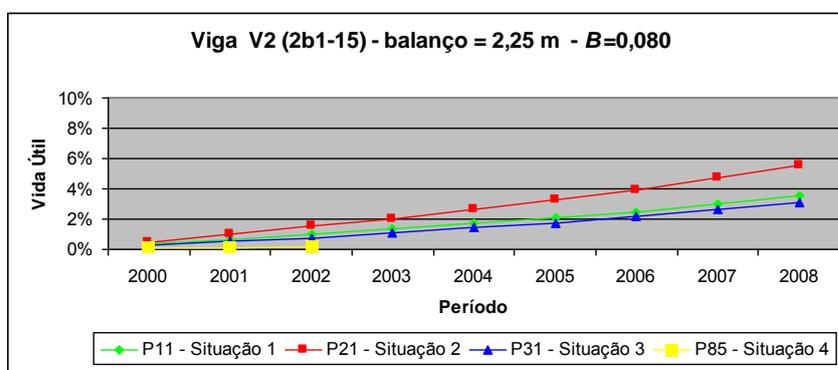


Figura 6.23 – Vida útil de fadiga consumida no período, V2_{2b1-15}.

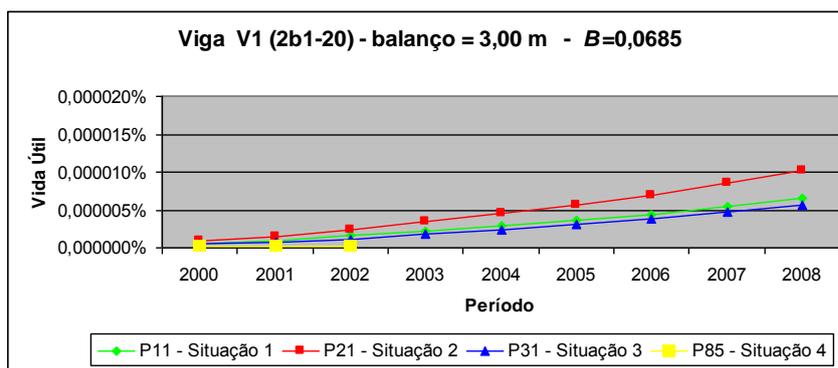
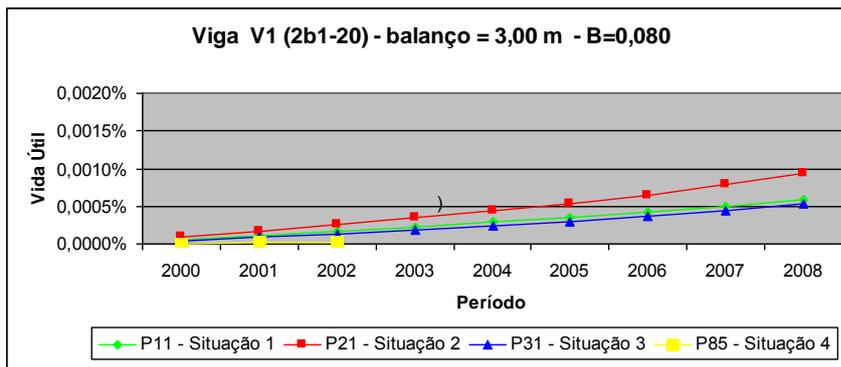


Figura 6.24 – Vida útil de fadiga consumida no período, V1_{2b1-20}.

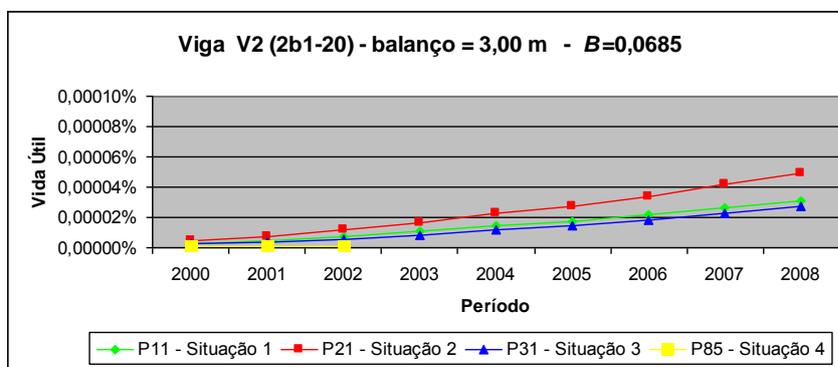
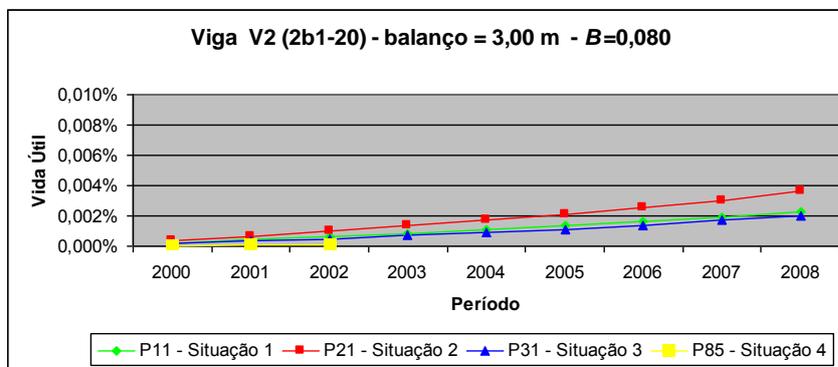


Figura 6.25 – Vida útil de fadiga consumida no período, V2_{2b1-20}.

Analisando os gráficos se verifica que, devido ao fato das solicitações provocadas pela atuação das cargas dos veículos reais serem maiores do que as originadas pela ação do trem tipo de qualquer uma das normas (NB 6/60 e NBR 7188/84), o consumo de vida útil é considerável para este tipo de elemento. Somente as vigas com vãos maiores e balanços de 3.0 metros apresentaram uma taxa de acúmulo de danos por fadiga compatível com vidas úteis de projeto acima de 100 anos.

Os valores de evolução dano acumulado no período, representados como um percentual da vida útil esperada, são apresentados nas tabelas 6.14 e 6.15, para as vigas V1_{2b1-10} e V2_{2b1-10}, respectivamente. Assim como no caso das vigas bi-apoiadas, as vigas com balanços de 10m foram as mais sensíveis à fadiga. Os piores casos foram aqueles onde o balanço tinha 1,5m.

Tabela 6.14 – Danos acumulados por fadiga no período, viga com balanço V1_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,15%	2,21%	0,23%	3,42%	0,12%	1,74%	0,03%	0,37%
2001	0,23%	4,52%	0,36%	6,97%	0,17%	3,67%	0,03%	0,77%
2002	0,38%	6,75%	0,59%	10,39%	0,28%	5,27%	0,05%	0,95%
2003	0,54%	9,08%	0,84%	14,00%	0,43%	7,44%	-	-
2004	0,72%	11,66%	1,13%	18,28%	0,58%	9,68%	-	-
2005	0,88%	14,14%	1,40%	22,19%	0,74%	11,97%	-	-
2006	1,08%	16,94%	1,71%	26,71%	0,93%	14,71%	-	-
2007	1,32%	20,51%	2,09%	32,35%	1,16%	18,13%	-	-
2008	1,57%	24,16%	2,49%	38,16%	1,39%	21,42%	-	-

Tabela 6.15 – Danos acumulados por fadiga no período, viga com balanço V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,197%	2,772%	0,305%	4,290%	0,155%	2,180%	0,033%	0,460%
2001	0,296%	5,665%	0,464%	8,731%	0,225%	4,604%	0,044%	0,967%
2002	0,495%	8,467%	0,769%	13,024%	0,367%	6,606%	0,061%	1,197%
2003	0,702%	11,386%	1,090%	17,547%	0,561%	9,330%	-	-
2004	0,932%	14,614%	1,472%	22,911%	0,761%	12,143%	-	-
2005	1,153%	17,729%	1,820%	27,813%	0,965%	15,006%	-	-
2006	1,403%	21,236%	2,223%	33,479%	1,209%	18,441%	-	-
2007	1,721%	25,709%	2,726%	40,552%	1,514%	22,733%	-	-
2008	2,046%	30,287%	3,244%	47,842%	1,808%	26,865%	-	-

Como se pode observar nas tabelas, o consumo de vida útil de fadiga das vigas V1 e V2, com 10 m de vão e balanços de 1,5 m, no período de 9 anos, atinge níveis bastante elevados, chegando próximo a 50% na pior situação (fluxo de veículos do posto P21).

É interessante notar que, neste caso, a configuração de viga com tabuleiro Tipo 2, que apresentava maiores cargas permanentes, teve um consumo de vida útil de fadiga mais rápido do que a do Tipo 1. Isso porque, para esses balanços, como apresentado no capítulo 5, tabela 5.26, as solicitações geradas pelos veículos (exceto 2 e 4 eixos) são maiores do que as consideradas em projeto, mesmo para a viga do Tipo 2 dimensionada pelo trem tipo 45.

Nas figuras 6.26 e 6.27 se apresenta uma estimativa de evolução de consumo de vida útil de fadiga, para vigas V1_{2b1-10} e V2_{2b1-10}, tomando novamente a hipótese de progressão linear de aumento de dano (representando uma progressão linear do aumento de fluxo com manutenção do percentual médio de cada tipo de veículo pesado obtido nos períodos de registro disponíveis) e os dois valores limites da inclinação (β). Como no caso anterior, os gráficos não consideram a existência de dano anterior ao período de coleta de dados.

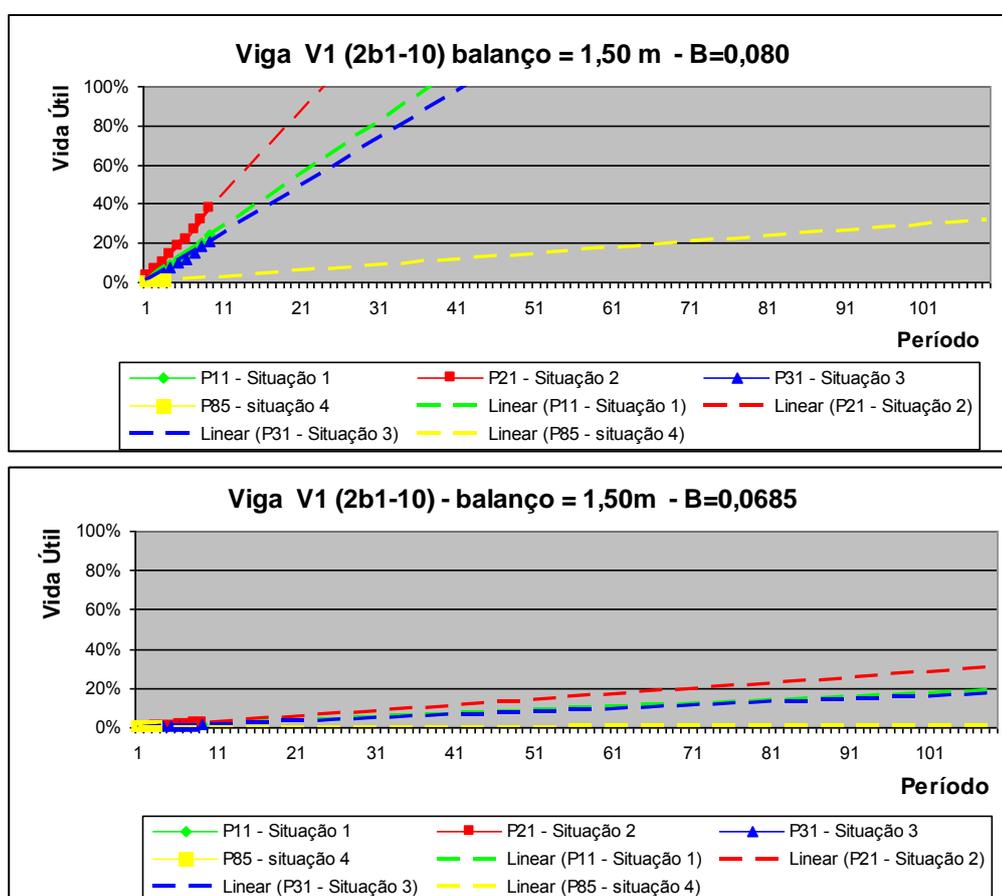


Figura 6.26 – Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V1_{2b1-10}.

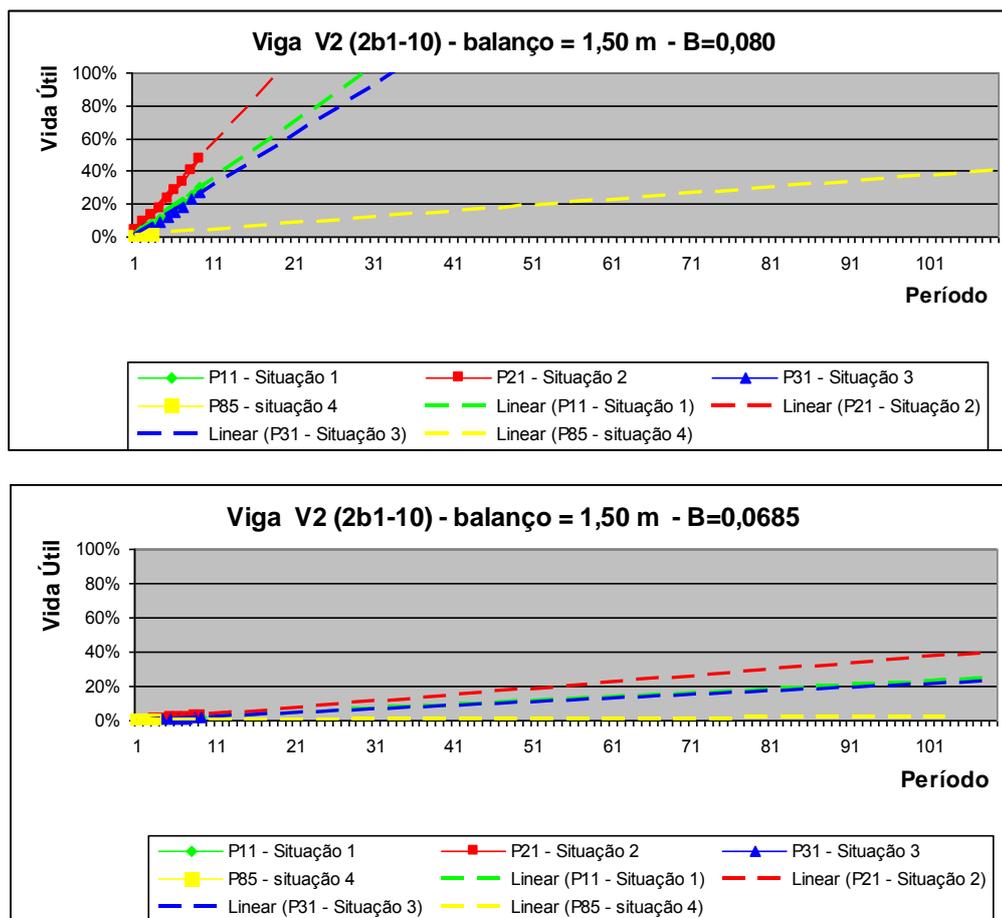


Figura 6.27 – Estimativa de evolução da fadiga com crescimento linear do dano, V2_{2b1-10}.

Analisando as figuras se verifica que a rapidez de acúmulo de danos por fadiga é muito elevada quando se considera $\beta = 0,080$, chegando a 100% da vida útil esperada em cerca de 18 anos, para a pior situação (dados de fluxo do ponto de coleta P21).

6.4 RESUMO DOS RESULTADOS

Para melhor visualização, a tabela 6.16 apresenta os resultados obtidos para cada modelo bi apoiado, com uma expectativa de vida útil de fadiga (consumo de 100%) e o consumo esperado para 100 anos. Foram compilados somente os valores mais críticos, isto é, considerando-se $\beta = 0,080$.

Tabela 6.16 – Resumo dos resultados para os modelos bi apoiados - $\beta = 0,080$

Viga	Posto de Coleta	Consumo no Período		Consumo 100%	Consumo em 100 anos
		9 anos	3 anos		
V1 ₁₋₁₀	P11	3,550	-	253 anos	40%
	P21	5,495	-	163 anos	60%
	P31	3,115	-	288 anos	35%
	P85	-	0,156	1171 anos	8,5%
V2 ₁₋₁₀	P11	0,232	-	3.879 anos	2,5%
	P21	0,359	-	2.507 anos	4,0%
	P31	0,203	-	4.433 anos	2,2%
	P85	-	0,010	90.000 anos	0,3%
V1 ₁₋₁₅	P11	0,00011	-	-	desprezível
	P21	0,00018	-	-	desprezível
	P31	0,00010	-	-	desprezível
	P85	-	0,000005	-	desprezível
V2 ₁₋₁₅	P11	0,000017	-	-	desprezível
	P21	0,000026	-	-	desprezível
	P31	0,000015	-	-	desprezível
	P85	-	0,0000007	-	desprezível
V1 ₁₋₂₀	P11	0,0000004	-	-	desprezível
	P21	0,0000007	-	-	desprezível
	P31	0,0000003	-	-	desprezível
	P85	-	0,00000002	-	desprezível
V2 ₁₋₂₀	P11	0,000000049	-	-	desprezível
	P21	0,000000081	-	-	desprezível
	P31	0,000000042	-	-	desprezível
	P85	-	0,000000019	-	desprezível

Como para os modelos de 15 e 20 metros analisados, o consumo de vida útil é desprezível, e torna-se praticamente infinito o valor estimado de vida útil de fadiga.

A seguir, tabela 6.17, apresenta resumo de resultados e expectativas para os modelos com balanços. Compilados somente valores mais críticos ($\beta = 0,080$) e para os momentos negativos.

Tabela 6.17 – Resumo dos resultados para os modelos com balanços - $\beta = 0,080$

Viga	Posto de Coleta	Consumo no Período		Consumo 100%	Consumo em 100 anos
		9 anos	3 anos		
V1 _{2b1-10}	P11	24,16	-	37,2 anos	268%
	P21	38,16	-	23,6 anos	424%
	P31	21,42	-	42,0 anos	238%
	P85	-	0,950	315 anos	31%
V2 _{2b1-10}	P11	30,287	-	29,7 anos	336%
	P21	47,842	-	18,8 anos	531%
	P31	26,865	-	33,5 anos	298%
	P85	-	1,192	251,6 anos	40%
V1 _{2b1-15}	P11	0,049	-	18.367 anos	0,5%
	P21	0,078	-	11.538 anos	0,9%
	P31	0,044	-	20.454 anos	0,5%
	P85	-	0,002	150.000 anos	0,1%
V2 _{2b1-15}	P11	3,527	-	255 anos	39%
	P21	5,571	-	161 anos	62%
	P31	3,129	-	287 anos	35%
	P85	-	0,139	2.158 anos	5%
V1 _{2b1-20}	P11	0,0006	-	-	desprezível
	P21	0,0009	-	-	desprezível
	P31	0,0005	-	-	desprezível
	P85	-	0,00002	-	desprezível
V2 _{2b1-20}	P11	0,002	-	-	desprezível
	P21	0,004	-	-	desprezível
	P31	0,002	-	-	desprezível
	P85	-	0,0001	-	desprezível

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises levadas a efeito neste capítulo evidenciam claramente alguns aspectos:

- as vigas bi-apoiadas consideradas não se mostraram suscetíveis a danos significativos por fadiga, mesmo quando calculadas para trem tipo 36t;
- estruturas com vãos menores, mais leves, em torno de 10m são mais sujeitas a problemas de fadiga do que estruturas mais longas;
- a grande diferença observada entre as estimativas efetuadas com valores distintos de β evidencia a importância de se ter conhecimento não somente dos níveis de tensão, mas também da resposta do material utilizado, em termos de fadiga, para poder efetuar uma estimativa adequada da vida útil e do comportamento em termos de acúmulo de dano por fadiga;
- cenários como o verificado na viga $V1_{2b1-10}$ com balanço de 1,5m e $\beta = 0,08$, submetida a fluxos como o registrado no ponto de coleta P21 da CONCEPA, podem reduzir drasticamente a vida útil média do estoque de estruturas e colocar em risco partes de estruturas atualmente em operação.
- a possibilidade de que haja elementos nos quais, levando em conta fluxos de veículos reais registrados recentemente, as estimativas de vida útil de fadiga sejam, no pior cenário, de menos de 20 anos, ressalta a importância da questão de pesquisa proposta para este trabalho, que consiste em averiguar quais os efeitos potenciais deletérios que o crescimento do tráfego de veículos pesados no país pode acarretar para OAEs rodoviárias, especialmente as mais antigas;

A situação pode se agravar se forem considerados cenários onde o crescimento de veículos pesados e do fluxo geral de veículos é mais rápido ou quando se analisa o efeito conjunto da fadiga e da deterioração da armadura por corrosão, como será discutido no capítulo 7.

7. ANÁLISE DE CENÁRIOS

As estimativas de vida útil de fadiga apresentadas no capítulo anterior, para os diferentes modelos de vigas elencados como representativos de estruturas reais de OAEs, submetidos a espectros de carga reais, foram feitas a partir da hipótese de que os veículos apresentavam peso nominal, sem sobrepeso, de que o fluxo de veículos cresce linearmente e que a distribuição de categorias de veículos pesados permanecia constante. Também foi admitido que essas estruturas mantinham-se íntegras, apesar da idade. Porém a realidade pode apresentar grandes variações dessas situações. Por isto, neste capítulo são considerados cenários alternativos com alta possibilidade de ocorrência, isto é, situações em que o cenário montado esteja dentro das possíveis situações a que podem ou poderão estar expostas as vigas padrão analisadas nos capítulos anteriores.

Foram criados três cenários específicos para possibilitar a análise do efeito das variáveis: sobrepeso (majoração da carga móvel), espectro de carga (variação da percentagem de veículos pesados no fluxo) e deterioração (perda de seção resistente).

Para os cenários fictícios foram considerados apenas os modelos mais críticos nas análises anteriores, devido à sua geometria e à importância do efeito da fadiga no seu comportamento estrutural. Foram analisadas, portanto, neste capítulo, as vigas tipo V1₁₋₁₀, V2₁₋₁₀, V1_{2b1-10} e V2_{2b1-10}.

7.1 CENÁRIO 1: CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS COM SOBREPESO LEGAL

Como discutido no Capítulo 4, hoje os veículos pesados podem trafegar livremente com uma sobrecarga regulamentada de 5%. Para cargas excedentes são necessárias autorizações especiais (AE). Neste caso os veículos só poderiam, teoricamente, circular em trajetos previamente determinados. Infelizmente a realidade é bem diferente, devido à ausência de uma estrutura eficiente para controle do sobrepeso.

O Cenário 1 foi gerado com o intuito de analisar o efeito provocado pela ocorrência da sobrecarga permitida, de maneira parcial ou em sua totalidade, e o possível impacto de uma eventual ampliação dessa tolerância. Para análise do efeito do crescimento do sobrepeso, portanto, foram efetuadas três simulações do Cenário 1, para o período de coleta de dados:

- a) Cenário 1-A com o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, considerando que 20 % dos veículos trafegam com a máxima sobrecarga permitida.
- b) Cenário 1-B com o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, considerando que 50 % dos veículos trafegam com a máxima sobrecarga permitida.
- c) Cenário 1-C com o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, considerando que 100 % dos veículos trafegam com a máxima sobrecarga permitida.

7.1.1 Cenário 1-A

Para simular um cenário onde 20% dos veículos apresentam carga total com o sobrepeso regulamentado (5%), foram geradas envoltórias de momentos fletores com as cargas majoradas em 1%, sendo mantidas as demais partes do carregamento, isto é, carga permanente e de multidão. Para os modelos $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, e $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, foi determinado o dano causado pela passagem de cada veículo, conforme tabelas do Anexo B.

Para esses quatro modelos de vigas, os valores do consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, ano a ano, com 20% dos veículos apresentando sobrecarga permitida de 5%, estão apresentados nas tabelas 7.1 a 7.4. Foram determinados os danos considerando os valores limites do intervalo de β (0,0685 e 0,0800).

Para melhor visualização, os gráficos das figuras 7.1 a 7.4 apresentam a vida útil de fadiga consumida no período.

Sendo desprezível o dano acumulado para as vigas com balanço, $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, considerando os vãos intermediários, somente estão apresentados os resultados, em tabelas e graficamente, os efeitos relativos aos momentos negativos.

Tabela 7.1 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-A, V1₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,02%	0,40%	0,03%	0,61%	0,02%	0,32%	0,004%	0,07%
2001	0,03%	0,81%	0,04%	1,23%	0,03%	0,67%	0,005%	0,15%
2002	0,05%	1,19%	0,07%	1,81%	0,04%	0,95%	0,006%	0,18%
2003	0,07%	1,60%	0,11%	2,44%	0,06%	1,33%	-	-
2004	0,09%	2,05%	0,14%	3,15%	0,08%	1,74%	-	-
2005	0,12%	2,48%	0,18%	3,81%	0,10%	2,13%	-	-
2006	0,14%	2,96%	0,22%	4,58%	0,12%	2,59%	-	-
2007	0,17%	3,56%	0,27%	5,52%	0,15%	3,14%	-	-
2008	0,20%	4,15%	0,31%	6,47%	0,18%	3,64%	-	-

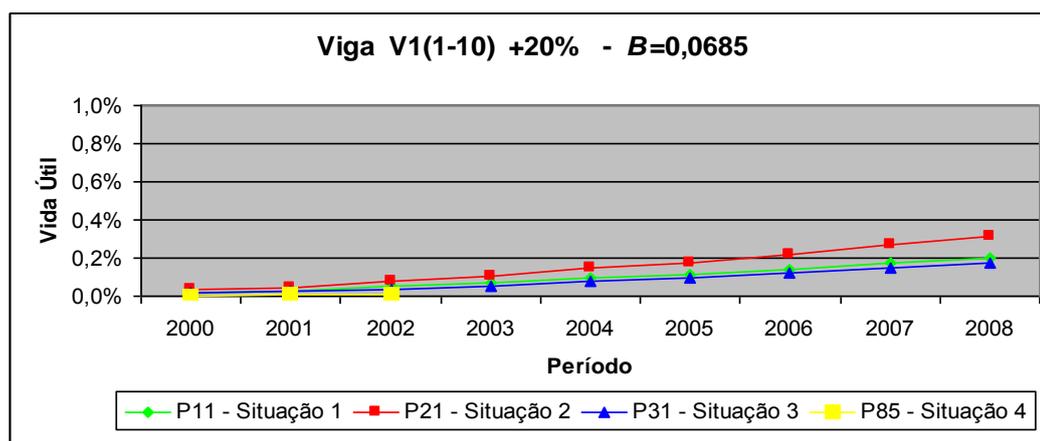
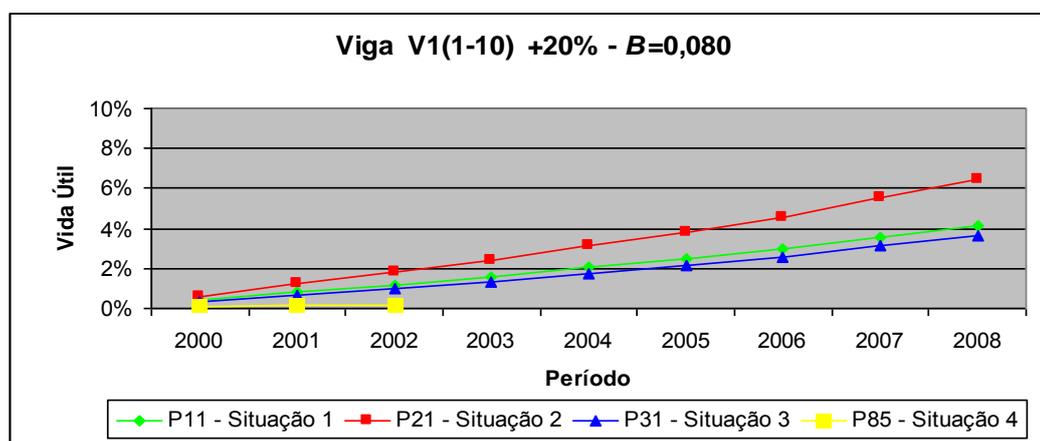
Figura 7.1 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V1₁₋₁₀.

Tabela 7.2 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-A, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,001%	0,027%	0,001%	0,042%	0,001%	0,022%	0,0002%	0,005%
2001	0,001%	0,055%	0,002%	0,083%	0,001%	0,046%	0,0002%	0,010%
2002	0,002%	0,081%	0,003%	0,123%	0,002%	0,065%	0,0003%	0,012%
2003	0,003%	0,109%	0,005%	0,166%	0,002%	0,091%	-	-
2004	0,004%	0,139%	0,006%	0,214%	0,003%	0,118%	-	-
2005	0,005%	0,169%	0,008%	0,259%	0,004%	0,145%	-	-
2006	0,006%	0,202%	0,009%	0,311%	0,005%	0,176%	-	-
2007	0,007%	0,242%	0,012%	0,375%	0,007%	0,214%	-	-
2008	0,009%	0,282%	0,014%	0,437%	0,008%	0,248%	-	-

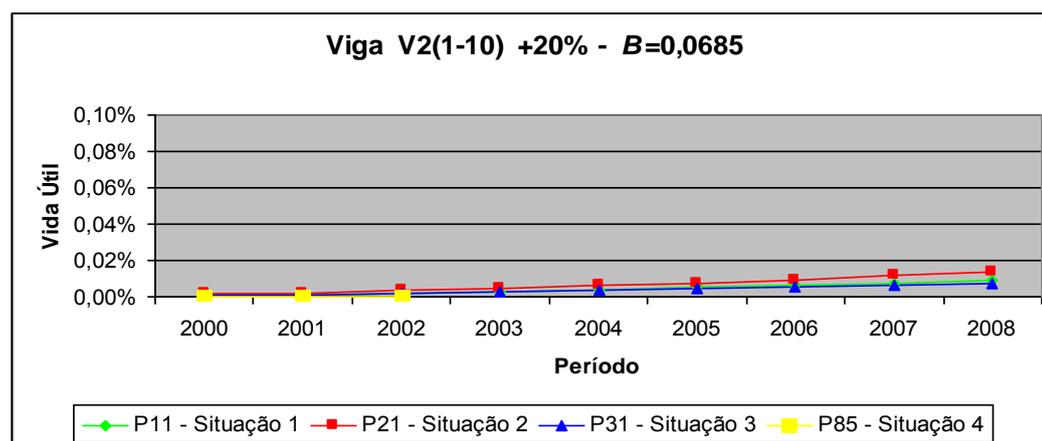
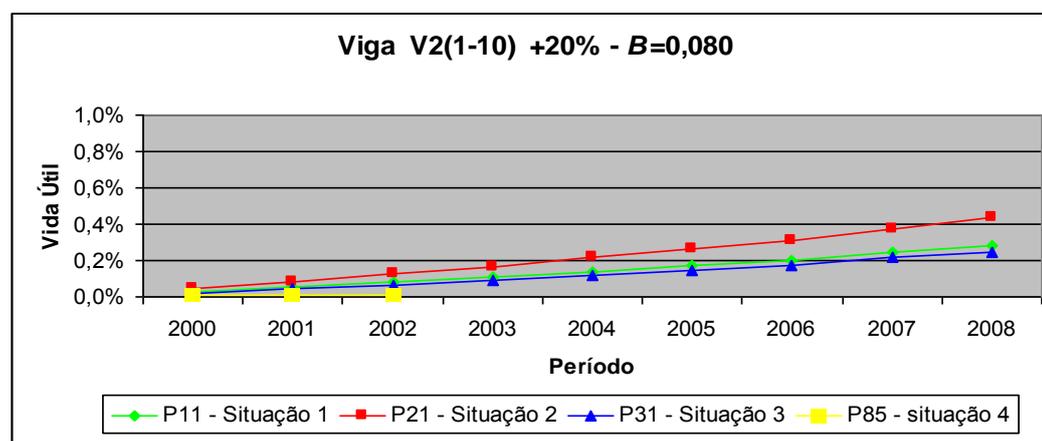
Figura 7.2 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.3 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-A, V1_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,18%	2,58%	0,28%	4,00%	0,14%	2,03%	0,03%	0,43%
2001	0,27%	5,28%	0,43%	8,14%	0,21%	4,29%	0,04%	0,90%
2002	0,46%	7,89%	0,71%	12,14%	0,34%	6,15%	0,06%	1,12%
2003	0,65%	10,61%	1,00%	16,35%	0,52%	8,69%	-	-
2004	0,86%	13,62%	1,35%	21,35%	0,70%	11,31%	-	-
2005	1,06%	16,52%	1,68%	25,92%	0,89%	13,98%	-	-
2006	1,29%	19,79%	2,05%	31,20%	1,11%	17,18%	-	-
2007	1,58%	23,96%	2,51%	37,80%	1,39%	21,18%	-	-
2008	1,88%	28,22%	2,99%	44,59%	1,39%	25,03%	-	-

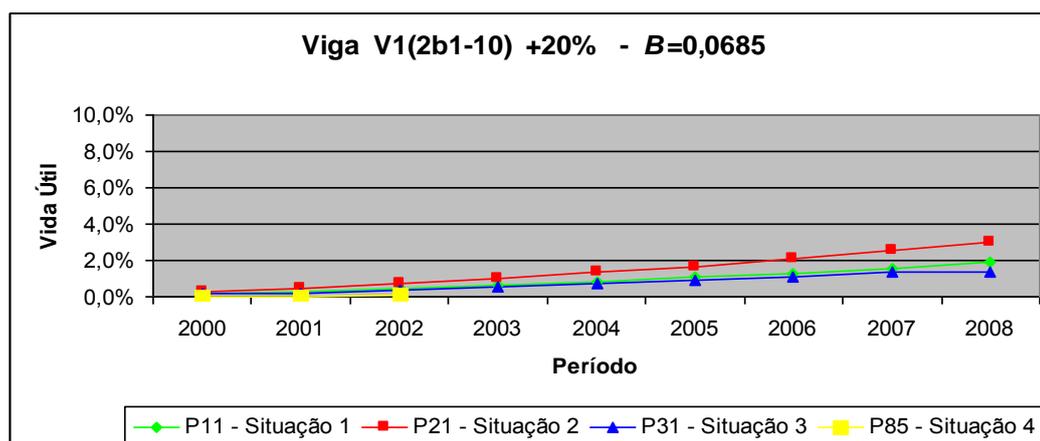
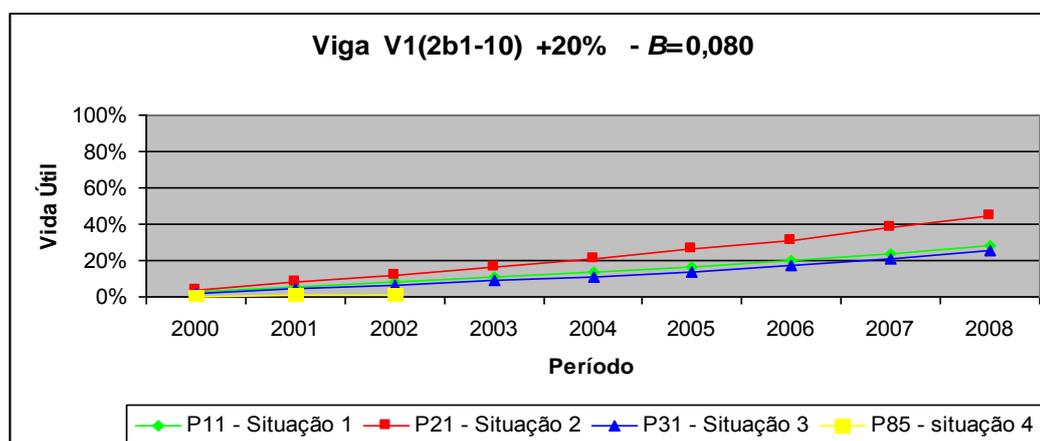
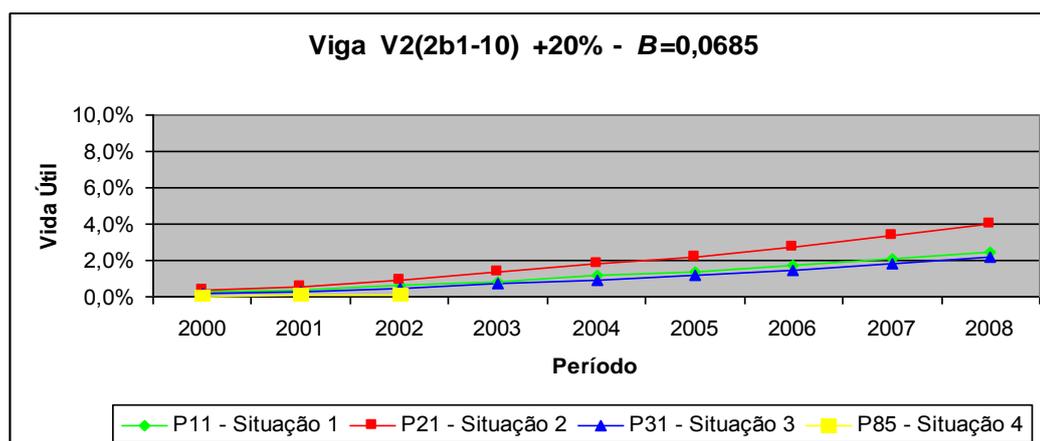
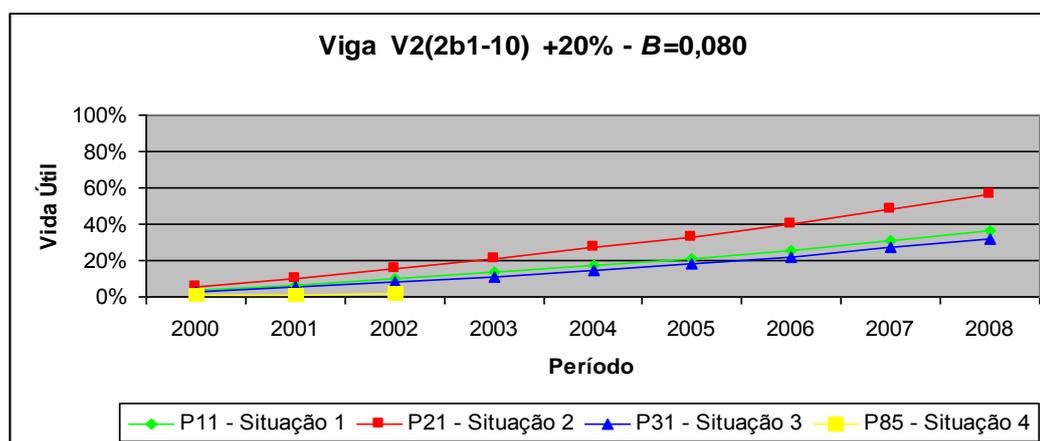
Figura 7.3 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V1_{2b1-10}.

Tabela 7.4 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-A, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,24%	3,28%	0,37%	5,09%	0,19%	2,58%	0,04%	0,55%
2001	0,36%	6,72%	0,57%	10,35%	0,28%	5,46%	0,05%	1,15%
2002	0,60%	10,04%	0,94%	15,45%	0,45%	7,83%	0,07%	1,42%
2003	0,86%	13,50%	1,33%	20,81%	0,69%	11,07%	-	-
2004	1,14%	17,33%	1,80%	27,18%	0,93%	14,40%	-	-
2005	1,41%	21,03%	2,22%	32,99%	1,18%	17,80%	-	-
2006	1,71%	25,19%	2,71%	39,71%	1,48%	21,87%	-	-
2007	2,10%	30,49%	3,33%	48,10%	1,85%	26,96%	-	-
2008	2,50%	35,92%	3,96%	56,75%	2,21%	31,87%	-	-

Figura 7.4 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-A, V2_{2b1-10}.

7.1.2 Cenário 1-B

Para simular um cenário onde 50% dos veículos apresentam carga total mais o sobrepeso de 5% regulamentado, foram geradas envoltórias de momentos fletores com as cargas majoradas em 2,5%. Para os modelos $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, e $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, os resultados estão apresentados nas tabelas 7.5 a 7.8, e representados graficamente nas figuras 7.5 a 7.8.

Tabela 7.5 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-B, $V1_{1-10}$.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,03%	0,53%	0,04%	0,81%	0,02%	0,42%	0,005%	0,09%
2001	0,04%	1,06%	0,06%	1,62%	0,03%	0,89%	0,006%	0,19%
2002	0,07%	1,58%	0,10%	2,39%	0,05%	1,26%	0,009%	0,24%
2003	0,10%	2,11%	0,15%	3,22%	0,08%	1,76%	-	-
2004	0,13%	2,71%	0,20%	4,16%	0,11%	2,29%	-	-
2005	0,16%	3,28%	0,25%	5,04%	0,14%	2,81%	-	-
2006	0,19%	3,91%	0,30%	6,05%	0,17%	3,42%	-	-
2007	0,24%	4,70%	0,37%	7,28%	0,21%	4,15%	-	-
2008	0,28%	5,48%	0,43%	8,48%	0,24%	4,81%	-	-

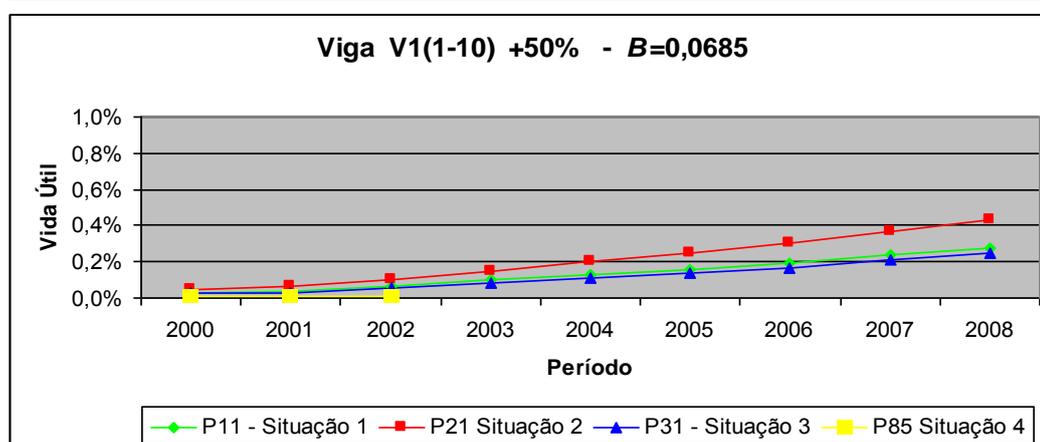
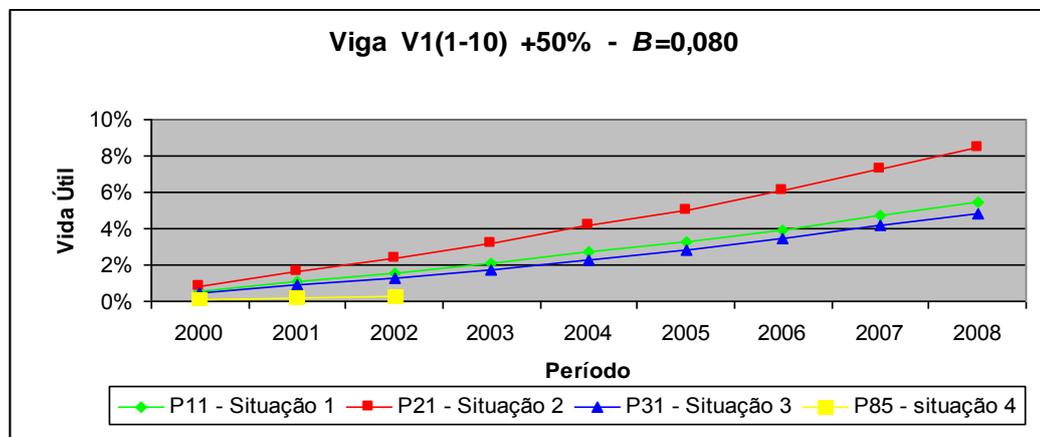
Figura 7.5 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, $V1_{1-10}$.

Tabela 7.6 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-B, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,001%	0,037%	0,002%	0,056%	0,001%	0,029%	0,0002%	0,006%
2001	0,002%	0,074%	0,003%	0,112%	0,001%	0,061%	0,0003%	0,013%
2002	0,003%	0,109%	0,005%	0,165%	0,002%	0,087%	0,0004%	0,017%
2003	0,004%	0,146%	0,007%	0,222%	0,003%	0,122%	-	-
2004	0,006%	0,187%	0,009%	0,287%	0,005%	0,159%	-	-
2005	0,007%	0,227%	0,011%	0,348%	0,006%	0,194%	-	-
2006	0,009%	0,270%	0,013%	0,417%	0,007%	0,237%	-	-
2007	0,010%	0,325%	0,016%	0,503%	0,009%	0,286%	-	-
2008	0,012%	0,378%	0,019%	0,585%	0,011%	0,332%	-	-

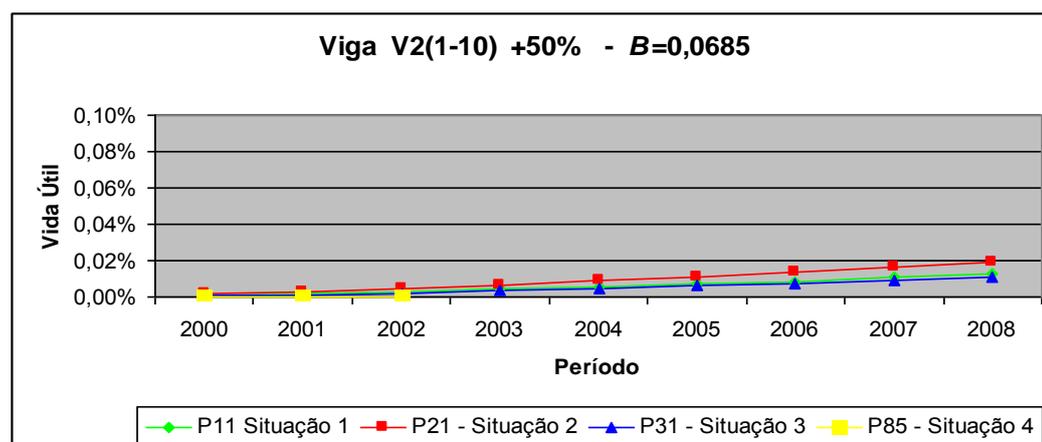
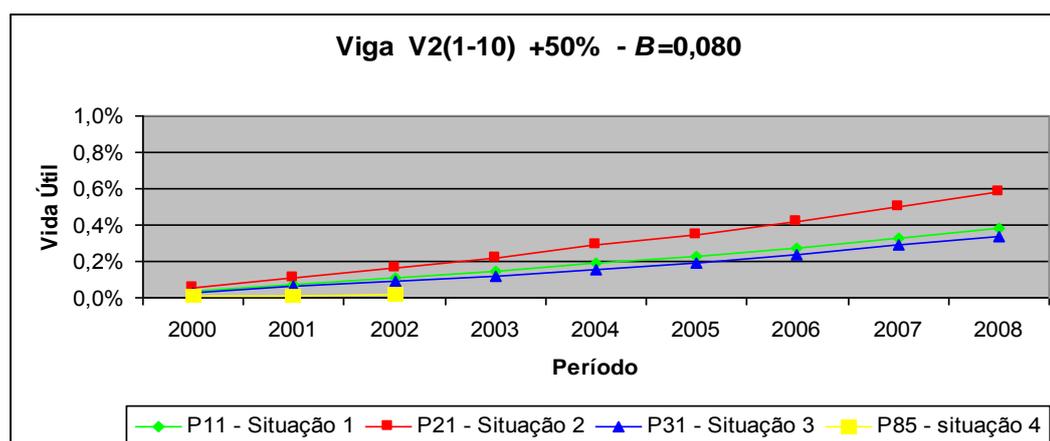
Figura 7.6 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.7 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-B, V1_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,24%	3,30%	0,37%	5,11%	0,19%	2,59%	0,04%	0,55%
2001	0,36%	6,74%	0,57%	10,39%	0,28%	5,48%	0,05%	1,15%
2002	0,61%	10,07%	0,94%	15,50%	0,45%	7,86%	0,07%	1,42%
2003	0,86%	13,54%	1,33%	20,88%	0,69%	11,10%	-	-
2004	1,14%	17,38%	1,80%	27,26%	0,93%	14,44%	-	-
2005	1,41%	21,09%	2,23%	33,09%	1,18%	17,85%	-	-
2006	1,72%	25,26%	2,72%	39,83%	1,48%	21,94%	-	-
2007	2,11%	30,58%	3,34%	48,25%	1,85%	27,04%	-	-
2008	2,50%	36,03%	3,97%	56,92%	2,21%	31,95%	-	-

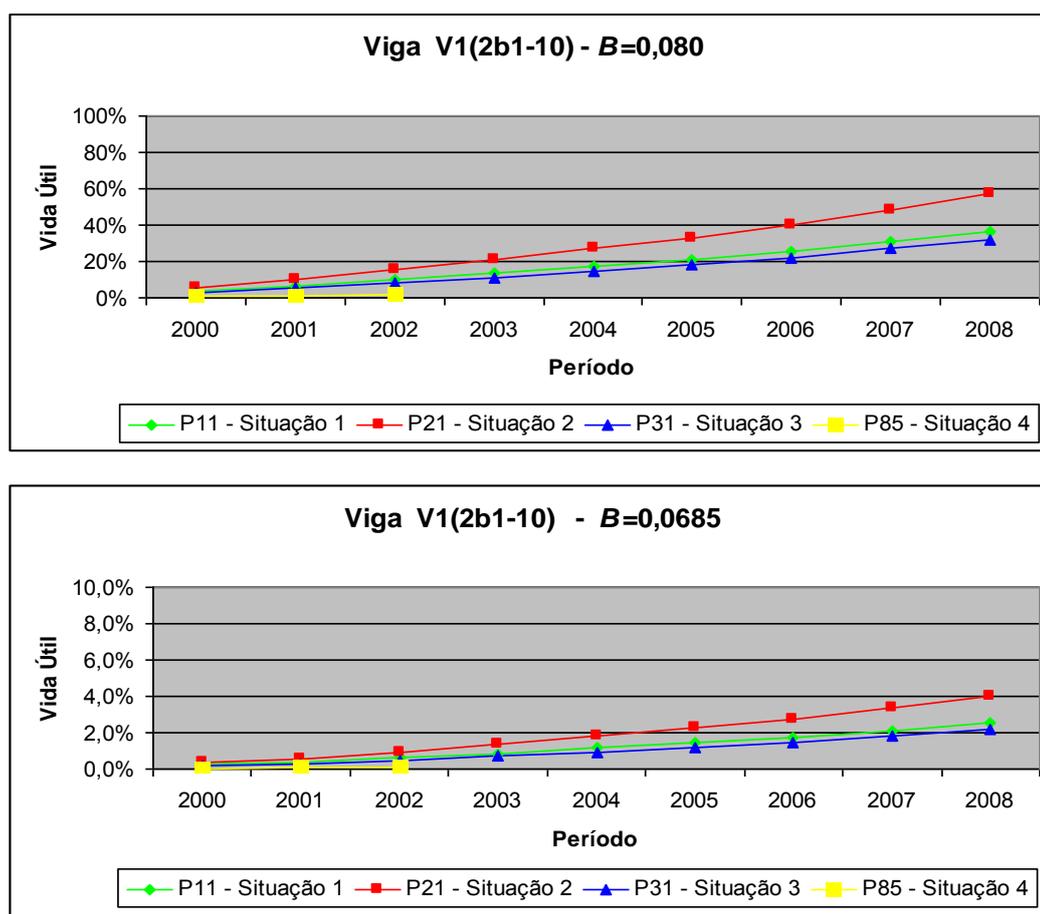
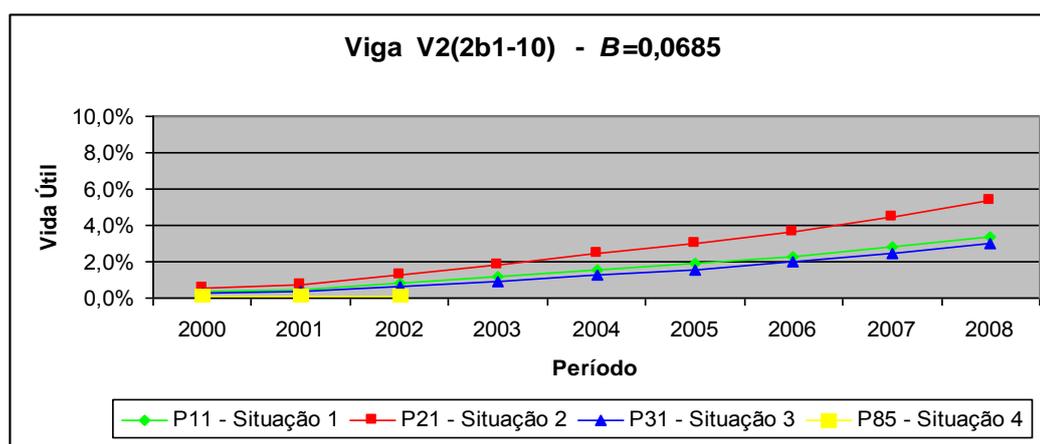
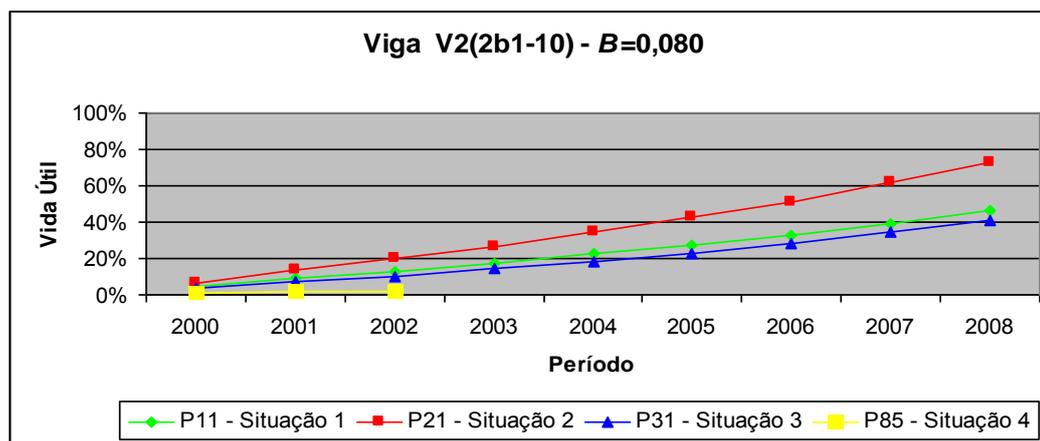
Figura 7.7 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V1_{2b1-10}.

Tabela 7.8– Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-B, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,32%	4,24%	0,50%	6,55%	0,25%	3,33%	0,05%	0,70%
2001	0,49%	8,65%	0,76%	13,34%	0,37%	7,03%	0,07%	1,48%
2002	0,81%	12,93%	1,26%	19,90%	0,60%	10,09%	0,10%	1,83%
2003	1,15%	17,39%	1,79%	26,80%	0,92%	14,25%	-	-
2004	1,53%	22,32%	2,41%	35,00%	1,25%	18,55%	-	-
2005	1,89%	27,08%	2,99%	42,49%	1,58%	22,92%	-	-
2006	2,30%	32,44%	3,65%	51,14%	1,98%	28,17%	-	-
2007	2,82%	39,27%	4,47%	61,95%	2,48%	34,73%	-	-
2008	3,36%	46,27%	5,32%	73,08%	2,97%	41,04%	-	-

Figura 7.8 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-B, V2_{2b1-10}.

7.1.3 Cenário 1-C

Para simular um cenário onde 100% dos veículos apresentam carga total mais sobrepeso de 5% regulamentado foram geradas envoltórias de momentos fletores com as cargas majoradas em 5%. Para os modelos $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, e $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, os resultados estão apresentados nas tabelas 7.9 a 7.12, sendo representados graficamente nas figuras 7.9 a 7.12.

Tabela 7.9 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-C, $V1_{1-10}$.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,05%	0,83%	0,07%	1,27%	0,04%	0,66%	0,009%	0,15%
2001	0,07%	1,68%	0,10%	2,56%	0,05%	1,40%	0,011%	0,31%
2002	0,11%	2,49%	0,18%	3,78%	0,09%	1,99%	0,015%	0,38%
2003	0,16%	3,34%	0,25%	5,08%	0,13%	2,78%	-	-
2004	0,22%	4,27%	0,34%	6,57%	0,18%	3,62%	-	-
2005	0,27%	5,18%	0,42%	7,95%	0,23%	4,44%	-	-
2006	0,33%	6,18%	0,51%	9,55%	0,29%	5,40%	-	-
2007	0,40%	7,43%	0,63%	11,50%	0,35%	6,54%	-	-
2008	0,48%	8,65%	0,74%	13,39%	0,41%	7,59%	-	-

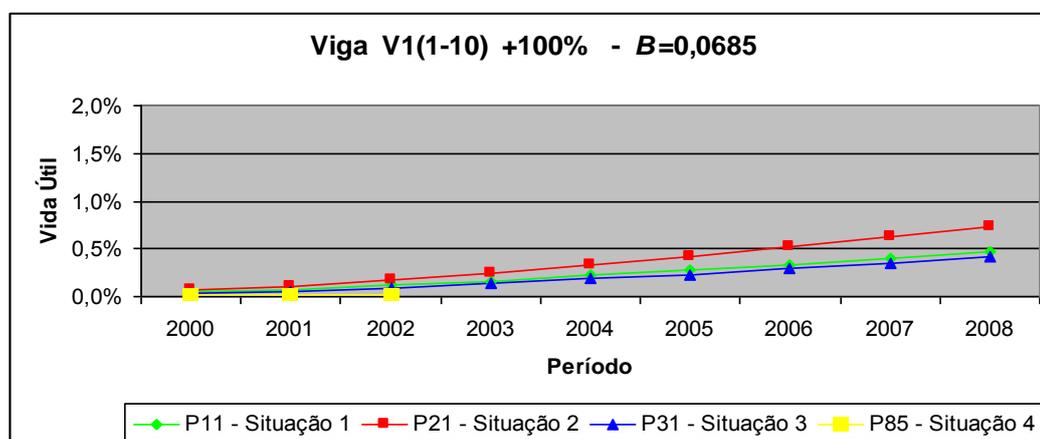
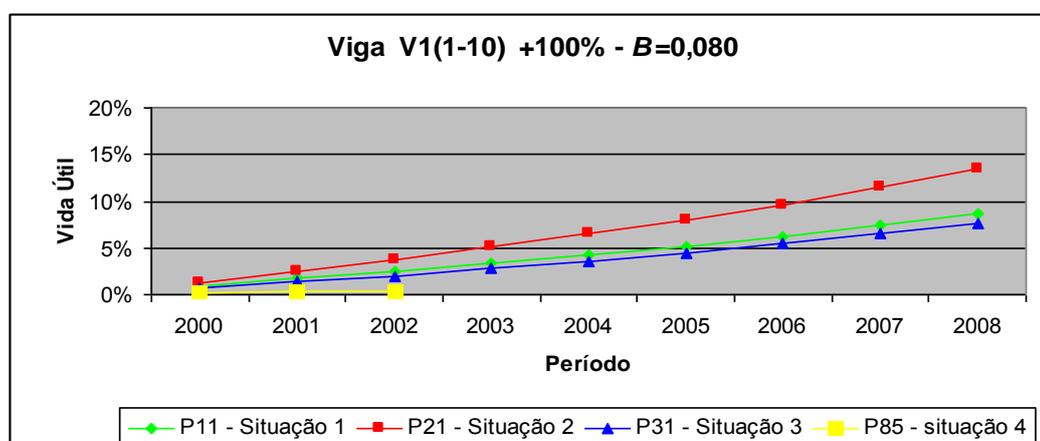
Figura 7.9 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, $V1_{1-10}$.

Tabela 7.10 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-C, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,07%	1,18%	0,11%	1,80%	0,06%	0,94%	0,013%	0,21%
2001	0,10%	2,38%	0,15%	3,61%	0,08%	1,98%	0,016%	0,43%
2002	0,17%	3,52%	0,26%	5,33%	0,13%	2,81%	0,023%	0,54%
2003	0,25%	4,71%	0,38%	7,17%	0,20%	3,93%	-	-
2004	0,33%	6,03%	0,51%	9,26%	0,27%	5,11%	-	-
2005	0,41%	7,31%	0,63%	11,21%	0,35%	6,27%	-	-
2006	0,50%	8,72%	0,77%	13,46%	0,43%	7,63%	-	-
2007	0,61%	10,48%	0,94%	16,20%	0,53%	9,24%	-	-
2008	0,71%	12,20%	1,10%	18,87%	0,62%	10,71%	-	-

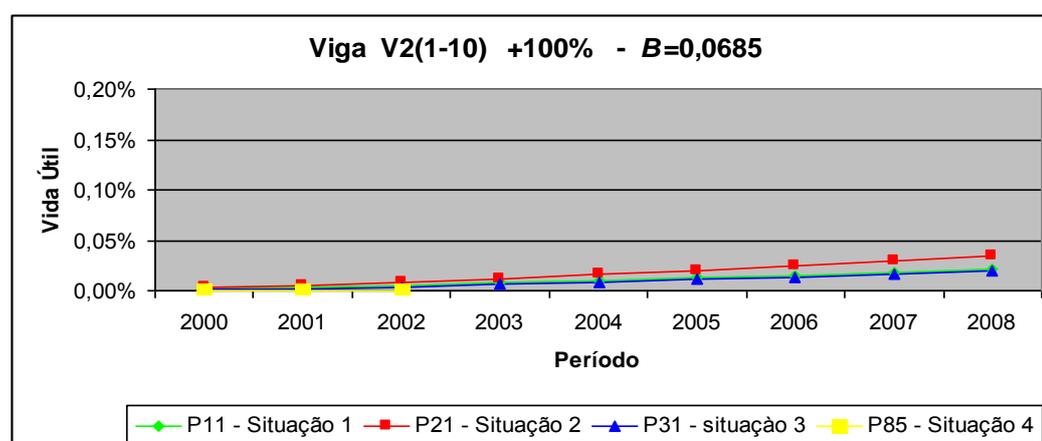
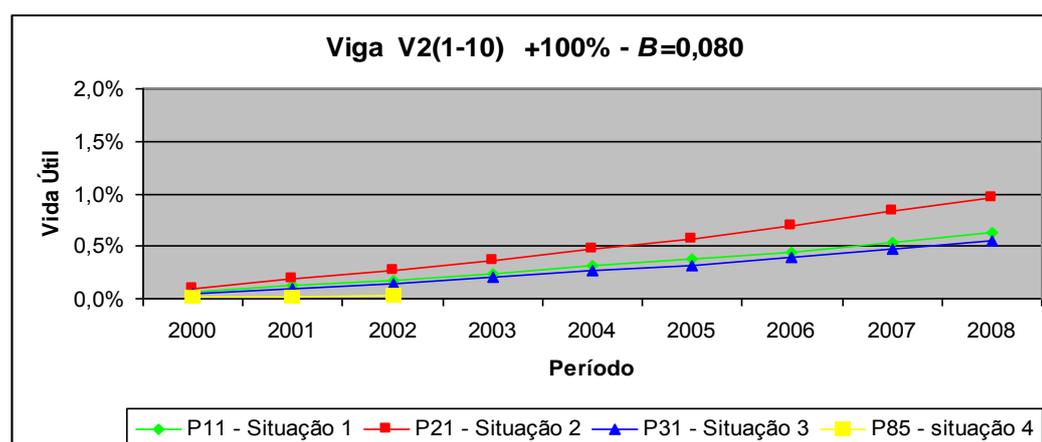
Figura 7.10 – Vida útil de fadiga consumida no período, cenário 1-C, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.11 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-C, VI_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,38%	4,90%	0,59%	7,59%	0,30%	3,85%	0,06%	0,81%
2001	0,58%	10,02%	0,90%	15,44%	0,44%	8,14%	0,09%	1,71%
2002	0,96%	14,97%	1,50%	23,04%	0,71%	11,68%	0,12%	2,12%
2003	1,37%	20,14%	2,12%	31,04%	1,09%	16,50%	-	-
2004	1,81%	25,85%	2,86%	40,53%	1,48%	21,47%	-	-
2005	2,24%	31,35%	3,54%	49,20%	1,88%	26,54%	-	-
2006	2,73%	37,56%	4,32%	59,22%	2,35%	32,61%	-	-
2007	3,35%	45,47%	5,30%	71,73%	2,95%	40,20%	-	-
2008	3,98%	53,56%	6,31%	84,63%	3,52%	47,51%	-	-

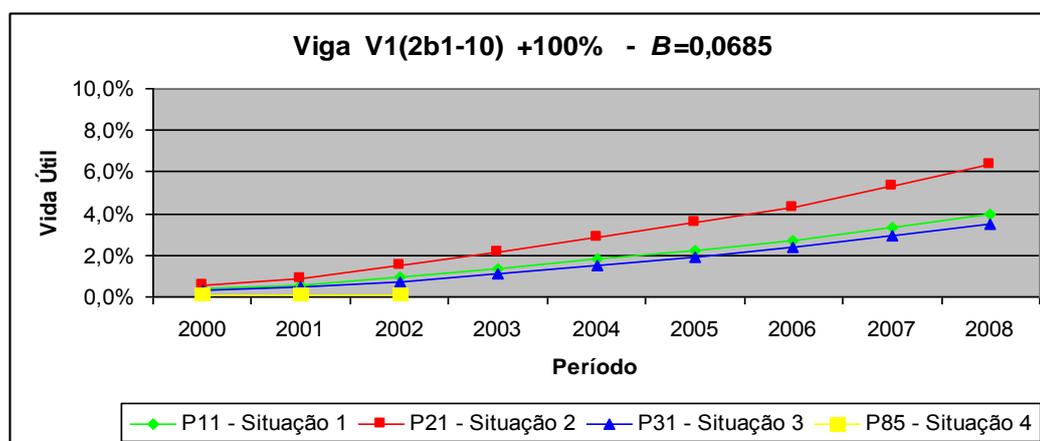
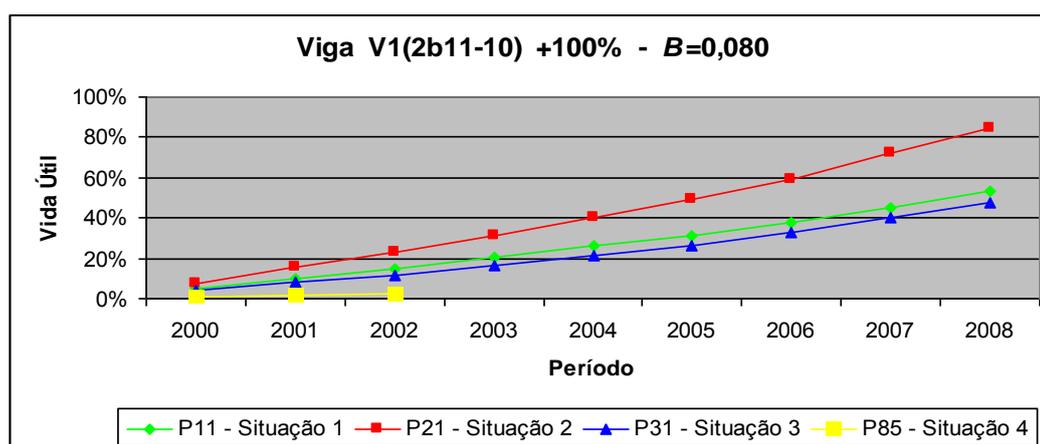
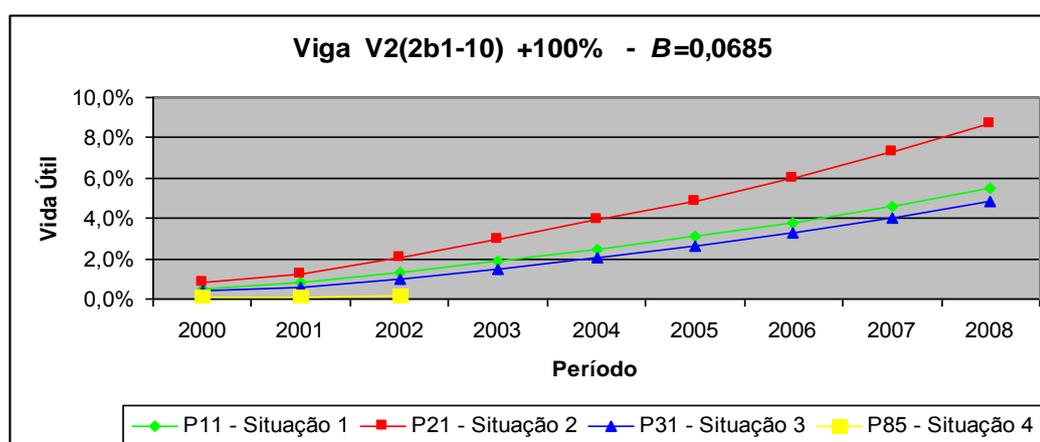
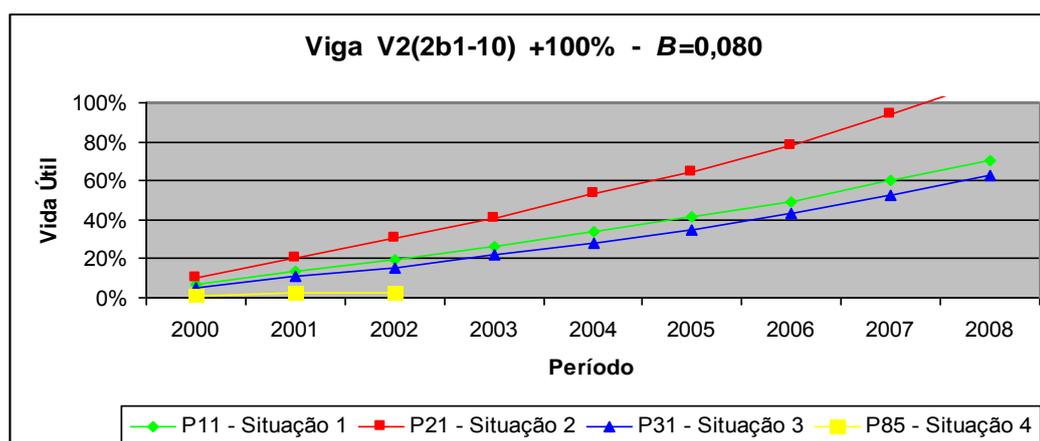
Figura 7.11 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, VI_{2b1-10}.

Tabela 7.12– Consumo de vida útil de fadiga acumulado no período, Cenário 1-C, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,53%	6,44%	0,82%	9,97%	0,41%	5,06%	0,09%	1,07%
2001	0,79%	13,16%	1,24%	20,29%	0,60%	10,70%	0,12%	2,25%
2002	1,33%	19,68%	2,06%	30,27%	0,98%	15,35%	0,16%	2,78%
2003	1,88%	26,46%	2,92%	40,78%	1,50%	21,68%	-	-
2004	2,50%	33,96%	3,94%	53,24%	2,04%	28,22%	-	-
2005	3,09%	41,20%	4,87%	64,64%	2,58%	34,87%	-	-
2006	3,76%	49,35%	5,95%	77,80%	3,24%	42,86%	-	-
2007	4,61%	59,75%	7,30%	94,24%	4,06%	52,83%	-	-
2008	5,48%	70,39%	8,69%	111,19%	4,84%	62,44%	-	-

Figura 7.12 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 1-C, V2_{2b1-10}.

7.1.4 Análise dos Efeitos do Crescimento do Número de Veículos com Sobrepeso Legal – Cenário 1

Como se observa analisando os itens anteriores, o efeito do aumento da quantidade de veículos com sobrepeso é extremamente significativo, mesmo considerando apenas o sobrepeso permitido (5%), e causa um impacto importante na vida útil esperada.

A viga bi apoiada V1₁₋₁₀ apresenta um consumo de vida útil de fadiga considerável, até mais de 1% ao ano (P21), para 100% dos veículos com sobrepeso permitido. Se considerarmos que a mesma fizesse parte da estrutura de uma OAE mais antiga, com 25 anos de idade, a mesma pode já estar, ou poderá estar logo, em situação de atenção com o crescimento do sobrepeso. E poderá chegar a situações críticas se ocorrer a ampliação do sobrepeso. Já a viga V2₁₋₁₀, projetada para o trem de carga 45, mesmo quando se considera que 100% dos veículos tem o sobrepeso permitido, apesar de apresentar um crescimento de até 3 vezes na rapidez de acúmulo dos danos, continua a apresentar um consumo de vida útil de fadiga desprezível, podendo-se considerar uma perspectiva de vida útil de fadiga bastante elevada.

Para os modelos de vigas com balanço, dimensionados com trem tipo 36 ou 45, a análise mostra que podem ocorrer situações consideradas críticas. O que era de se esperar, uma vez que, para esses modelos, as solicitações causadas pelos veículos reais, sem sobrepeso, já ultrapassam as solicitações de projeto. As figuras 7.13 a 7.16 apresentam um comparativo de consumo de vida útil de fadiga variando a quantidade de veículos com sobrepeso permitido, para $\beta=0,080$, em cada uma das situações (P11, P21, P31 e P85), para os quatro modelos de vigas analisados e para um espectro de carga de acordo com os dados coletados

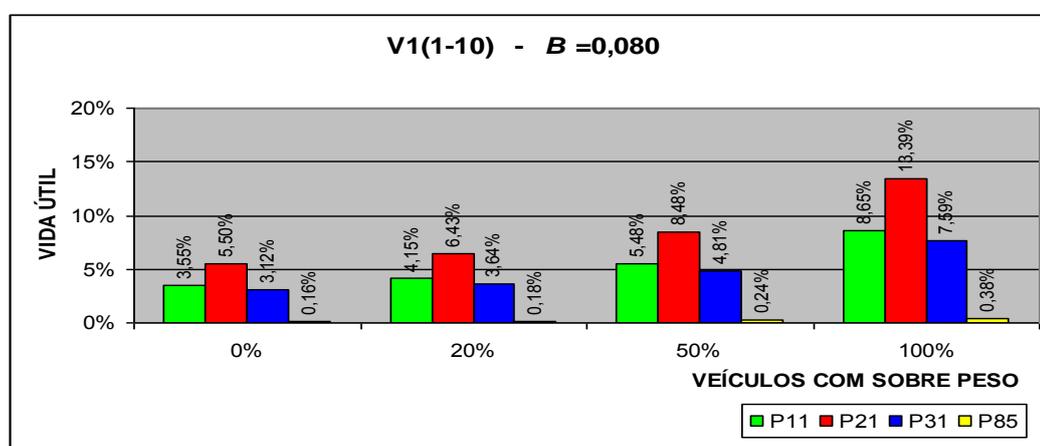


Figura 7.13 – Efeito do Crescimento do No. de Veículos com Sobrepeso Legal – V1₁₋₁₀.

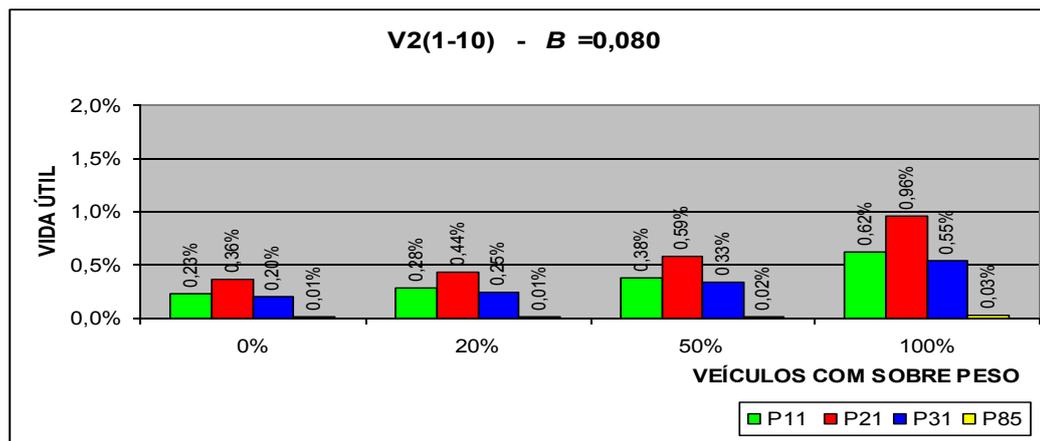


Figura 7.14 – Efeito do Crescimento do No. de Veículos com Sobrepeso Legal – V2₁₋₁₀.

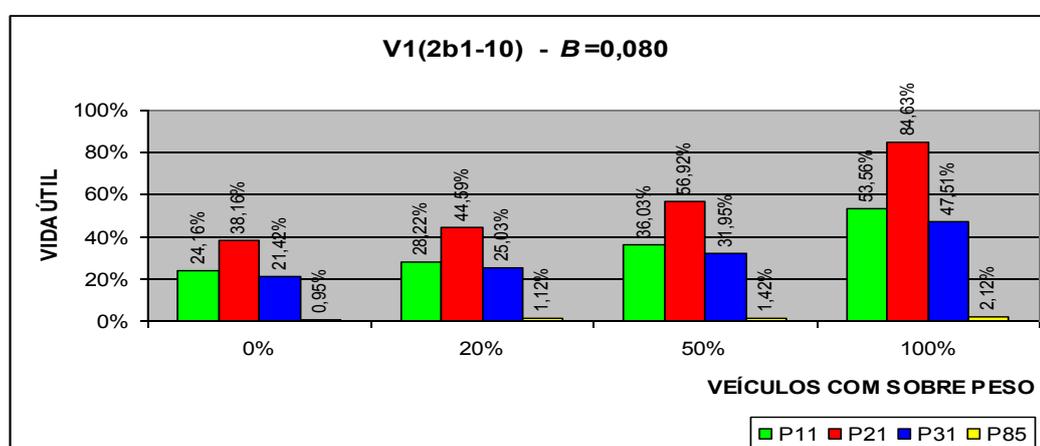


Figura 7.15 – Efeito do Crescimento do No. de Veículos com Sobrepeso Legal – V1_{2b1-10}.

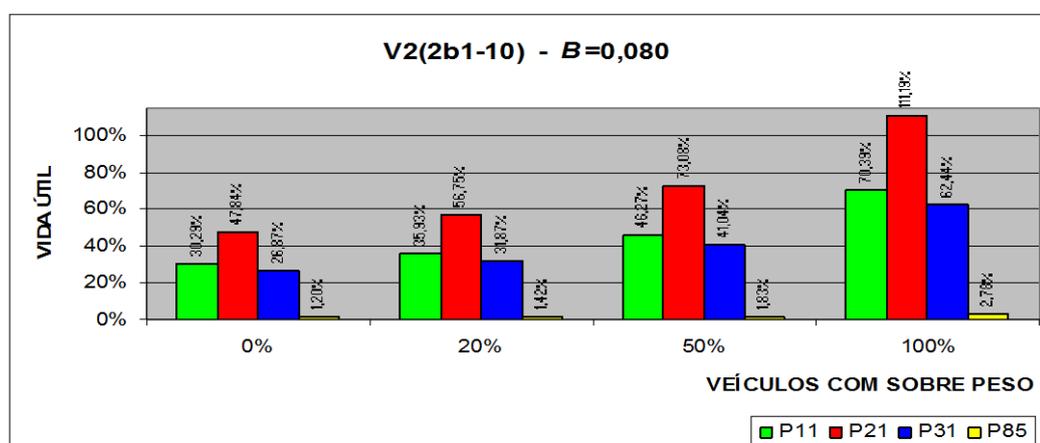


Figura 7.16 – Efeito do Crescimento do No. de Veículos com Sobrepeso Legal – V2_{2b1-10}.

Nos gráficos das figuras 7.17 a 7.20 são apresentadas estimativas de vida útil de fadiga para cada modelo de viga, considerando a variação de percentual de veículos com sobrepeso, e uma progressão linear de aumento de tráfego para os 10 anos subsequentes ao período de coleta de dados.

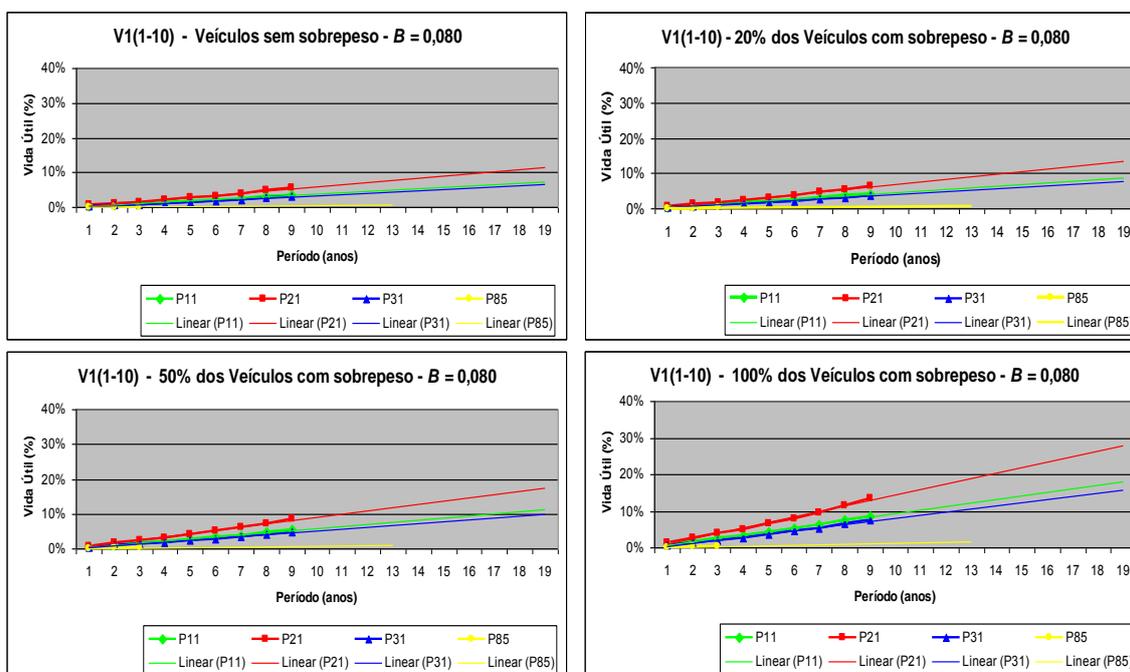


Figura 7.17 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V1₁₋₁₀.

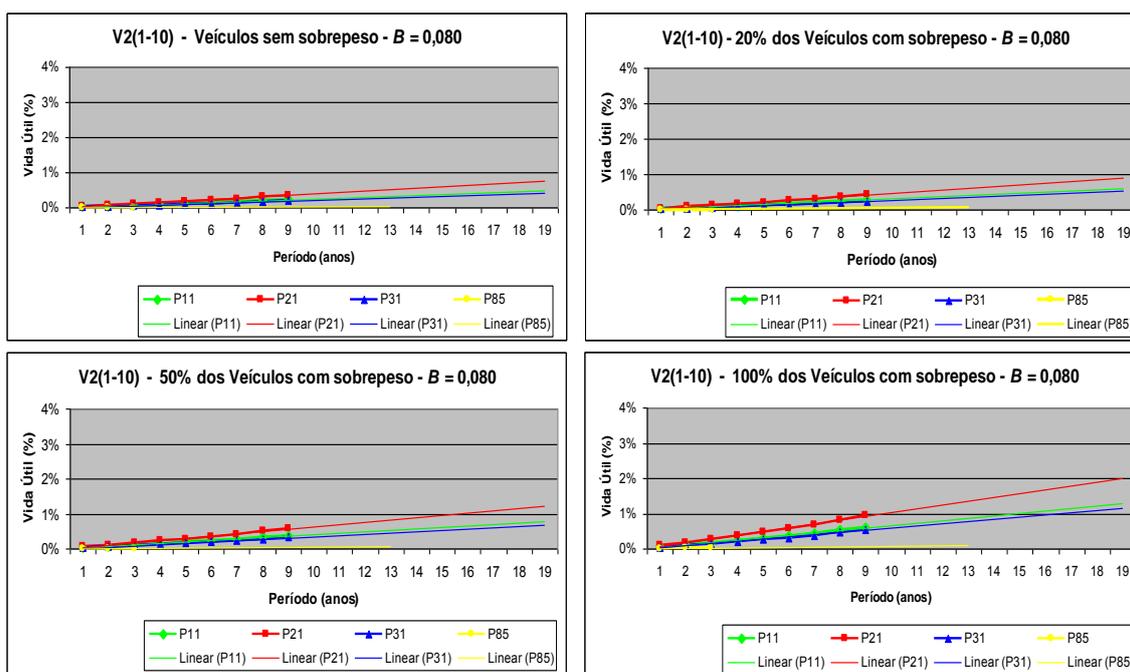


Figura 7.18 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V2₁₋₁₀.

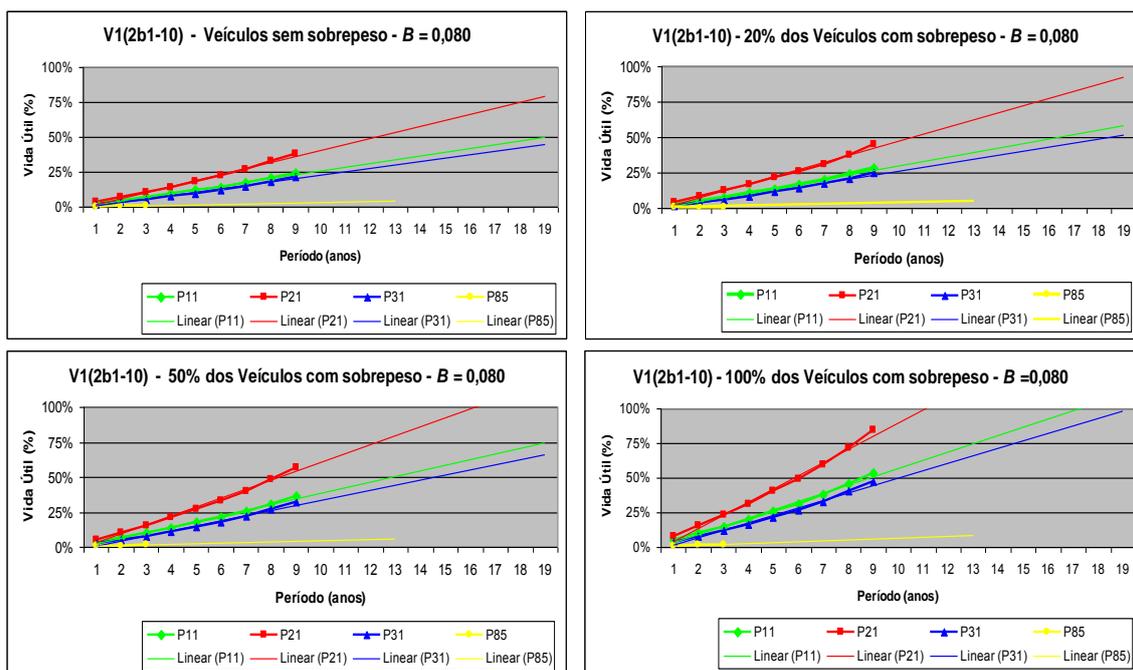


Figura 7.19 - Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V1_{2b1-10}.

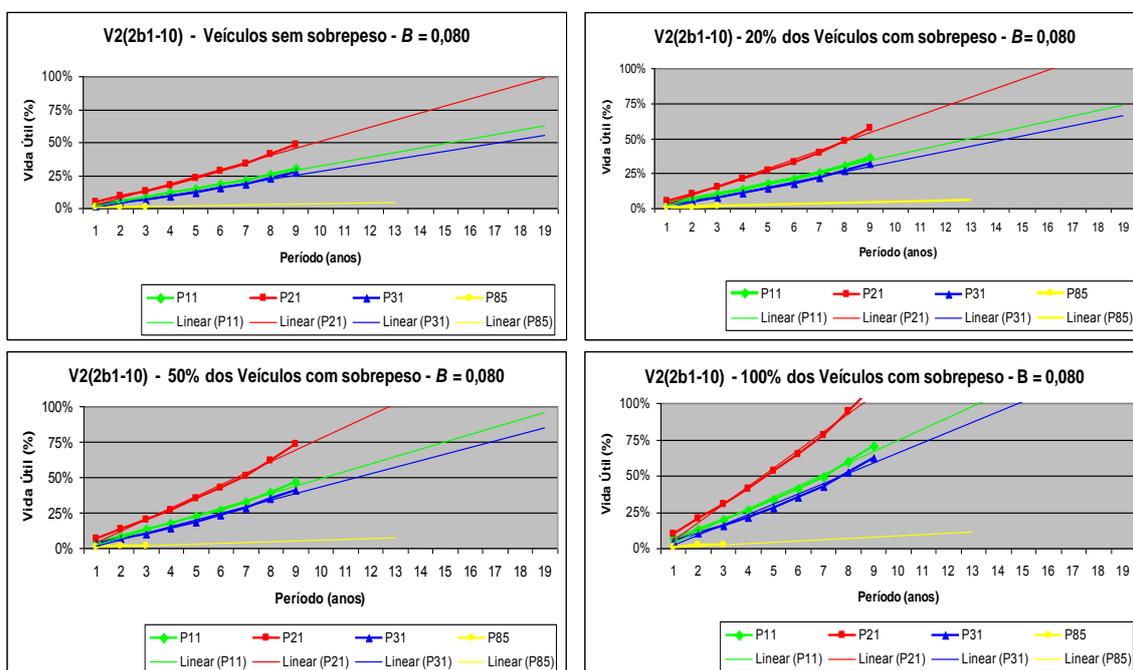


Figura 7.20 - Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 1, V2_{2b1-10}.

7.2 CENÁRIO 2: CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS PESADOS

De acordo com o apresentado no Capítulo 6, em todos os pontos de coleta de dados foi registrado um crescimento no volume de tráfego anual, no período considerado (vide figura 6.3), com taxas de crescimento médio diferentes (vide tabela 6.6). Verificou-se claramente, também, uma tendência de crescimento do percentual de veículos pesados na composição do fluxo, como indicam as tabelas 6.8 a 6.11, que contêm os percentuais de cada tipo de veículo em relação ao número total de passagens anuais. Constatou-se, ainda, que o percentual de veículos que provoca danos maiores que os provocados pelo carregamento de projeto tende a aumentar ao longo do período de registro (Δ positivo). Já o percentual de veículos que causa danos menores decresceu (Δ negativo). Dadas estas tendências, decidiu-se que o grupo de cenários tipo 2 deveria se constituir em análises dos efeitos provocados pelo crescimento do número de veículos pesados e do percentual desses veículos dentro do fluxo

Para fins de análise dos efeitos do crescimento do número de veículos pesados foram feitas simulações para os 10 anos subsequentes ao período de coleta de dados, considerando:

- a) Cenário 2-A com crescimento anual de passagem de veículos igual à taxa média de variação do tráfego (tabela 6.6), com a distribuição de cada categoria de veículo de acordo com a média de distribuição, tabelas 6.8 a 6.11, para cada posto de coleta de dados.
- b) Cenário 2-B com crescimento anual de passagem de veículos igual à taxa média de variação (tabela 6.6), com a distribuição de cada categoria de veículo de acordo com a média de distribuição somada com os incrementos médios anuais (Δ médio – variação na porcentagem de cada categoria de veículos), tabelas 6.8 a 6.11, para cada posto de coleta de dados.

A tabela 7.13 mostra os espectros estendidos (período de coleta de dados + 10 anos), montados para simular um cenário onde, nos 10 anos subsequentes ao período de coleta de dados, houvesse um crescimento no volume de tráfego anual igual à média de crescimento no período de registro, para cada posto de coleta, mantida a distribuição entre as categorias. O consumo de vida útil de fadiga foi então determinado através da acumulação dos danos provocados por esses espectros estendidos, em cada um dos modelos de vigas $V1_{1-10}$, $V2_{1-10}$, $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, considerando todos os veículos sem sobrecarga. A figura 7.21 ilustra o volume de tráfego considerado para os quatro postos de coleta de dados (P11, P21, P31 e

P85). Para ara os postos de coleta P11, P21 e P31, os 10 anos subsequentes correspondem ao período de 2009 a 2018, enquanto para o posto de coleta P85, correspondem ao período de 2004 a 2013.

Tabela 7.13 – Volume de tráfego do período + estimativa para 10 anos subsequentes.

Ano	Veículos / ano			
	P11	P21	P31	P85
2000	677096	1366186	756234	118592
2001	716947	1389810	861037	138333
2002	667705	1334617	776569	145962
2003	658937	1318307	800621	-
2004	716473	1374115	743796	-
2005	699546	1380777	729280	-
2006	725597	1441990	794407	-
2007	821410	1560602	795363	-
2008	781595	1537104	764594	-
"1"	797383	1560929	767729	162135
"2"	813490	1585124	770877	180099
"3"	829922	1609693	774037	200054
"4"	846687	1634643	777211	222220
"5"	863790	1659980	780397	246842
"6"	881239	1685710	783597	274192
"7"	899040	1711838	786810	304573
"8"	917200	1738372	790036	338319
"9"	935728	1765317	793275	375805
"10"	954629	1792679	796527	417444

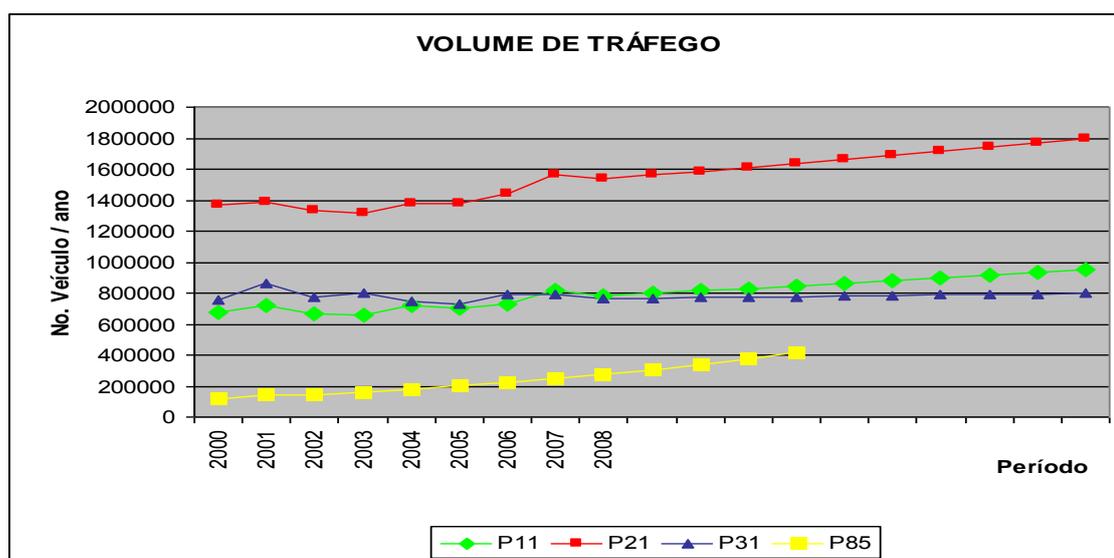


Figura 7.21 – Volume de Tráfego, período+10 anos, com taxa de crescimento médio.

7.2.1 Cenário 2-A

O consumo de vida útil de fadiga acumulado no período de coleta de dados + 10 anos subsequentes, para os 4 modelos de viga considerados neste capítulo, nas diferentes situações (P11, P21, P31 e P85) e considerado as condições estabelecidas para o cenário 2-A, isto é, crescimento anual de passagem de veículos igual à taxa média de variação do tráfego, com a distribuição de cada categoria de veículo de acordo com a média de distribuição, para cada posto de coleta de dados, são apresentados nas tabelas 7.14 a 7.17 e representados graficamente nas figuras 7.22 a 7.25.

Tabela 7.14 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 2-A, $V1_{1-10}$ ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	0,343%	0,522%	0,273%	0,061%
2001	0,690%	1,050%	0,574%	0,126%
2002	1,023%	1,551%	0,817%	0,186%
2003	1,370%	2,084%	1,142%	-
2004	1,753%	2,676%	1,486%	-
2005	2,125%	3,262%	1,821%	-
2006	2,536%	3,918%	2,218%	-
2007	3,048%	4,718%	2,686%	-
2008	3,550%	5,495%	3,115%	-
"1"	3,985%	6,17%	3,46%	0,26%
"2"	4,429%	6,85%	3,80%	0,34%
"3"	4,882%	7,54%	4,14%	0,44%
"4"	5,344%	8,24%	4,49%	0,54%
"5"	5,816%	8,96%	4,84%	0,65%
"6"	6,297%	9,68%	5,18%	0,78%
"7"	6,788%	10,42%	5,53%	0,92%
"8"	7,289%	11,16%	5,88%	1,08%
"9"	7,799%	11,92%	6,24%	1,25%
"10"	8,321%	12,69%	6,59%	1,45%

Tabela 7.15 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 2-A, V2₁₋₁₀ ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	0,022%	0,034%	0,018%	0,004%
2001	0,045%	0,069%	0,038%	0,008%
2002	0,067%	0,101%	0,053%	0,012%
2003	0,090%	0,136%	0,075%	-
2004	0,115%	0,176%	0,097%	-
2005	0,139%	0,213%	0,119%	-
2006	0,166%	0,256%	0,145%	-
2007	0,199%	0,308%	0,175%	-
2008	0,232%	0,359%	0,203%	-
“1”	0,260%	0,402%	0,226%	0,017%
“2”	0,289%	0,447%	0,248%	0,023%
“3”	0,319%	0,492%	0,271%	0,029%
“4”	0,349%	0,538%	0,293%	0,035%
“5”	0,380%	0,584%	0,316%	0,043%
“6”	0,411%	0,632%	0,339%	0,051%
“7”	0,443%	0,680%	0,361%	0,060%
“8”	0,476%	0,729%	0,384%	0,071%
“9”	0,509%	0,778%	0,407%	0,082%
“10”	0,543%	0,828%	0,430%	0,095%

Tabela 7.16 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 2-A, V1_{2b1-10} ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	2,211%	3,423%	1,738%	0,367%
2001	4,519%	6,966%	3,672%	0,771%
2002	6,754%	10,392%	5,269%	1,138%
2003	9,082%	13,999%	7,441%	-
2004	11,656%	18,278%	9,685%	-
2005	14,141%	22,189%	11,968%	-
2006	16,938%	26,708%	14,707%	-
2007	20,505%	32,350%	18,129%	-
2008	24,155%	38,165%	21,424%	-
“1”	27,112%	42,82%	23,77%	1,60%
“2”	30,128%	47,54%	26,13%	2,11%
“3”	33,205%	52,34%	28,49%	2,68%
“4”	36,344%	57,21%	30,87%	3,31%
“5”	39,547%	62,16%	33,26%	4,02%
“6”	42,814%	67,18%	35,65%	4,80%
“7”	46,148%	72,29%	38,06%	5,66%
“8”	49,548%	77,47%	40,47%	6,62%
“9”	53,018%	82,73%	42,90%	7,69%
“10”	56,557%	88,07%	45,33%	8,88%

Tabela 7.17 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 2-A, $V2_{2b1-10}$ ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	2,772%	4,290%	2,180%	0,460%
2001	5,665%	8,731%	4,604%	0,967%
2002	8,467%	13,024%	6,606%	1,427%
2003	11,386%	17,547%	9,330%	-
2004	14,614%	22,911%	12,143%	-
2005	17,729%	27,813%	15,006%	-
2006	21,236%	33,479%	18,441%	-
2007	25,709%	40,552%	22,733%	-
2008	30,287%	47,842%	26,865%	-
“1”	33,993%	53,67%	29,81%	2,00%
“2”	37,775%	59,60%	32,76%	2,65%
“3”	41,633%	65,61%	35,73%	3,36%
“4”	45,569%	71,72%	38,71%	4,15%
“5”	49,585%	77,92%	41,70%	5,03%
“6”	53,682%	84,22%	44,71%	6,01%
“7”	57,861%	90,62%	47,72%	7,10%
“8”	62,125%	97,11%	50,75%	8,30%
“9”	66,475%	103,71%	53,79%	9,64%
“10”	70,913%	110,41%	56,85%	11,13%

7.2.2 Cenário 2-B

Para simular um cenário onde, por 10 anos consecutivos ao período de coleta de dados, além do crescimento no volume de tráfego por ano, ocorresse também a variação do percentual de cada categoria de veículo, considerou-se, o mesmo crescimento no volume de tráfego, tabela 7.13 e a figura 7.21, porém com uma distribuição no percentual de cada categoria de veículo igual a média + incremento/ano (tabela 6.7). Foram, assim, determinados espectros estendidos (período de coleta de cada posto + 10 anos subsequentes).

O consumo de vida útil de fadiga, foi, novamente, medido pelo dano acumulado, provocado por esses espectros estendidos, em cada um dos quatro modelos de vigas analisados neste capítulo, $V1_{1-10}$, $V2_{1-10}$, $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, considerando todos os veículos sem sobrecarga, apresentados nas tabelas 7.18 a 7.21.

Tabela 7.18 – Consumo de vida útil acumulado, Cenário 2-B , V1₁₋₁₀ ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	0,343%	0,522%	0,273%	0,061%
2001	0,690%	1,050%	0,574%	0,126%
2002	1,023%	1,551%	0,817%	0,186%
2003	1,370%	2,084%	1,142%	-
2004	1,753%	2,696%	1,486%	-
2005	2,125%	3,262%	1,821%	-
2006	2,536%	3,918%	2,218%	-
2007	3,048%	4,718%	2,686%	-
2008	3,550%	5,495%	3,115%	-
“1”	3,999%	6,19%	3,48%	0,25%
“2”	4,470%	6,92%	3,86%	0,32%
“3”	4,965%	7,69%	4,26%	0,38%
“4”	5,485%	8,49%	4,68%	0,44%
“5”	6,029%	9,34%	5,13%	0,49%
“6”	6,599%	10,22%	5,59%	0,53%
“7”	7,196%	11,14%	6,08%	0,56%
“8”	7,821%	12,11%	6,59%	0,57%
“9”	8,473%	13,11%	7,12%	0,57%
“10”	9,156%	14,16%	7,67%	0,54%

Tabela 7.19 – Consumo de vida útil acumulado, Cenário 2-B , V2₁₋₁₀ ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	0,022%	0,034%	0,018%	0,004%
2001	0,045%	0,069%	0,038%	0,008%
2002	0,067%	0,101%	0,053%	0,012%
2003	0,090%	0,136%	0,075%	-
2004	0,115%	0,176%	0,097%	-
2005	0,139%	0,213%	0,119%	-
2006	0,166%	0,256%	0,145%	-
2007	0,199%	0,308%	0,175%	-
2008	0,232%	0,359%	0,203%	-
“1”	0,261%	0,404%	0,227%	0,017%
“2”	0,292%	0,452%	0,252%	0,021%
“3”	0,324%	0,502%	0,278%	0,025%
“4”	0,358%	0,554%	0,306%	0,028%
“5”	0,394%	0,609%	0,335%	0,032%
“6”	0,431%	0,667%	0,365%	0,034%
“7”	0,470%	0,727%	0,397%	0,036%
“8”	0,510%	0,789%	0,430%	0,037%
“9”	0,553%	0,855%	0,464%	0,037%
“10”	0,597%	0,923%	0,500%	0,035%

Tabela 7.20 – Consumo de vida útil acumulado, Cenário 2-B , V1_{2b1-10} ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	2,211%	3,423%	1,738%	0,367%
2001	4,519%	6,966%	3,672%	0,771%
2002	6,754%	10,392%	5,269%	1,138%
2003	9,082%	13,999%	7,441%	-
2004	11,656%	18,278%	9,685%	-
2005	14,141%	22,189%	11,968%	-
2006	16,938%	26,708%	14,707%	-
2007	20,505%	32,350%	18,129%	-
2008	24,155%	38,165%	21,424%	-
“1”	27,252%	43,07%	23,96%	1,55%
“2”	30,552%	48,31%	26,71%	1,96%
“3”	34,065%	53,88%	29,66%	2,35%
“4”	37,795%	59,80%	32,82%	2,73%
“5”	41,752%	66,09%	36,19%	3,07%
“6”	45,943%	72,74%	39,77%	3,37%
“7”	50,375%	79,77%	43,56%	3,62%
“8”	55,057%	87,18%	47,56%	3,80%
“9”	59,997%	95,00%	51,78%	3,88%
“10”	65,203%	103,22%	56,22%	3,86%

Tabela 7.21 – Consumo de vida útil acumulado, Cenário 2-B , V2_{2b1-10} ($\beta=0,080$).

Ano	P11	P21	P31	P85
2000	2,772%	4,290%	2,180%	0,460%
2001	5,665%	8,731%	4,604%	0,967%
2002	8,467%	13,024%	6,606%	1,427%
2003	11,386%	17,547%	9,330%	-
2004	14,614%	22,911%	12,143%	-
2005	17,729%	27,813%	15,006%	-
2006	21,236%	33,479%	18,441%	-
2007	25,709%	40,552%	22,733%	-
2008	30,287%	47,842%	26,865%	-
“1”	34,169%	53,99%	30,05%	1,95%
“2”	38,308%	60,55%	33,49%	2,46%
“3”	42,712%	67,54%	37,19%	2,95%
“4”	47,391%	74,97%	41,16%	3,42%
“5”	52,353%	82,85%	45,38%	3,85%
“6”	57,608%	91,19%	49,87%	4,23%
“7”	63,167%	100,00%	54,62%	4,53%
“8”	69,038%	109,30%	59,64%	4,75%
“9”	75,233%	119,10%	64,94%	4,86%
“10”	81,763%	129,41%	70,51%	4,83%

7.2.3 Análise dos Efeitos do Crescimento do Número de Veículos Pesados – Cenário 2

Como se verifica no item anterior, os efeitos sobre a evolução dos danos por fadiga do aumento da quantidade de veículos pesados, em número e em proporção, é muito significativo, causando reduções importantes na vida útil esperada.

Para todos os modelos de vigas analisados, as curvas de evolução do consumo de vida útil de fadiga para um espectro estendido de carga, considerando as taxas de crescimento médio do número de passagens anuais, ocorrem diferenças de consumo no final do tempo considerado, tanto no cenário 2-A como no 2-B. O consumo de vida útil de fadiga é mais intenso para os espectros estendidos de P11, P21 e a P31. Já para o P85 ocorre uma redução acentuada, resultado de uma diferença significativa de padrão de evolução de fluxo de tráfego neste ponto. As figuras 7.22 a 7.25 apresentam um comparativo dos valores máximos ($\beta=0,0800$) de consumo de vida útil de fadiga, para os cenários 2-A e 2-B, de cada uma das situações (P11, P21, P31 e P85), para os quatro modelos de vigas analisados neste capítulo.

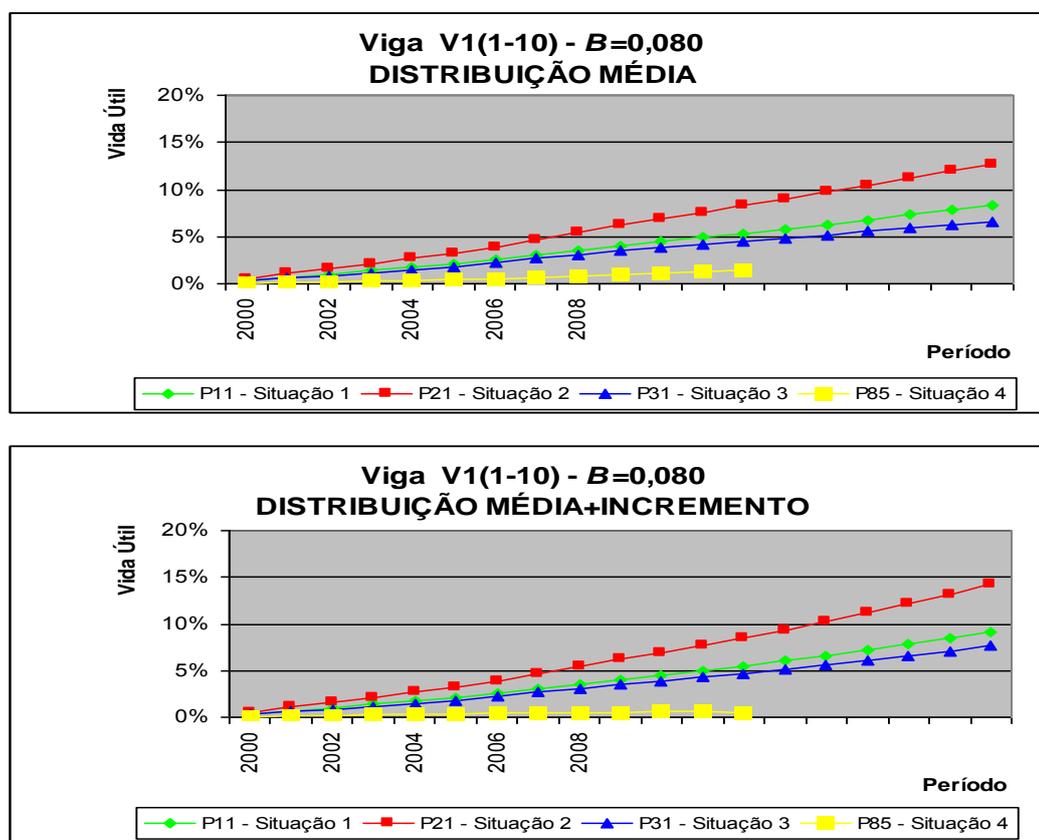


Figura 7.22 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V1₁₋₁₀.

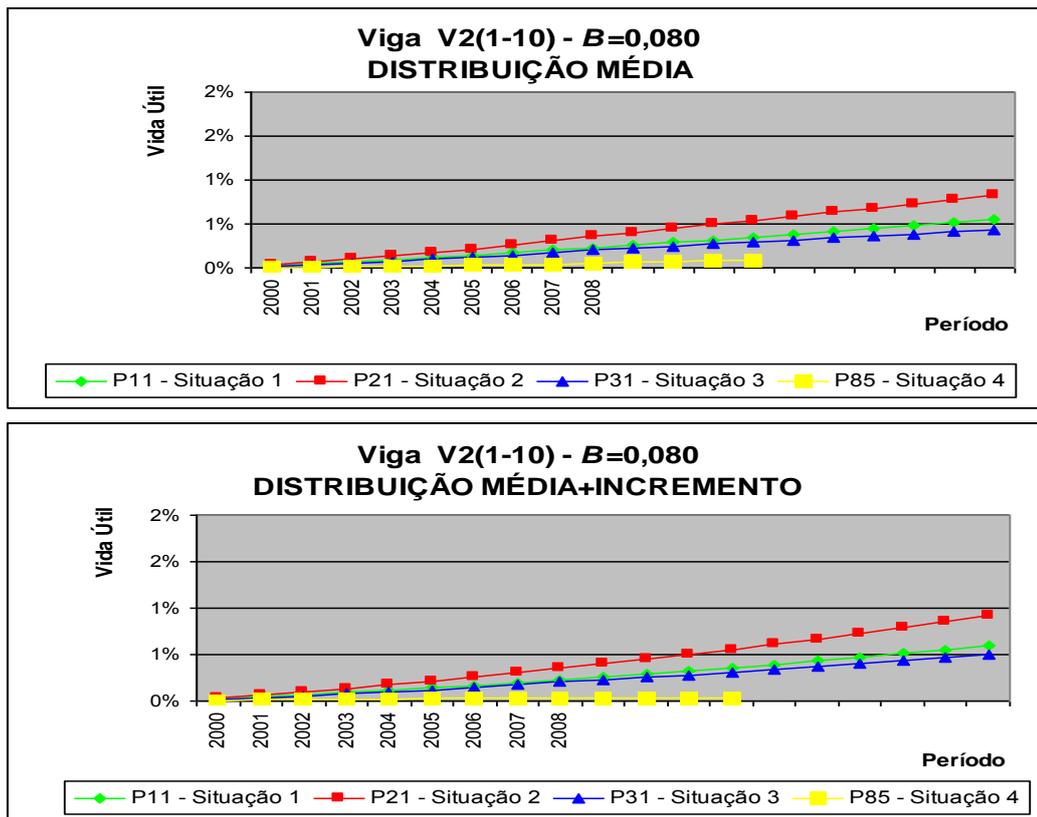


Figura 7.23 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V2₁₋₁₀.

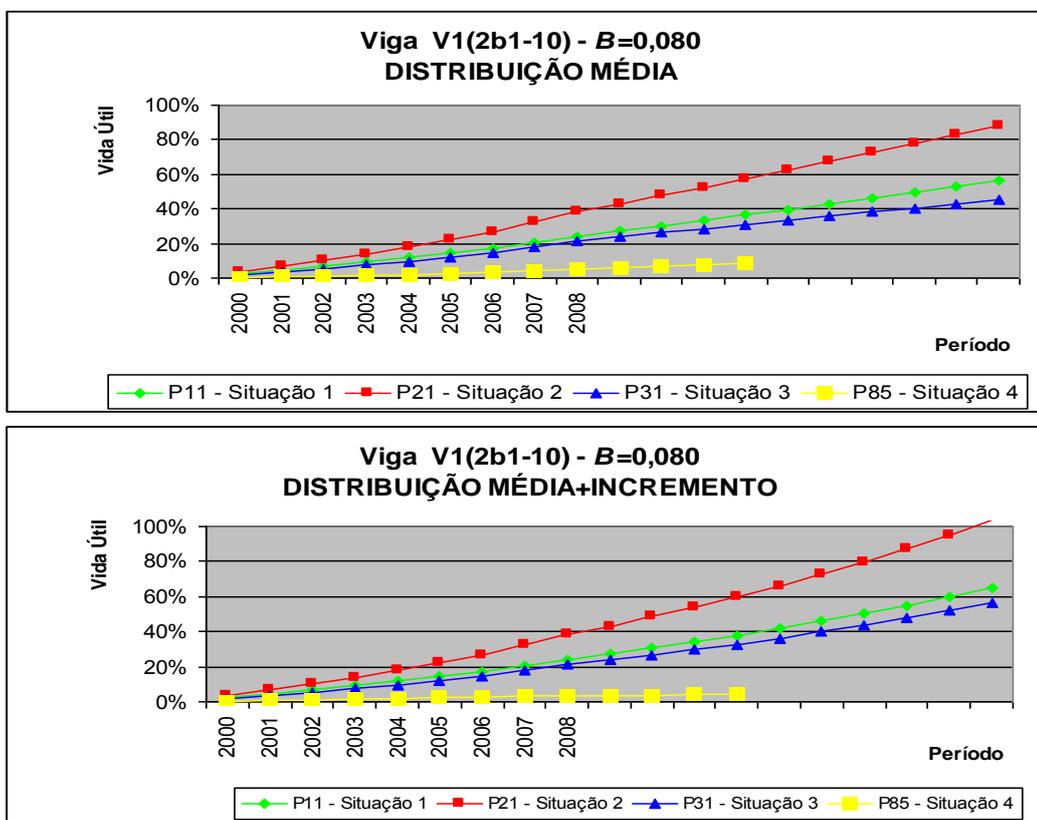


Figura 7.24 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V1_{2b1-10}.

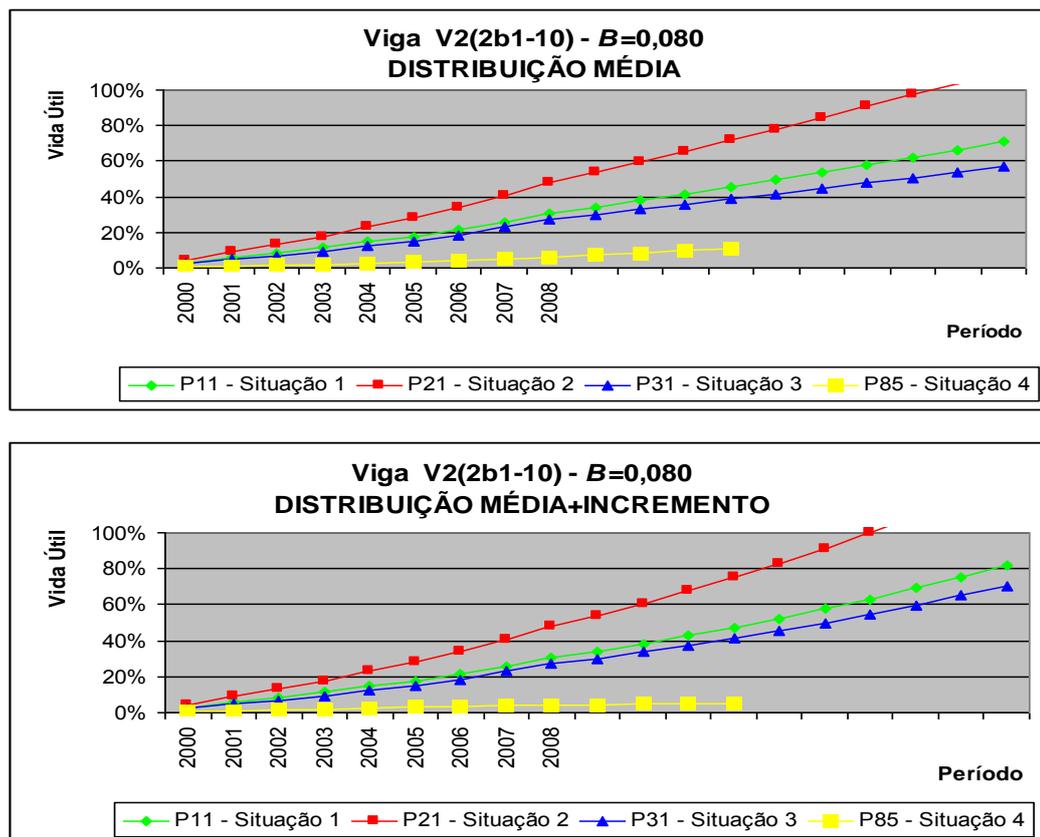


Figura 7.25 – Estimativa de consumo de vida útil de fadiga, Cenário 2, V2_{2b1-10}.

7.3 CENÁRIO 3: EFEITOS DO CRESCIMENTO DA DETERIORAÇÃO

O Cenário 3 foi montado buscando analisar o efeito sinérgico do acúmulo de danos por fadiga em estruturas com armaduras afetadas pela corrosão.

Obras de arte rodoviárias estão normalmente localizadas em zonas expostas, muitas vezes sobre rios ou córregos de água. Este tipo de exposição, associado a problemas de qualidade e deficiências de execução e manutenção, fazem com que muitas vigas de tabuleiros se encontrem em situações propícias para o desenvolvimento de processos de deterioração.

A corrosão das armaduras é certamente uma das manifestações patológicas mais frequentes e sérias que ocorrem em OAEs. A mesma ocasiona a perda de seção das barras de aço, reduz a aderência aço-concreto e provoca a fissuração do concreto, diminuindo a capacidade resistente e a inércia das peças atingidas. Estes efeitos deletérios fazem com que uma viga corroída deforme mais quando da passagem de cargas, intensificando os danos por fadiga.

Embora seja fácil entender como este efeito combinado pode se manifestar, praticamente não existem pesquisas desenvolvidas para quantificá-lo e os procedimentos de projeto não o consideram.

Buscando colaborar para um melhor entendimento da relevância deste efeito foram montados três cenários que consideram a ocorrência de fadiga em estruturas corroídas:

- a) Cenário 3-A: considera o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, associado a uma diminuição de 5% na área de aço, devido à corrosão, para cada modelo de viga;
- b) Cenário 3-B: considera o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, associado a uma diminuição de 10% na área de aço, devido à corrosão, para cada modelo de viga;
- c) Cenário 3-C: considera o espectro de carga gerado pelos dados de cada posto de coleta, associado a uma diminuição de 15% na área de aço, devido à corrosão, para cada modelo de viga.

7.3.1 Cenário 3-A

Para simular este cenário (fadiga mais 5% de redução de área devido à corrosão) foi efetuada uma redistribuição de tensões, tomando a nova área de aço, de forma a definir as novas solicitações. Depois foram calculados os novos valores de N para cada categoria de veículo, conforme mostrado nas tabelas do Anexo C.

Foi então calculado, para cada modelo de viga analisado neste capítulo ($V1_{1-10}$, $V2_{1-10}$, $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$) com área de aço 5% menor, o dano causado pela passagem dos espectros registrados em cada ponto de coleta, resultando nas tabelas mostradas no Anexo C.

A partir destes dados foi possível efetuar uma estimativa da evolução do consumo de vida útil acumulado no período. Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 7.22 a 7.25, e estão representados graficamente nas figuras 7.26 a 7.29.

Tabela 7.22 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V1₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,015%	0,369%	0,023%	0,571%	0,012%	0,290%	0,003%	0,061%
2001	0,021%	0,754%	0,032%	1,160%	0,016%	0,612%	0,003%	0,129%
2002	0,035%	1,126%	0,054%	1,730%	0,027%	0,879%	0,005%	0,159%
2003	0,051%	1,513%	0,078%	2,332%	0,041%	1,241%	-	-
2004	0,068%	1,943%	0,104%	3,027%	0,057%	1,615%	-	-
2005	0,084%	2,357%	0,129%	3,671%	0,071%	1,996%	-	-
2006	0,102%	2,824%	0,158%	4,425%	0,089%	2,453%	-	-
2007	0,125%	3,419%	0,193%	5,366%	0,109%	3,024%	-	-
2008	0,147%	4,028%	0,227%	6,336%	0,128%	3,574%	-	-

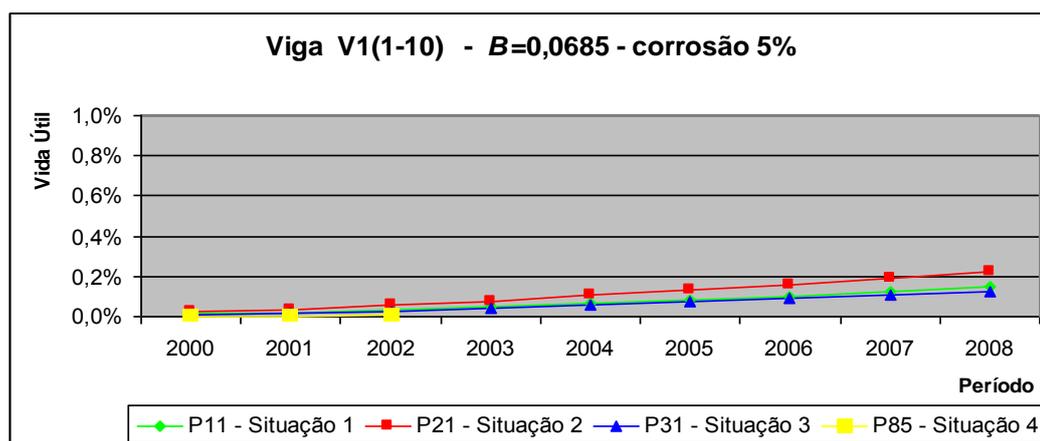
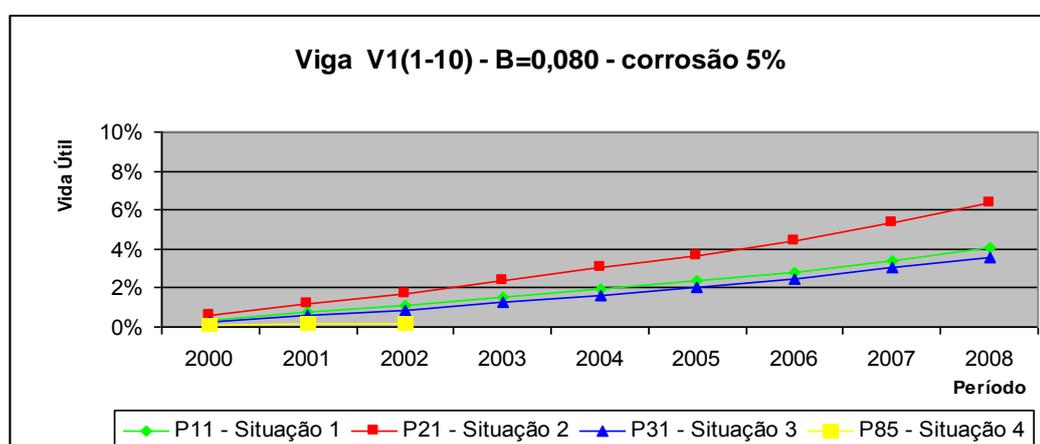
Figura 7.26 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V1₁₋₁₀.

Tabela 7.23 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,002%	0,053%	0,003%	0,081%	0,002%	0,043%	0,000%	0,009%
2001	0,003%	0,108%	0,004%	0,164%	0,002%	0,090%	0,000%	0,020%
2002	0,005%	0,159%	0,007%	0,242%	0,003%	0,127%	0,001%	0,024%
2003	0,007%	0,213%	0,010%	0,325%	0,005%	0,178%	-	-
2004	0,009%	0,273%	0,014%	0,420%	0,007%	0,232%	-	-
2005	0,011%	0,331%	0,017%	0,508%	0,009%	0,284%	-	-
2006	0,013%	0,395%	0,021%	0,610%	0,012%	0,346%	-	-
2007	0,016%	0,475%	0,025%	0,735%	0,014%	0,419%	-	-
2008	0,019%	0,553%	0,030%	0,856%	0,017%	0,485%	-	-

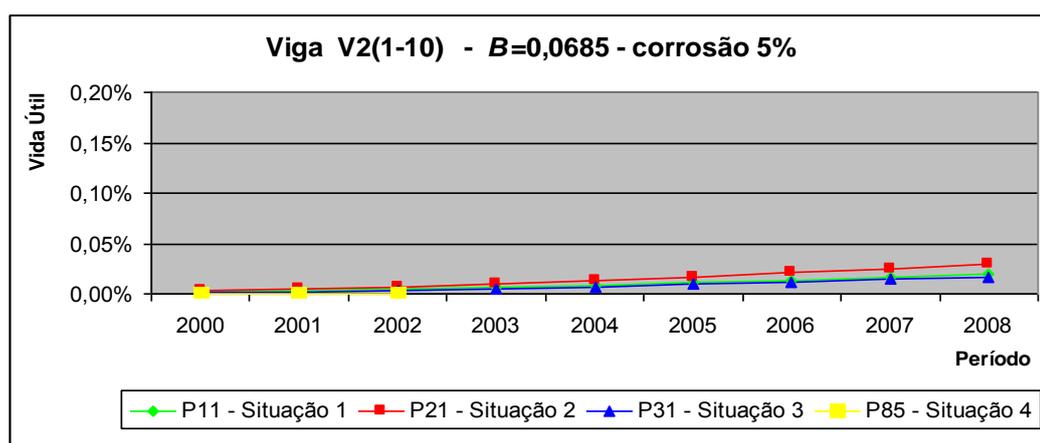
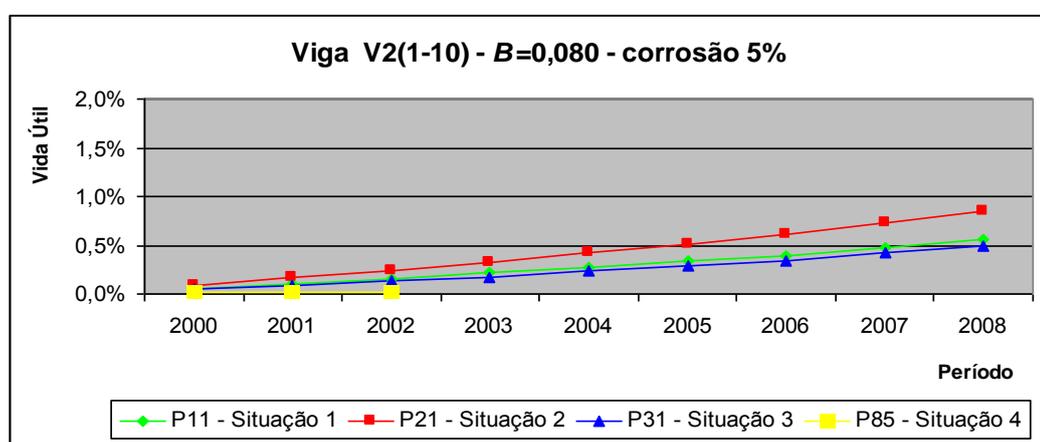
Figura 7.27 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-A, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.24 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V1_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,22%	3,04%	0,34%	4,71%	0,17%	2,39%	0,04%	0,50%
2001	0,33%	6,22%	0,52%	9,58%	0,25%	5,05%	0,05%	1,06%
2002	0,55%	9,29%	0,86%	14,30%	0,41%	7,25%	0,07%	1,31%
2003	0,78%	12,49%	1,21%	19,26%	0,63%	10,24%	-	-
2004	1,04%	16,04%	1,64%	25,15%	0,85%	13,32%	-	-
2005	1,28%	19,45%	2,03%	30,53%	1,07%	16,47%	-	-
2006	1,56%	23,30%	2,48%	36,74%	1,35%	20,23%	-	-
2007	1,92%	28,21%	3,04%	44,50%	1,69%	24,94%	-	-
2008	2,28%	33,23%	3,61%	52,50%	2,01%	29,48%	-	-

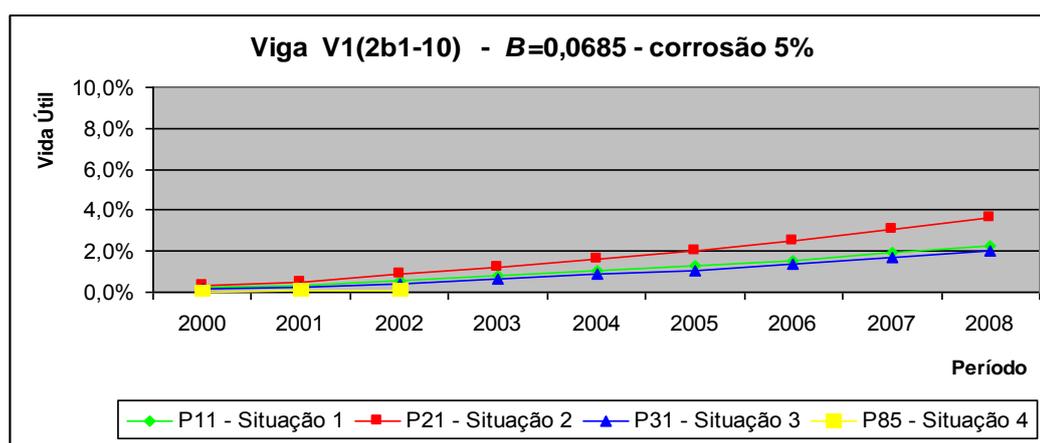
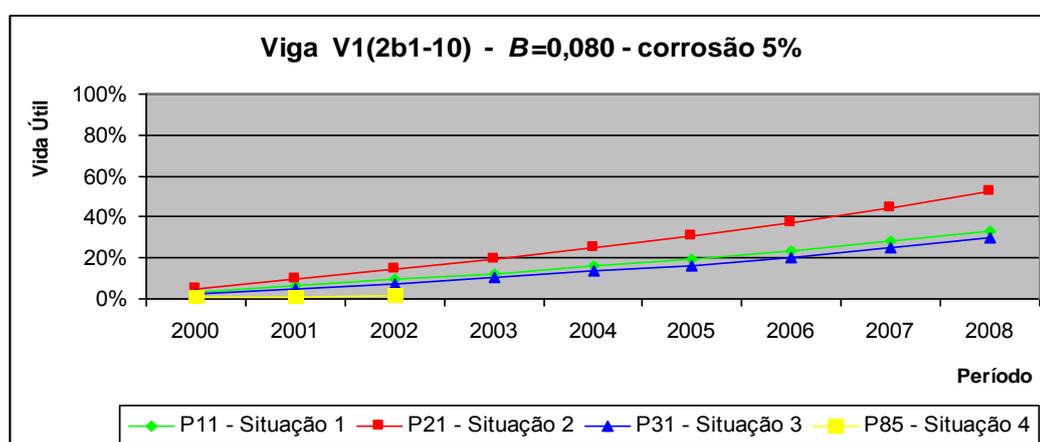
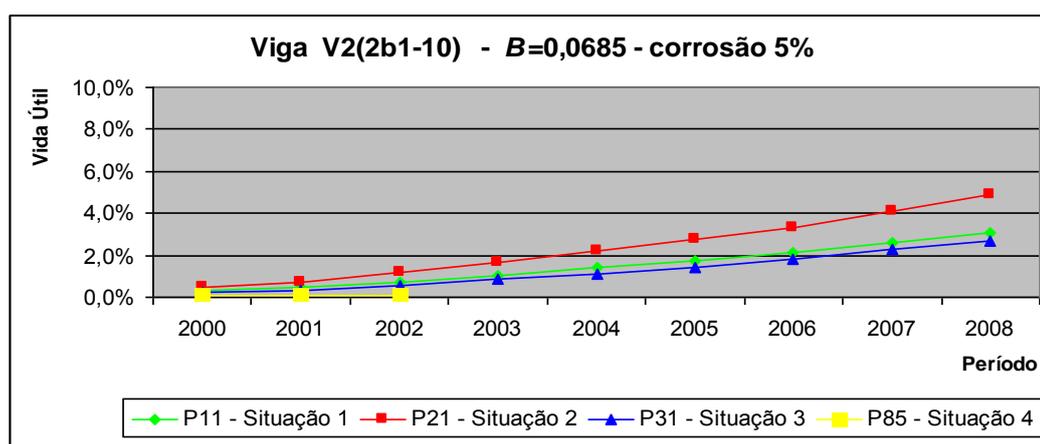
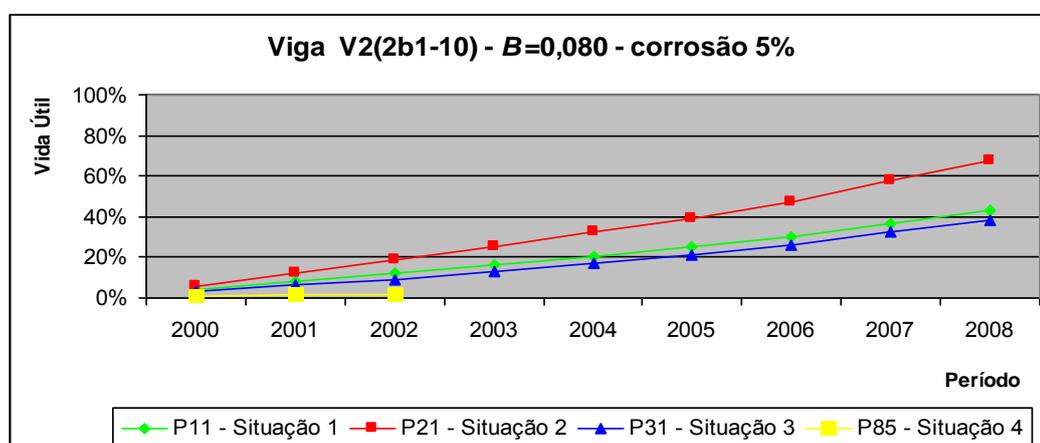
Figura 7.28 – Vida útil de fadiga no período, Cenário 3-A, V1_{2b1-10}.

Tabela 7.25 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-A, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,296%	3,922%	0,457%	6,069%	0,232%	3,084%	0,049%	0,651%
2001	0,444%	8,015%	0,696%	12,351%	0,338%	6,513%	0,067%	1,368%
2002	0,742%	11,979%	1,153%	18,426%	0,551%	9,345%	0,091%	1,693%
2003	1,054%	16,108%	1,635%	24,823%	0,842%	13,199%	-	-
2004	1,398%	20,675%	2,207%	32,413%	1,142%	17,179%	-	-
2005	1,730%	25,082%	2,730%	39,348%	1,447%	21,230%	-	-
2006	2,104%	30,043%	3,334%	47,363%	1,813%	26,090%	-	-
2007	2,581%	36,373%	4,088%	57,370%	2,271%	32,162%	-	-
2008	3,069%	42,848%	4,865%	67,683%	2,712%	38,008%	-	-

Figura 7.29 – Vida útil de fadiga consumida no período, cenário 3-A, V2_{2b1-10}.

7.3.2 Cenário 3-B

Para simular um cenário com a perda parcial da capacidade resistente devido diminuição da área de aço de 10%, pela corrosão, foi analisado o impacto e redistribuição das tensões, recalculando-se novos valores de N para cada categoria de veículo, tabelas Anexo C.

Para os modelos de vigas $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, e $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, foi determinado o dano causado por cada passagem dos espectros medidos, tabelas Anexo C. Os valores do consumo de vida útil acumulado no período, devido ao espectro de cada posto de coleta de dados, esta apresentado nas tabelas 7.26 a 7.29, e graficamente nas figuras 7.30 a 7.33.

Tabela 7.26 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-B, $V1_{1-10}$.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,024%	0,533%	0,036%	0,825%	0,019%	0,419%	0,039%	0,533%
2001	0,032%	1,090%	0,049%	1,678%	0,025%	0,885%	0,049%	1,107%
2002	0,054%	1,628%	0,083%	2,501%	0,041%	1,270%	0,068%	1,368%
2003	0,078%	2,188%	0,119%	3,371%	0,063%	1,794%	-	-
2004	0,104%	2,809%	0,161%	4,377%	0,087%	2,335%	-	-
2005	0,130%	3,408%	0,199%	5,308%	0,110%	2,886%	-	-
2006	0,158%	4,083%	0,244%	6,398%	0,137%	3,546%	-	-
2007	0,192%	4,943%	0,298%	7,758%	0,168%	4,372%	-	-
2008	0,226%	5,824%	0,350%	9,160%	0,197%	5,167%	-	-

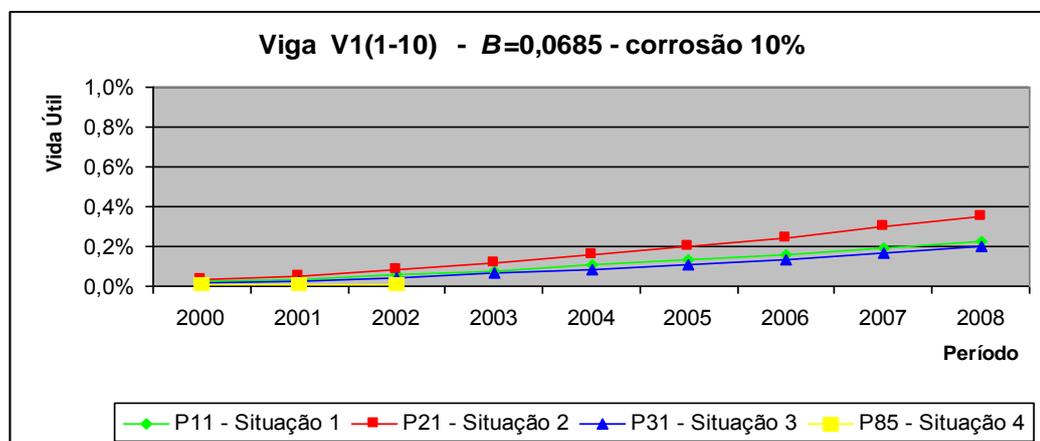
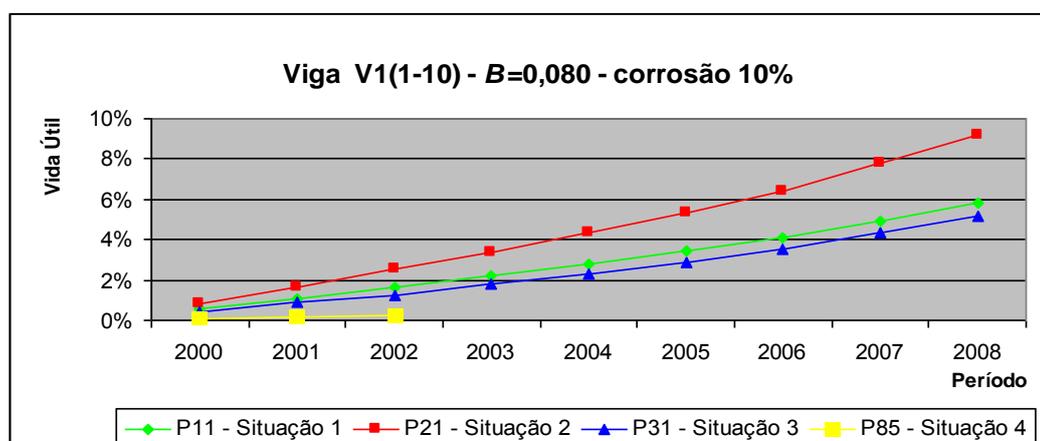


Figura 7.30 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, $V1_{1-10}$

Tabela 7.27 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-B, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,004%	0,095%	0,006%	0,144%	0,003%	0,076%	0,0007%	0,017%
2001	0,005%	0,191%	0,008%	0,290%	0,004%	0,159%	0,0009%	0,035%
2002	0,009%	0,283%	0,014%	0,429%	0,007%	0,226%	0,0012%	0,043%
2003	0,013%	0,379%	0,020%	0,576%	0,011%	0,316%	-	-
2004	0,017%	0,485%	0,027%	0,745%	0,014%	0,411%	-	-
2005	0,021%	0,588%	0,033%	0,901%	0,018%	0,504%	-	-
2006	0,026%	0,701%	0,040%	1,082%	0,023%	0,613%	-	-
2007	0,032%	0,843%	0,049%	1,303%	0,028%	0,743%	-	-
2008	0,038%	0,981%	0,058%	1,518%	0,033%	0,861%	-	-

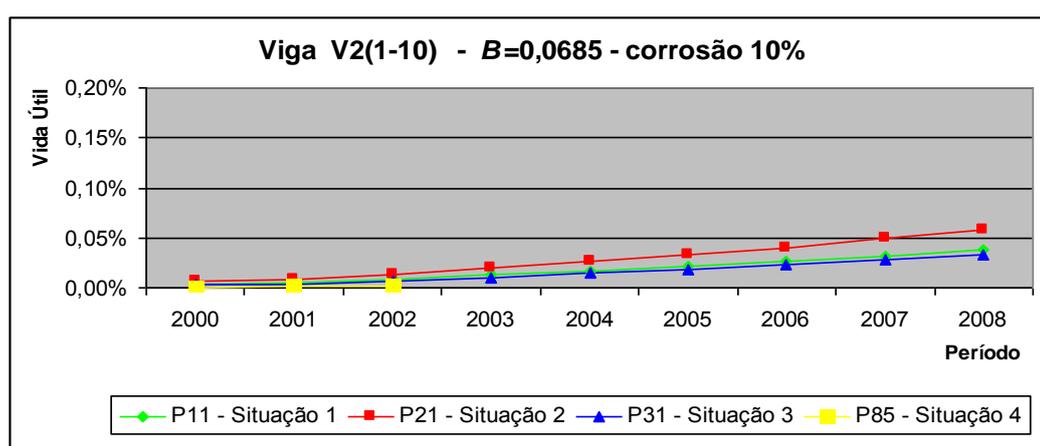
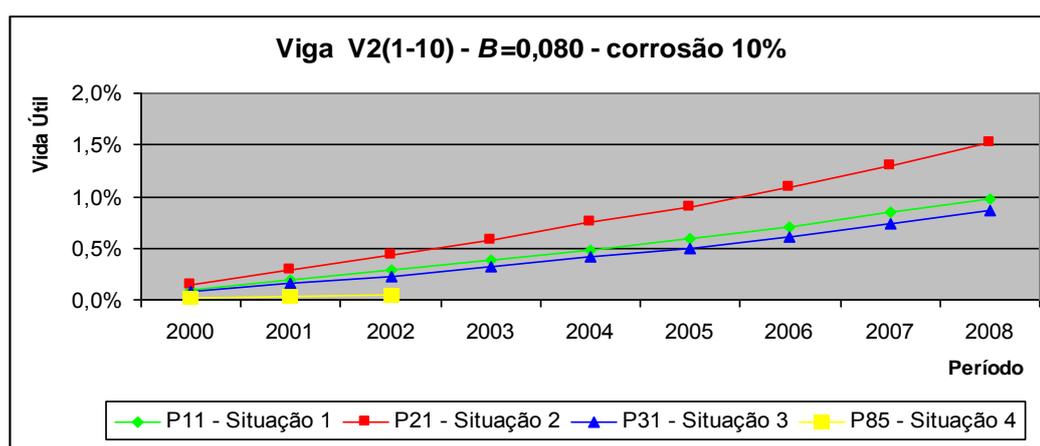
Figura 7.31 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.28 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, cenário 3-B, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,33%	4,30%	0,51%	6,65%	0,26%	3,38%	0,05%	0,71%
2001	0,49%	8,78%	0,77%	13,54%	0,38%	7,14%	0,07%	1,50%
2002	0,83%	13,13%	1,28%	20,20%	0,61%	10,24%	0,10%	1,86%
2003	1,17%	17,65%	1,82%	27,21%	0,94%	14,46%	-	-
2004	1,55%	22,66%	2,46%	35,53%	1,27%	18,83%	-	-
2005	1,92%	27,49%	3,04%	43,13%	1,61%	23,27%	-	-
2006	2,34%	32,92%	3,71%	51,91%	2,02%	28,59%	-	-
2007	2,87%	39,86%	4,55%	62,88%	2,53%	35,24%	-	-
2008	3,41%	46,96%	5,41%	74,18%	3,02%	41,65%	-	-

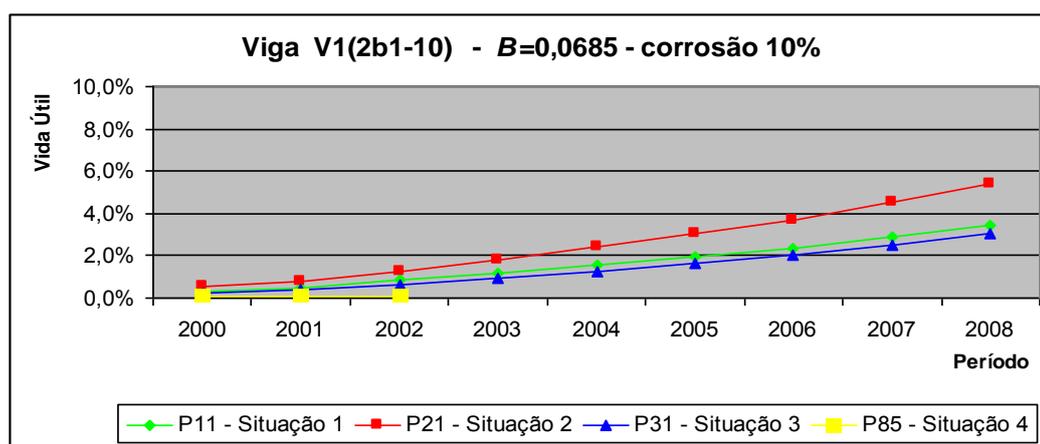
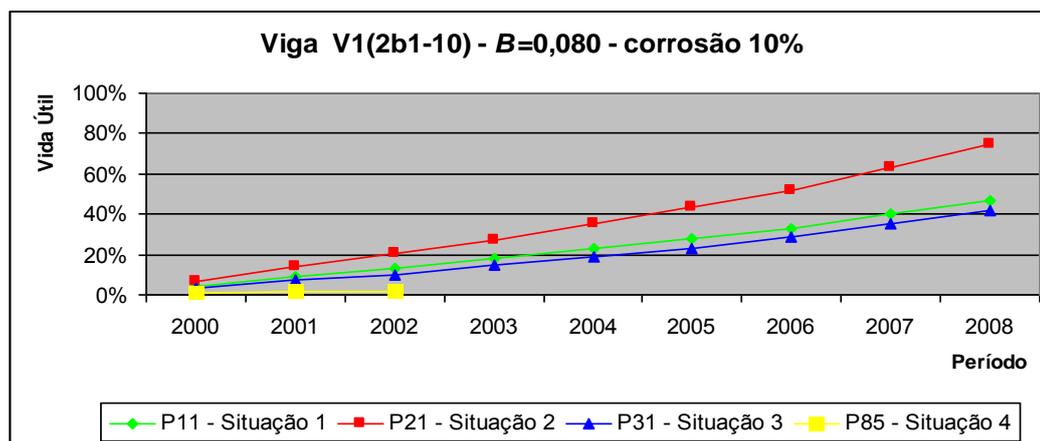
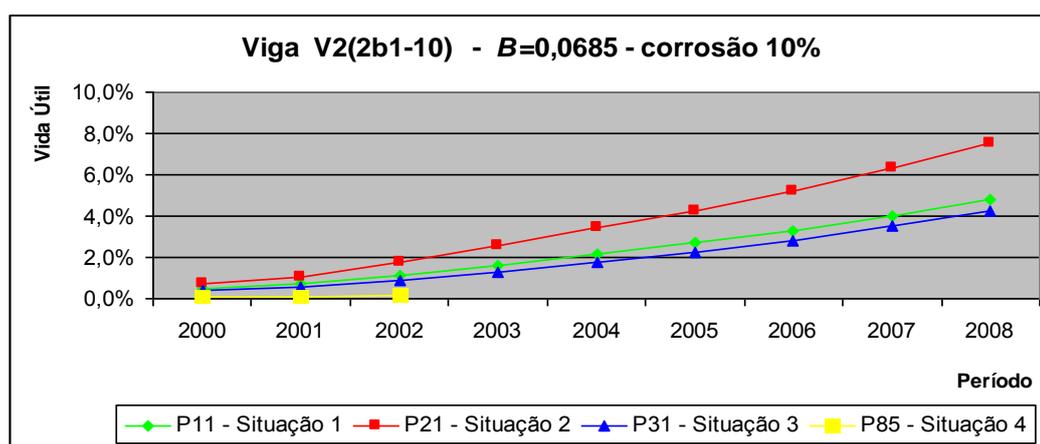
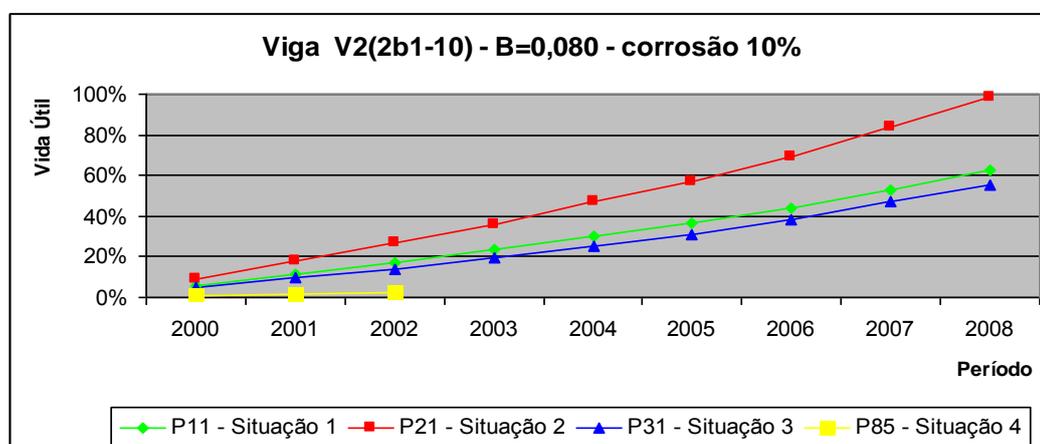
Figura 7.32 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V1_{2b1-10}.

Tabela 7.29 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-B, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,459%	5,712%	0,709%	8,839%	0,361%	4,491%	0,076%	0,948%
2001	0,688%	11,673%	1,079%	17,988%	0,524%	9,486%	0,103%	1,992%
2002	1,152%	17,446%	1,789%	26,834%	0,855%	13,610%	0,141%	2,466%
2003	1,635%	23,460%	2,537%	36,151%	1,306%	19,223%	-	-
2004	2,169%	30,111%	3,425%	47,205%	1,771%	25,020%	-	-
2005	2,684%	36,529%	4,235%	57,305%	2,245%	30,920%	-	-
2006	3,264%	43,755%	5,172%	68,977%	2,813%	37,998%	-	-
2007	4,004%	52,973%	6,342%	83,551%	3,523%	46,841%	-	-
2008	4,761%	62,405%	7,548%	98,572%	4,207%	55,357%	-	-

Figura 7.33 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-B, V1_{2b1-10}.

7.3.3 Cenário 3-C

Para simular um cenário com a perda parcial da capacidade resistente devido à diminuição da área de aço de 15%, pela corrosão, foi analisado o impacto e redistribuição das tensões, recalculando-se novos valores de N para cada categoria de veículo, tabelas Anexo C.

Para os modelos de vigas $V1_{1-10}$ e $V2_{1-10}$, e $V1_{2b1-10}$ e $V2_{2b1-10}$, foi determinado o dano causado pela passagem dos espectros medidos, tabelas Anexo C.

Os valores do consumo de vida útil acumulado no período, devido ao espectro de cada posto de coleta de dados, esta apresentado nas tabelas 7.30 a 7.33, e graficamente nas figuras 7.34 e 7.37.

Tabela 7.30 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-C, $V1_{1-10}$.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,031%	0,680%	0,047%	1,053%	0,025%	0,535%	0,006%	0,113%
2001	0,042%	1,390%	0,065%	2,141%	0,033%	1,130%	0,007%	0,237%
2002	0,072%	2,078%	0,110%	3,192%	0,055%	1,621%	0,010%	0,294%
2003	0,104%	2,792%	0,159%	4,302%	0,084%	2,289%	-	-
2004	0,138%	3,585%	0,213%	5,585%	0,116%	2,980%	-	-
2005	0,172%	4,349%	0,264%	6,773%	0,146%	3,682%	-	-
2006	0,209%	5,210%	0,324%	8,164%	0,182%	4,526%	-	-
2007	0,256%	6,308%	0,395%	9,900%	0,224%	5,579%	-	-
2008	0,300%	7,432%	0,465%	11,689%	0,262%	6,594%	-	-

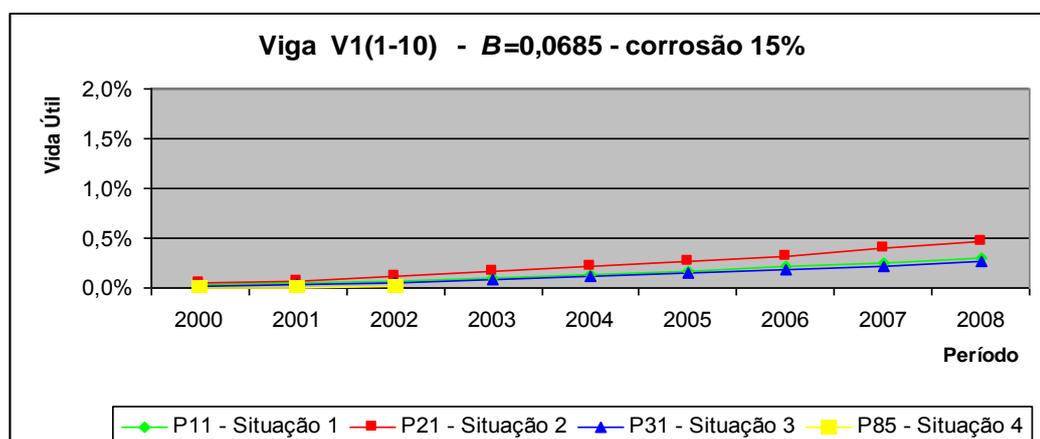
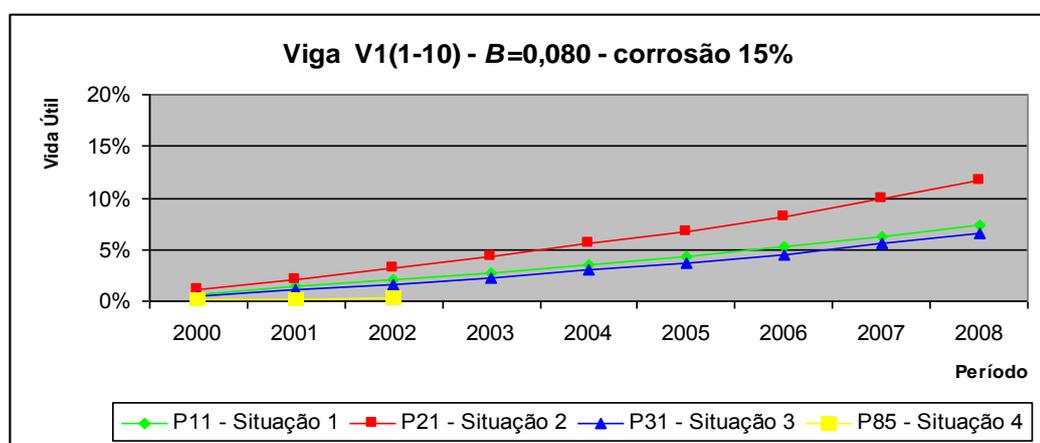


Figura 7.34 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, $V1_{1-10}$.

Tabela 7.31 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-C, V2₁₋₁₀.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,009%	0,187%	0,013%	0,285%	0,007%	0,149%	0,0015%	0,033%
2001	0,012%	0,377%	0,018%	0,573%	0,009%	0,314%	0,0019%	0,069%
2002	0,020%	0,559%	0,031%	0,847%	0,015%	0,446%	0,0026%	0,085%
2003	0,029%	0,748%	0,044%	1,138%	0,023%	0,624%	-	-
2004	0,038%	0,958%	0,059%	1,471%	0,032%	0,812%	-	-
2005	0,048%	1,160%	0,073%	1,780%	0,040%	0,995%	-	-
2006	0,058%	1,385%	0,090%	2,137%	0,050%	1,211%	-	-
2007	0,071%	1,664%	0,109%	2,574%	0,062%	1,467%	-	-
2008	0,083%	1,938%	0,129%	2,997%	0,072%	1,700%	-	-

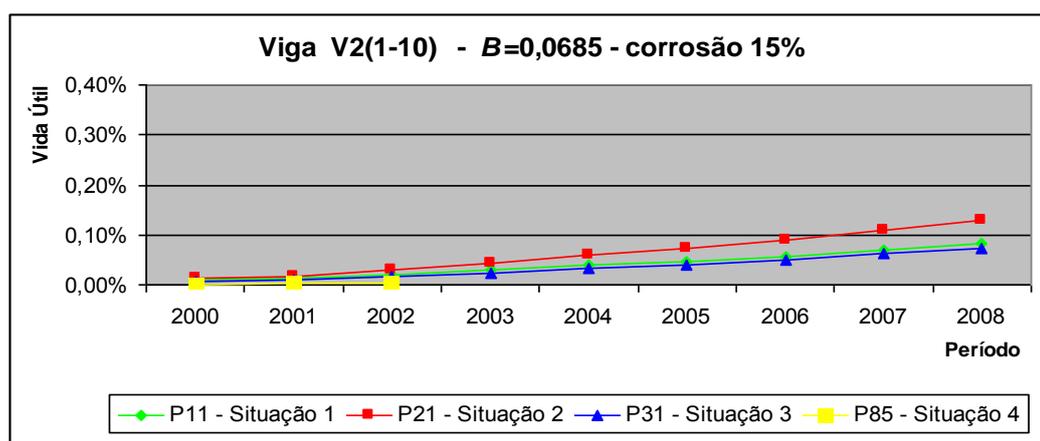
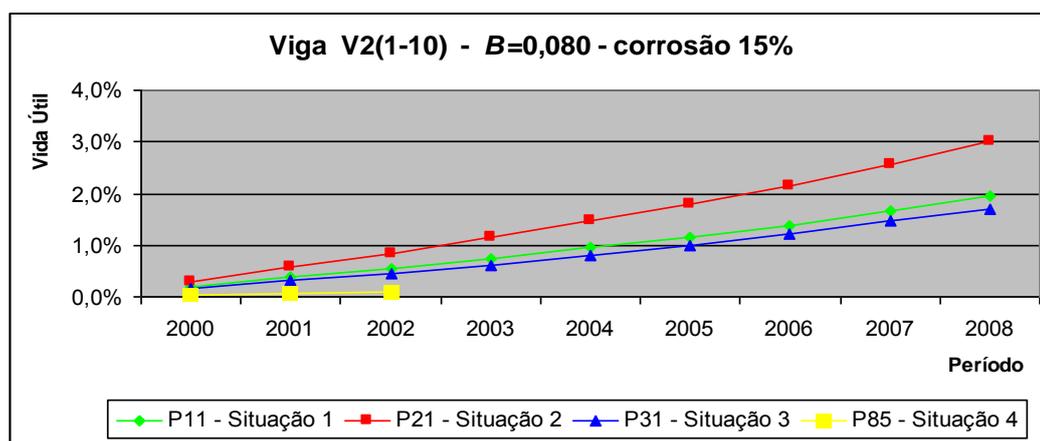
Figura 7.35 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V2₁₋₁₀.

Tabela 7.32 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-C, V1_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,51%	6,26%	0,79%	9,69%	0,40%	4,92%	0,08%	1,04%
2001	0,77%	12,80%	1,20%	19,72%	0,58%	10,40%	0,12%	2,18%
2002	1,28%	19,13%	1,99%	29,42%	0,95%	14,92%	0,16%	2,70%
2003	1,82%	25,72%	2,82%	39,64%	1,45%	21,07%	-	-
2004	2,41%	33,01%	3,81%	51,76%	1,97%	27,43%	-	-
2005	2,99%	40,05%	4,71%	62,83%	2,50%	33,89%	-	-
2006	3,63%	47,97%	5,76%	75,63%	3,13%	41,65%	-	-
2007	4,46%	58,07%	7,06%	91,60%	3,92%	51,34%	-	-
2008	5,30%	68,41%	8,40%	108,07%	4,68%	60,68%	-	-

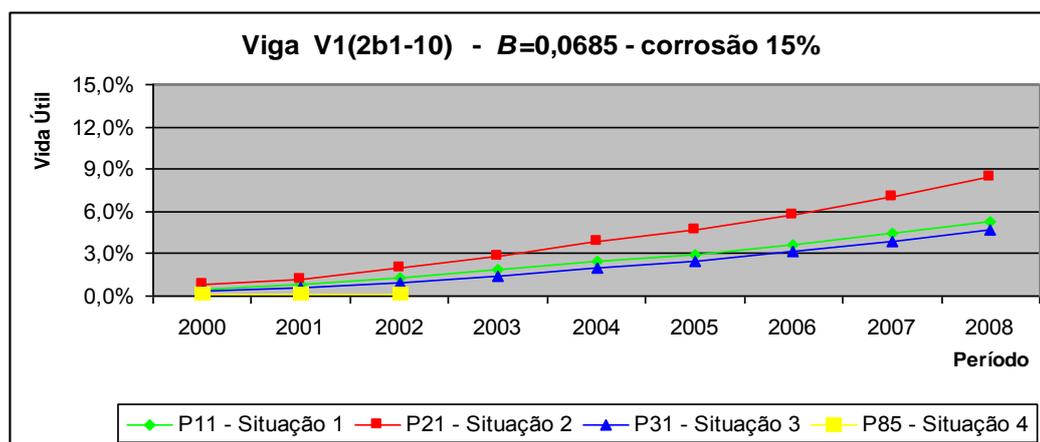
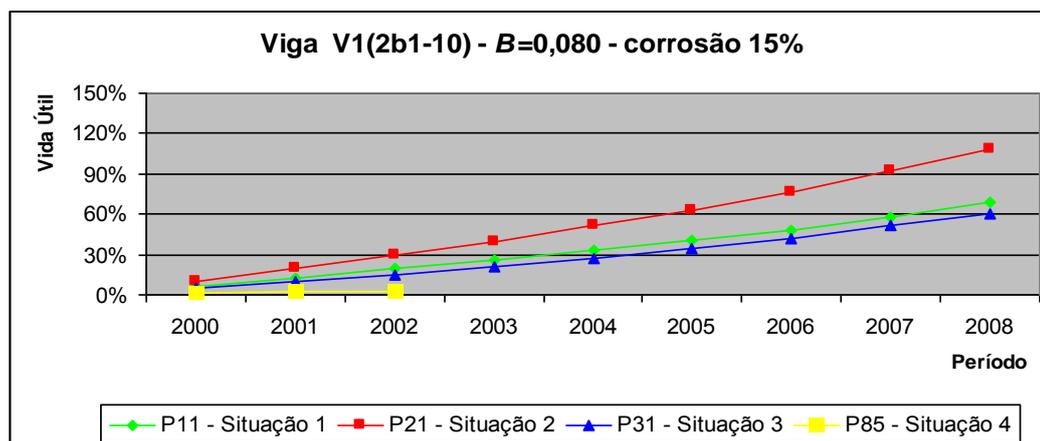
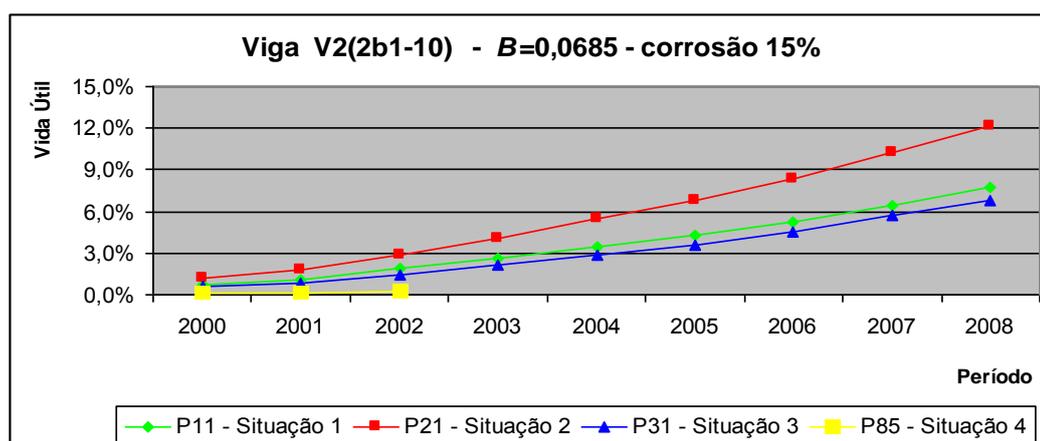
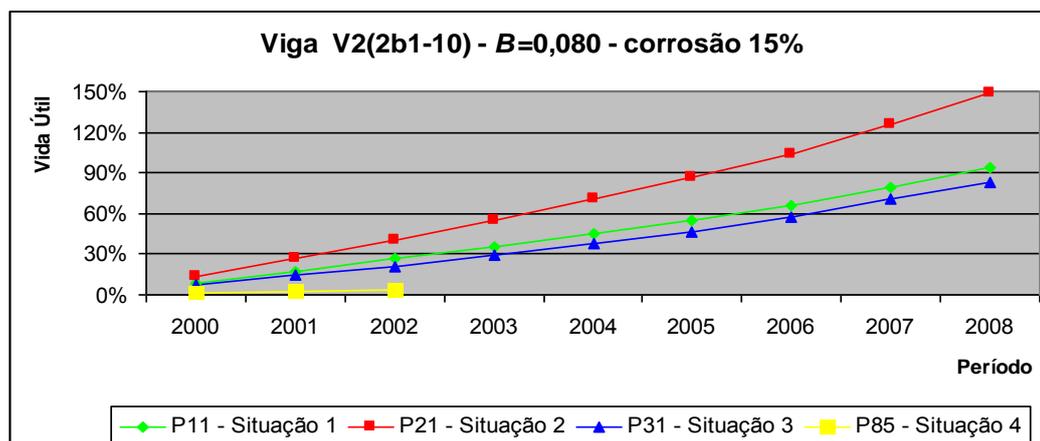
Figura 7.36 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V1_{2b1-10}.

Tabela 7.33 – Consumo de vida útil de fadiga acumulado, Cenário 3-C, V2_{2b1-10}.

Ano	P11		P21		P31		P85	
	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$	$\beta=0,0685$	$\beta=0,0800$
2000	0,74%	8,60%	1,14%	13,31%	0,58%	6,76%	0,12%	1,43%
2001	1,11%	17,57%	1,74%	27,08%	0,85%	14,28%	0,17%	3,00%
2002	1,86%	26,27%	2,89%	40,40%	1,38%	20,49%	0,23%	3,71%
2003	2,64%	35,32%	4,09%	54,43%	2,11%	28,94%	-	-
2004	3,50%	45,34%	5,52%	71,07%	2,86%	37,67%	-	-
2005	4,33%	55,00%	6,83%	86,28%	3,62%	46,55%	-	-
2006	5,26%	65,88%	8,34%	103,85%	4,54%	57,21%	-	-
2007	6,46%	79,76%	10,23%	125,79%	5,68%	70,53%	-	-
2008	7,68%	93,96%	12,17%	148,41%	6,79%	83,35%	-	-

Figura 7.37 – Vida útil de fadiga consumida no período, Cenário 3-C, V2_{2b1-10}.

7.3.4 Análise dos Efeitos do Crescimento da Deterioração

O aumento de consumo de vida útil de fadiga devido à deterioração foi extremamente significativo. Para todos os modelos de vigas analisados, os valores dos consumos de vida útil de fadiga para um espectro de carga de acordo com os dados coletados, considerando perda de capacidade resistente, devido a diminuição da seção de aço de 5 a 15% , para o período considerado, representam um aumento grande de consumo, tanto maior quanto maior o nível de tensões.

As figuras 7.38 e 7.39 apresentam um comparativo dos valores máximos ($\beta=0,0800$) de consumo de vida útil, para cada uma das situações (P11, P21, P31 e P85), para as duas vigas bi-apoiadas.

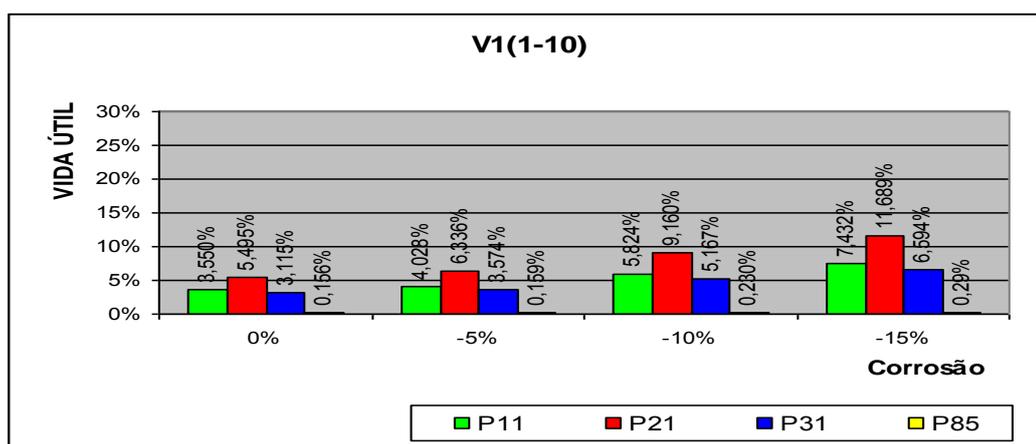


Figura 7.38 – Efeito do crescimento da deterioração – V1₁₋₁₀ ($\beta=0,0800$).

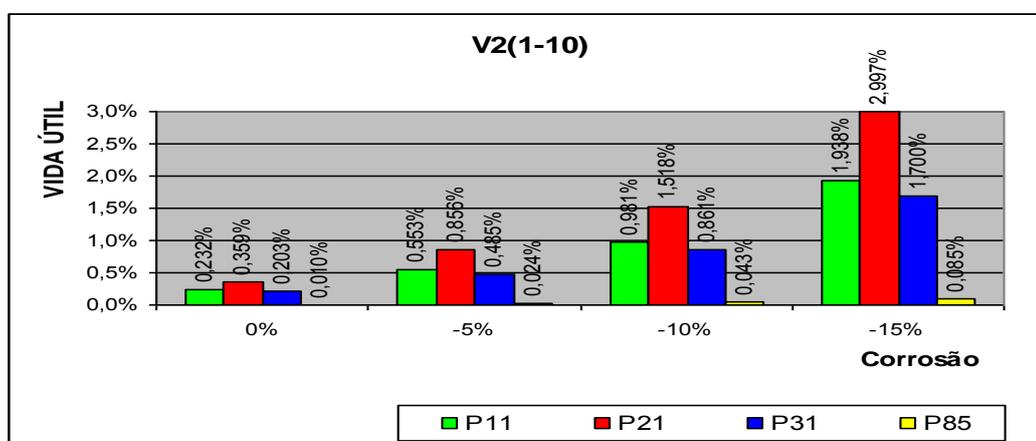
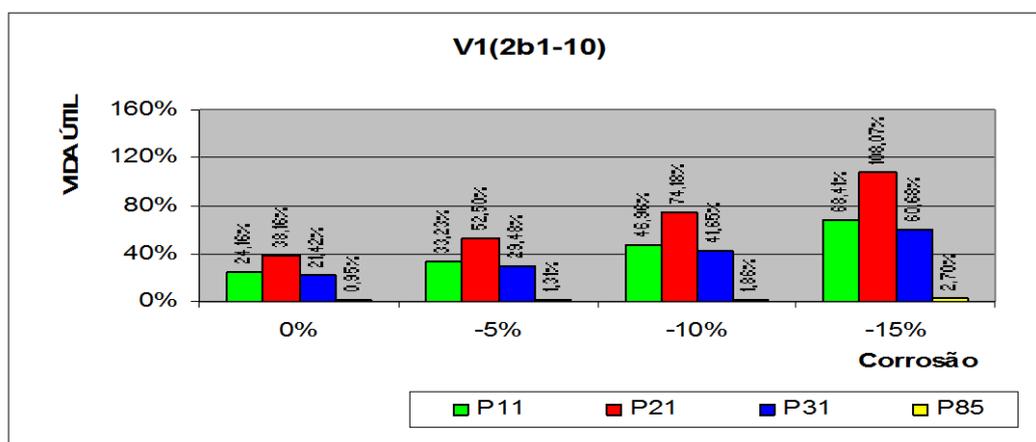
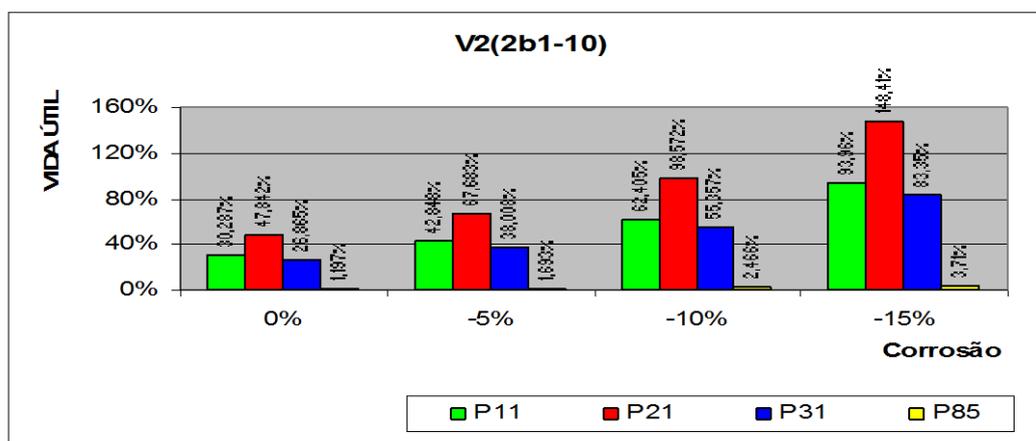


Figura 7.39 – Efeito do crescimento da deterioração – V2₁₋₁₀ ($\beta=0,0800$).

As figuras 7.40 e 7.41 a apresentam a s comparações de va lores máximos ($\beta=0,0800$) de consumo, para as diferentes situações dos quatro postos de coleta de dados (P11, P21, P31 e P85) para ambas as vigas com balanços.



7.40 – Efeito do crescimento da deterioração – V1_{2b1-10} ($\beta=0,0800$).



7.41 – Efeito do crescimento de deterioração – V2_{2b1-10} ($\beta=0,0800$).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta algumas observações gerais sobre as tendências de comportamento observadas durante o desenvolvimento deste trabalho, fazendo algumas reflexões sobre sua importância.

A pesquisa proposta para esta tese foi concebida com o intuito de contribuir técnica e cientificamente para o entendimento do comportamento das estruturas de pontes submetidas a cargas cíclicas, isto é, do fenômeno da fadiga. A necessidade de um melhor entendimento da resposta de estruturas rodoviárias diante da flutuação cíclica das tensões se justifica pela convicção de que o controle dos mecanismos de fadiga é fundamental para o aprimoramento dos métodos de controle de segurança e controle da manutenção e necessidade de substituição de OAEs. O modelo considerou o efeito no concreto que corresponde ao início da deterioração que pode levar à fissuração e eventual falha por fadiga.

Buscando colaborar neste sentido, o presente trabalho tentou contribuir de 3 formas principais:

- relacionando procedimentos de projeto de estruturas de pontes (carregamento padrão) com situações de serviço (veículos reais), através da análise de diferentes elementos estruturais (vigas) representativos das estruturas existentes no Brasil, inseridos em cenários também representativos.
- avaliando as expectativas de vida útil de fadiga dos diferentes tipos de elementos estruturais, com diferentes geometrias, mantidas as condições de fluxo atuais;
- analisando cenários possíveis de incremento do número e percentual de veículos pesados, da falta de controle de sobrepeso e da sinergia entre a ocorrência de danos por fadiga em estruturas corroídas, analisando como estas circunstâncias afetariam a expectativa de vida útil por fadiga das estruturas padrão estudadas no trabalho.

Reconhecendo as especificidades e limitações do presente trabalho podem-se traçar algumas observações gerais acerca das análises efetuadas, como será discutido nos itens a seguir.

8.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARREGAMENTO

Na análise comparativa das solicitações provocadas pelos veículos reais que trafegam sobre as rodovias e as solicitações provocadas pelos carregamentos hipotéticos da norma brasileira de cargas móveis para pontes e viadutos, foram feitas as seguintes constatações:

- A passagem de veículos de duas (5 eixos e 8 eixos) das oito categorias consideradas neste trabalho provoca o desenvolvimento de solicitações maiores que as geradas pelo uso do trem tipo 36t em vigas biapoiadas dos tabuleiro Modelo Tipo 1, mais antigo, e Modelo Tipo 2, mais atual;
- Nenhuma das oito categorias de veículos reais consideradas gera solicitações maiores que as provocadas pelo trem tipo 45t nas vigas bi apoiadas dos tabuleiro Modelo Tipo 1 e Tipo 2 analisados neste trabalho;
- Nos balanços analisados de tabuleiro do Modelo Tipo 1 e do Modelo Tipo 2, apresentam solicitações provocadas por todos os veículos reais, exceto o de 2 eixos, maiores do que as referentes ao trem tipo 36t;
- Nos balanços analisados de tabuleiro do Modelo Tipo 1 e do Modelo Tipo 2, apresentam solicitações provocadas por pelo menos três (5 eixos, 6 eixos e 8 eixos) dos veículos reais maiores do que as referentes ao trem tipo 45t.

Com base nessas constatações se infere que o uso do trem tipo 45t prescrito na NBR 7188/1984, pode não ser suficiente para o dimensionamento adequado de alguns tipos de estruturas com balanços, sujeitos a composições de tráfego como as estudadas neste trabalho. Além disto, confirmando outros estudos (LUCCHI, 2006; ROSSIGALI, 2006), se constata que o trem tipo 36, da norma NB6 de 1960, se encontra defasado para o adequado dimensionamento de todos os modelos de vigas analisados.

8.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIDA ÚTIL DE FADIGA DO CONCRETO

Na análise dos resultados acerca da estimativa de vida útil de projeto e estimativa de consumo da vida útil de fadiga do concreto no período considerado sob os espectros de carga real das quatro situações apresentadas, podem ser feitas as seguintes considerações:

- A estimativa de vida útil de fadiga de projeto para os modelos de vigas com 10 metros de vão ($V1_{1-10}$, $V2_{1-10}$) é muito menor, em termos comparativos, que as obtidas para os demais tamanhos de vão, devido ao fato das cargas móveis serem preponderantes na composição do carregamento total neste tipo de estrutura.
- A estimativa do consumo de vida útil de fadiga do concreto para os modelos de vigas bi apoiados, admitindo que todos os veículos não apresentem sobrepeso, foi desprezível, não atingindo 1% ao ano em nenhuma situação. Isto sugere que vigas deste tipo devem apresentar uma vida útil de fadiga muito elevada.
- A situação mais crítica, consumo de vida útil de 6% no período de 9 anos, sob espectro de carga gerado pelo fluxo de tráfego do posto P21, apresentou-se para o modelo de viga bi apoiado $V1_{1-10}$, isto é, viga de pequeno porte de tabuleiro Modelo Tipo 1 (dimensionada para trem tipo de 36t).
- A estimativa de consumo de vida útil do concreto para os modelos de vigas com balanços devido aos espectros de carga considerados, admitindo que todos os veículos não apresentem sobrepeso, para as vigas de grande porte foi superior à dos modelos bi apoiados. E para os modelos de pequeno porte foi muito maior, que atingiu aproximadamente 5% ao ano para a situação mais crítica, $V2_{2b1-10}$, mesmo tendo sido dimensionada para o trem tipo de 45t.

Utilizando a metodologia descrita no capítulo 5, para todos os modelos analisados, foram encontrados valores de estimativa de vida útil de fadiga de projeto que atendem às prescrições da norma brasileira de projeto de estruturas de concreto, NBR 6118/2003, a qual prescreve uma vida útil de fadiga superior a 2.000.000 (dois milhões) de ciclos.

Com exceção dos balanços de pequeno porte, para todos os demais modelos analisados a metodologia utilizada aponta para um consumo de vida útil de fadiga aceitável, isto é, menos

de 1% ao ano. Podendo-se admitir que o carregamento real, considerando todos os veículos sem sobrepeso, consumiu dentro do período, para esses modelos, a parcela esperada de vida útil de fadiga do concreto.

8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS VARIAÇÕES DE CENÁRIOS

Para os cenários apresentados, nos quais podem ou poderão estar inseridas as estruturas analisadas, foram trabalhadas algumas das variáveis envolvidas no mecanismo em estudo. As tendências observadas estão apresentadas a seguir:

- A análise do efeito da variação do número de veículos com sobrepeso foi feita trabalhando apenas com a sobrecarga regulamentada pelo COTRAN, isto é, tolerância de 5%. Os resultados apontam que, se todos os veículos apresentarem 5% a mais de peso, o consumo de vida útil de fadiga tem um acréscimo de 120%.
- A composição dos espectros de carga, ao longo do período de coleta de dados, mostra haver uma tendência de aumento de percentual de alguns tipos de veículos (5 eixos e 8 eixos) e diminuição de outros (2 eixos e 3 eixos). Portanto, os veículos mais danosos tiveram aumento percentual na distribuição do volume de tráfego. Este fato foi analisado e os resultados indicaram, para os modelos de vigas bi apoiadas, um acréscimo de consumo de vida útil de fadiga de 7% em 10 anos, enquanto nos modelos de vigas com balanço o acréscimo foi mais que o dobro (17%) no mesmo período.
- A análise do efeito da deterioração, considerando a diminuição da seção resistente pela corrosão da armadura, aponta para um acréscimo progressivo do consumo de vida útil de fadiga. Para uma perda de seção transversal na armadura de 5% a 15% as vigas bi apoiadas tiveram acréscimo de consumo de respectivamente 10% a 100%, e as vigas com balanços de 20% a 200%.

O fato da deterioração por corrosão ser muito frequente é preocupante, mas existem procedimentos de reparo e manutenção que podem reduzir riscos se forem aplicados assim que detectado o problema. Quanto à ocorrência de sobrepeso, pode-se dizer que além de frequente, o mesmo é legal. Muitas vezes se ultrapassa o limite, mas a falta de controle

dificulta o combate a estas práticas. Espera-se que o conhecimento das consequências oriente futuras decisões sobre a ampliação de cargas em rodovias. Cabe lembrar que a necessidade de redução de custos e o desenvolvimento econômico do país, associados à distribuição modal brasileira, pressionam na direção do aumento do volume de veículos pesados nas rodovias.

8.4 CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos resultados encontrados e considerações acima, é possível derivar as seguintes conclusões específicas:

- Vigas de tabuleiro Modelo Tipo 1, utilizadas pelo DNER antes de 1985, estão sofrendo solicitações devido à passagem de veículos reais, maiores que as solicitações de projeto, com carregamento composto pelo trem tipo 36t;
- O trem tipo de 45t, classe 1 da NBR 7188/1984, é inadequado para dimensionamento de vigas com balanços submetidas a fluxos de veículos como analisado neste trabalho;
- A metodologia empregada neste trabalho para avaliação do consumo de vida útil de fadiga, baseada nas expressões de Tepfers e Kutti e na regra de Palmgren-Miner de dano acumulado, mostrou-se extremamente sensível ao coeficiente β . Isto deixa claro que maior esforço deve ser colocado na definição dos valores adequados de β para diferentes situações;
- A prática de rodar com todo o sobrepeso permitido (tolerância de 5%) causa uma importante aceleração dos danos e uma notável redução na vida útil de fadiga esperada, para os modelos de vigas e fluxos de veículos analisados neste trabalho;
- A análise dos dados coletados acerca do volume e composição dos fluxos de tráfego na BR-290 mostra um aumento gradual do percentual de veículos pesados na composição do tráfego e uma tendência de uso de veículos mais pesados e com mais eixos na região nos postos da CONCEPA, mais próximos de Porto Alegre;

- A degradação da estrutura, representada pela diminuição da seção transversal das armaduras pela corrosão, gera um efeito sinérgico e agrava os danos por fadiga, ocasionando uma redução da vida útil de fadiga que pode atingir níveis bastante preocupantes nos modelos de vigas analisados no presente trabalho.

Desta forma conclui-se, de forma geral, que:

- Confirma-se a hipótese de que o crescimento de volume de fluxo de veículos pesados está acelerando os danos e reduzindo a vida útil de fadiga esperada de vigas de tabuleiro de pontes, sendo especialmente sensíveis as vigas de pequenos vãos com balanço (projetadas para trem tipo 36t e 45t);
- As estruturas de OAEs projetadas e construídas antes de 1985, com carregamento de trem tipo 36t, podem encontrar-se em situações de risco;
- A ação da fadiga em estruturas corroídas é mais rápida e preocupante. Portanto, medidas devem ser tomadas para manter em bom estado as vigas mais sensíveis à fadiga.

8.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho conclui-se com a apresentação de algumas sugestões de desenvolvimento para trabalhos futuros para a avaliação dos impactos da fadiga em elementos de concreto armado:

- Estudos comparativos dos danos no concreto e na armadura;
- Confirmação dos resultados com dados de outras rodovias;
- Expansão da quantidade de configurações de vigas analisadas;
- Medições em campo das deformações devido à fadiga ocasionadas pela passagem de tráfego real;
- Avaliação e modelagem das tendências de crescimento do percentual e tipos de veículos pesados;

- Desenvolvimento de modelo numérico adequado para representar, em termos de acúmulo de danos e previsão de vida útil de fadiga, o comportamento de elementos de concreto armado submetidos a cargas cíclicas;
- Realização de estudos comparativos entre rodovias com características diversas de tráfego, para modelagem de espectros de carga.
- Ensaios de fadiga de concretos encontrados no Brasil para definição de β .

REFERÊNCIAS

AFONSO, D. F. **Verificação à Fadiga de Pontes Metálicas Ferroviárias**. Porto Alegre: PPGEC – UFRGS, 2007. Diss. Mestrado.

AGOSTINHO, P. C. P.; FARIA, C. A. **Avaliação de Carga Acidental em Vigas de Pontes**. In: CONPAT 2003. Mérida: ALCONPAT, 2003.

AITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: PINI, 2000.

ALBANO, J. F. **Efeitos da Variação da Carga por Eixo, Pressão de Inflação e Tipo de Pneu, na Resposta Elástica de um Pavimento**. Porto Alegre: PPGE – UFRGS, 1998. Diss. Mestrado.

ALBANO, J. F. **Efeitos dos Excessos de Carga sobre a Durabilidade de Pavimentos**. Porto Alegre: PPGE – UFRGS, 2005. Tese Doutorado.

AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington DC, 1998 and the Interim revisions dated 1999, 2000, 2001, 2001 and 2003.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges. Washington DC, 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE **Considerations for Design of Concrete Structures Subjecte to Fatigue Loading – ACI 215 R-74** _____: ACI, 1992.

ANDERSON, T. L. **Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications**. 2.ed. New York: CRC Press, 1995.

ARAÚJO, D. L. **Projeto de Pontes em Concreto Armado com Duas Longarinas**. Goiânia: EEC/UFG, 1999.

ARAÚJO, M. C.; CAI, S. C. S.; TEIXEIRA, P. W. G. N.; NEIVA, V. M. **Distribuição Transversal de Cargas em Pontes de Concreto Protendido Pré-moldado – Avaliação da Influência das Transversinas com Uso de Procedimentos da NBR 6118-2003, da LaDOTD e de Modelos de Elementos Finitos Sólidos**. In: 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos: _____, 2005.

ARAÚJO, J. J. **Estudo do Impacto de Veículos Pesados sobre a Infra-estrutura Rodoviária Através da Simulação Microscópica de Trafego**. São Carlos: EESC-USP, 2007. Tese Doutorado.

ARCILA, M. T. **Puentes**. México: Atrium Group, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aços Destinados a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado – Especificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimentos – NBR 8681**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre – NBR 7188**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas Móveis para Projeto Estrutural de Obras Ferroviárias - NBR 7189**. Rio de Janeiro, ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças Devidas ao Vento em Edificações – NBR 6123**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos – NBR 6118**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Pontes em Concreto Armado e Protendido – Procedimentos – NBR 7187**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ÁVILA, G.G. **Cálculo de Fadiga de Risers Rígidos Através da Mecânica da Fratura**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. Diss. Mestrado.

AZEVEDO, L. V.; GOMES, H. M. **Avaliação da Vida útil de Pontes de Concreto Armado quanto à Fadiga em Função de Mudanças na Composição de Tráfego Atuante**. In: Congresso de Pontes e Estruturas – ABPE 50 Anos. ____: ____, 2007.

BARONI, H. J. M.; VIERO, E. H. **Pré-Dimensionamento de Elementos Estruturais de Concreto Armado**. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2007. São Paulo: IBRACON, 2007.

BATTISTA, R. C.; BARBOSA, T. S. **Reabilitação de Pontes Metálicas Ferroviárias por Ação Composta de Laje de Concreto Armado**. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural. Punta Del Leste: ____, 2000.

BAZANT, Z. P. **Fracture Mechanics of Concrete Structures**. Colorado: Elsevier Applied Science, 1992.

BAZANT, Z. P.; PLANAS, J. **Fractures and size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials**. ____: CRC press LLC, 1998.

BECKETT, D. **An Introduction to Structural Design Concrete Bridges**. Oxfordshire: Surrey University press, 1973.

BILLINGTON, D. P. **Robert Mailart and the Art of Reinforced Concrete**. New York: The Mit Press, 1990.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. São Paulo: LTC Editora, 2002.

CERVO, T. C. **Estudo da resistência à fadiga de Concretos de Cimento Portland para Pavimentação**. São Paulo: EPUSP/USP, 2004, Tese Doutorado.

CREPALDI, A.A.P.; DJANIKIAN, J. G. **Contribuição ao Estudo da Fadiga do Concreto**. BT/PCC/ 276 São Paulo: EPUSP/USP, 2001.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON – CEB **Fatigue of Concrete Structures**. Bulletin d'Information No. 188. Dubrovnik: CEB, 1988.

COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON (1991 a) – CEB-FIP **MODEL CODE 1990**. Bulletin d'Information No.203.

COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON (1991 b) – CEB-FIP **MODEL CODE 1990**. Bulletin d'Information No. 204.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (2009). Boletim Estatístico da CNT. Disponível em: < <http://www.cnt.org.br> > Acesso em: 07 março 2010.

COLLINS, J. A. **Failure of Materials in Mechanical Design: Analysis, Prediction and Preention**. New York: John Wiley & Sons, 1981.

DEPARTAMENTO NACIONAL de ESTRADAS de RODAGEM – DNER. **Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação 698. Rio de Janeiro: IPR, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL de ESTRADAS de RODAGEM – DNER. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação 709. 2 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL de INFRA-ESTRUTURA de TRANSPORTE – DNIT, www.dnit.gov.br, 15/01/2008.

DOWLING, N. E. **Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue**. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

ELFREN, L. **Fracture Mechanics of Concrete Structures from Theory to Application**. Rilen Report Technical Committee. London: Chapman and Hall, 1989.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION **Eurocode 1: Action on Structures – Part 2; Traffic Loads on Bridges**. Brussels; CEN, 2003.

EUROPEAN UNION – BRITE EU-RAM III **Fatigue of Normal Weight Concrete and Hightweight Concrete**. BE96-3942/R34. Brussels: EuroLightCon, 2000.

EUROPEAN UNION – BRITE EU-RAM III. **LWA Concrete under Fatigue Loading. A Literture Survey and a Number of Conducted Fatigue Test**. BE96-3942/R41. _____: EuroLightCon, 2000.

FERREIRA, L. M. **Aplicação da Teoria da Confiabilidade na Obtenção de Limites para o Peso de Veículos de Carga em Pontes de Concreto**. São Carlos: EESC/USP, 2006. Tese Doutorado.

FHWA. **Comprehensive Truck Size and Weight Study; Volume II Issues and Backgroun**. _____: U.S. Department of Transportation, 2000.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com Fibras de Aço. BT/PCC/260**. São Paulo: PCC/USP, 2000.

FORREST, T. **Fatigue of Metals**. Oxford: Headington Hill Hall, 1970.

FUCHS, H.O. ; STEPHENS, R. I. **Metal Fatigue in Engineering**. Nova York: A. Wiley-Interscience Publication, 1980.

FURTADO, E. P. **Avaliação de Fadiga Através da Análise Termo-elástica Bidimensional Usando o Método dos Elementos de Contorno**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002. Diss. Mestrado.

GALGOUL, N. S.; CHAMON, R. **Avaliação do Trem Tipo de Norma para o Dimensionamento à Fadiga de Vigas de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado**. ANAIS II Seminário EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo: USP, 1990.

GOÇALVES, R. **Análise de Propagação de Fissuras por Fadiga em Concreto pelo MEF Mediante a Mecânica do Dano Contínuo**. São Carlos: USP, 2003. Diss. Mestrado.

GRAVINA, P. B. J. **Teoria das Pontes Pênseis**. São Paulo: EPUSP, 1948.

GOTTEMOELLER, F. **Bridgescape The Art of Designeng Bridges**. Nova York: John Wiley & Sons, Inc. , 1998.

GUIMARÃES, M.C.; MARTINS, V.L.; SORDI, V.L.; LIBARDI, W. **Comportamento à Fadiga de um Concreto Reforçado com Fibras Metálicas**. In: ANAIS. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

HILERBORG, A.; MODEER, M.; PETERSSON, P.E. **Analysis of Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements.** Cement and Concrete Research _____: _____-, 1976.

HORDIJK, D.A. **Local Approach to Fatigue of Concrete.** Netherlands: Delft University of Technology, 1991. Tese Doutorado.

JOHN, V. M.; AROZTEGUI, J. M. **Durabilidade e Vida Útil dos Edifícios.** Porto Alegre, _____, 1985.

LANER, F. J. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre.** Porto Alegre: UFRGS / PPGEC, 2001. Diss. Mestrado.

LUCHI, L. A. R. **Reavaliação do Trem-tipo à Luz das Cargas Reais nas Rodovias Brasileiras.** São Paulo: USP, 2006. Tese Doutorado.

MAGGI, P. L. O. **Comportamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados Sob carregamentos Estáticos e Repetidos.** São Carlos: USP, 2004. Tese Doutorado.

MALLET, G. **Fatigue of Reinforced Concrete: State of de Art review 2.** Londres: HMSO, 1991.

MASON, J. **Pontes em Concreto armado e Protendido.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

MATTJE, A.; PADARATZ, I. J. **Durabilidade de Pontes de Concreto do sistema Rodoviário de Santa Catarina.** In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2004. São Paulo: IBRACON, 2004.

MATTOS, T.S. **Programa para Análise de superestruturas de Pontes de Concreto Armado e Protendido.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001. Diss. Mestrado.

MENDES, P. T. C. **Contribuição para um Modelo de Gestão de Ponte de Concreto aplicado à Rede de Rodovias Brasileiras.** São Paulo: EPUSP, 2009. Tese Doutorado.

MENEGHETTI, L. C. **Análise do Comportamento à Fadiga de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com PRF de Vidro, Carbono e Aramida.** Porto Alegre: PPGEC – UFRGS, 2007. Tese Doutorado.

MERGULHÃO, A. J. R.; PFEIL, M. S.; BATTISTA, R. C. **Avaliação da Vida à Fadiga em Pontes Metálicas Rodoviárias** In: V Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora, 2002. Juiz de Fora: V Congr. Eng. Civil, 2002. v. CD-ROM.

MONTEZUMA, M. F. V. , DE DEUS, E. P. **Previsão do Crescimento de Trincas em Vigas de Pontes de Aço sob Carregamento de Amplitude Variável.** In: Congresso Anual da ABM – Mecânica da Fratura e Integridade Estrutural. Rio de Janeiro: _____, 2006.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRÉ, F. M. **Hormigón Armado.** 10 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A., 1979.

NAKANO, J. C. G.; LIMA, M. G.; BISMARCK-NASR, M. N. **Análise Experimental de uma Ponte Metroviária de Concreto através de Ensaio Dinâmico.** In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2004. São Paulo: IBRACON, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini , 1997.

NORDBY, G.M. Fatigue of Concrete – a Review of Research. **Journal of the American Concrete Institute.** In: Symposium Sponsored by ACI Committee 215, 1958. pp. 191-219.

OLIVEIRA FILHO, J. **Estudo Teórico Experimental da Influência das Cargas Cíclicas na Rigidez das Vigas de Concreto Armado.** São Carlos: EESC/USP, 2005. Tese Doutorado.

PFEIL, W. **Concreto Armado.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978.

PFEIL, W. **Pontes em Concreto Armado.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979.

PINHO, F. O. **Pontes e Viadutos em Vigas Mistas.** Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

PRÁVIA, Z. M. C. **Estabilidade de Estruturas de Pontes Metálicas com Fraturas.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. Tese Doutorado.

RIBEIRO, A. S.; DE JESUS, A. M. P.; FERREIRA, A. J. M. **Comportamento Estático e à Fadiga de Juntas Coladas com Perfis Pultrudidos.** In: Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões. Lisboa: APAET, 2008.

ROSSIGALI, C. E. **Estudos Probabilísticos para Modelos de Carga Móvel em Pontes Rodoviárias no Brasil.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. Diss. Mestrado.

SALEKEEN, S.; JONES, D.L. Fatigue Response of Thick section Fiberglass/Epoxy Composites. **Composite Structures.** 79, 2007, pp. 119-124.

SANTOS, M. F. **Contribuição ao Estudo do Efeito de Combinação de Veículos de Carga sobre Pontes Rodoviárias de Concreto.** São Carlos: EESC/USP, 2003. Diss. Mestrado.

SHAFFER, A. **Verificação de Seções de Concreto Armado Solicitadas por Flexão Composta à Fadiga**. Porto Alegre: PPGECC/UFRGS, 2002.

SARTORTI, A. L. **Identificação de Patologias em Pontes de Vias Urbanas e Rurais do Município de Campinas**. Campinas: UEC, 2008. Diss. Mestrado.

SILVA, T. J.; GOMES, A. M. **Estúdio de la vida Útil de las Vigas de Hormigón del Tablero de um Puente Sobre el Mar**. ANAIS CONPAT 2003. Mérida: ALCONPAT, 2003.

SILVA FILHO, L. C. P. **Avaliação e Diagnóstico de Estruturas**. In: ANAIS Pré Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

STEMLAND, H.; PETKOVIC, G.; ROSSELAND, S.; LENSCHOW, R. **Fatigue of High Strength Concrete**. Nortic Concrete Research Publication n.90. _____: _____, 1990.

STROHAECKER, T. R. **Mecânica da Fratura**. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

SURESH, S. **Fatigue of Materials**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Concreto Armado**. Porto Alegre: GLOBO, 1980.

TEPFERS, R. KUTTI, T. **Fatigue Strength of Plain, Ordinary and Lightweight Concrete**. In: ACI Journal. Michigan: _____, 1979.

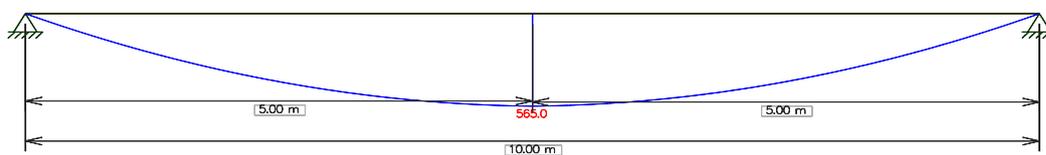
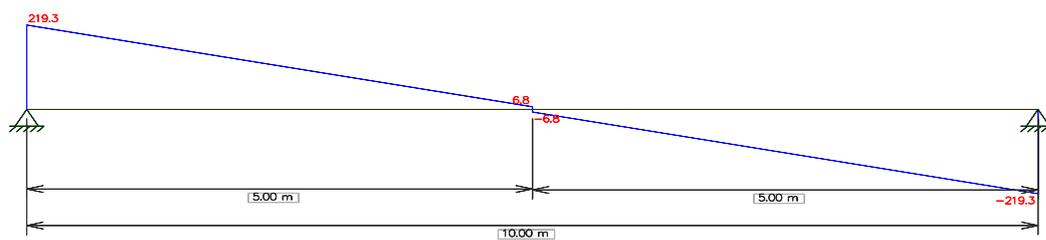
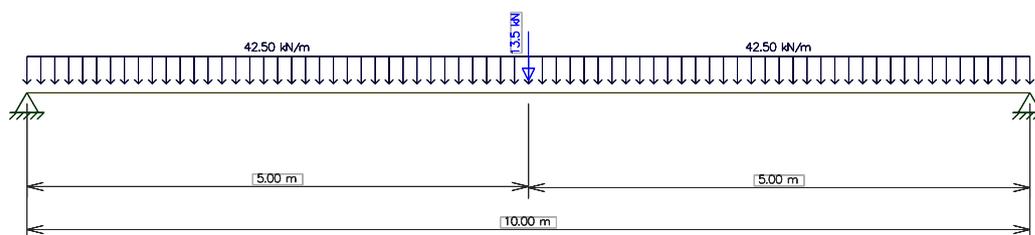
THUN, H. **Assessment of Fatigue Resistance and Strength in Existing Concrete Structures**. _____: LTU, 2006. Tese Doutorado.

UCHÔA, J. C. B. **Procedimentos Numérico e Experimental para a Avaliação da Resistência à Fadiga de Sistemas de Revestimentos**. Brasília: UnB, 2007. Diss. Mestrado.

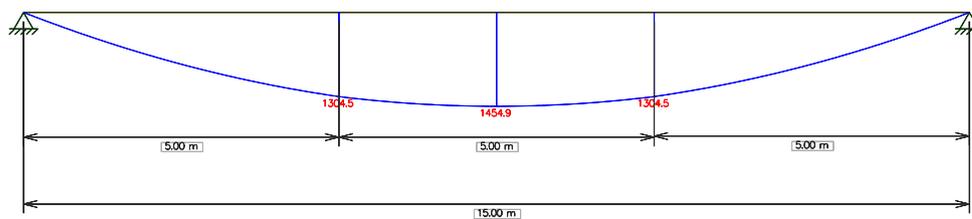
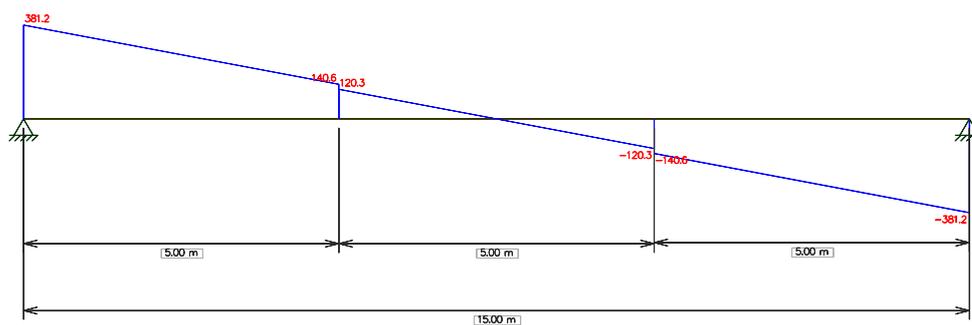
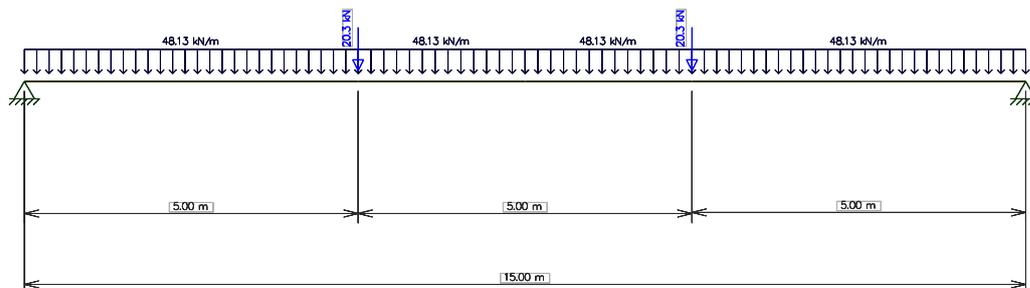
WIDMER, J. A. **Proposta de Nomenclatura para Caminhões, Ônibus, CVCs – Combinações de Veículos de Carga e CVPs – Combinações de Veículos de Passeio**. In: ANAIS XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes de ANPEST. Florianópolis; _____, 2004.

APÊNDICE A - MODELOS ESTRUTURAIS, DIAGRAMAS
E DIMENSIONAMENTO

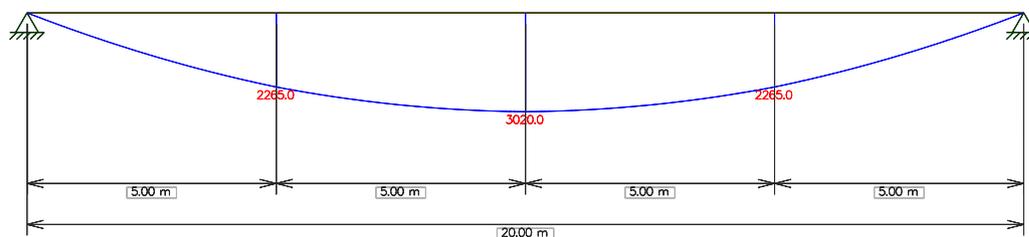
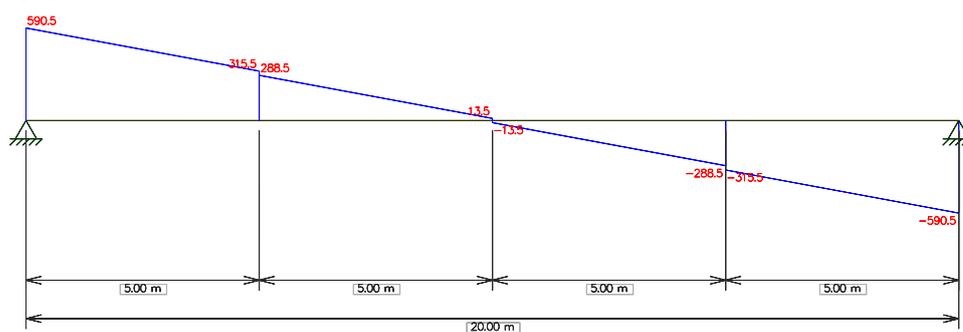
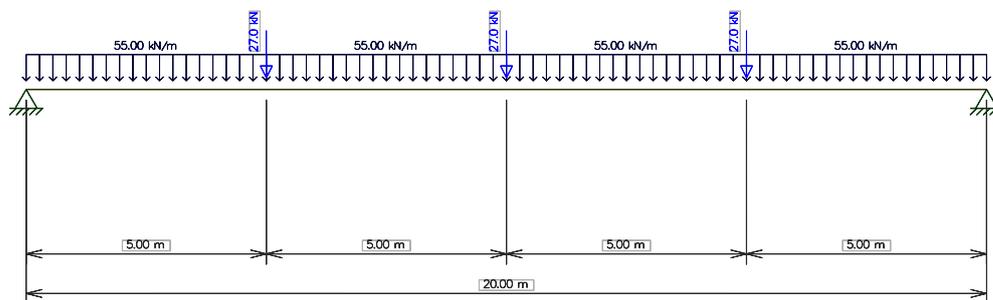
Viga:	V1 1-10
Carregamento	Permanente



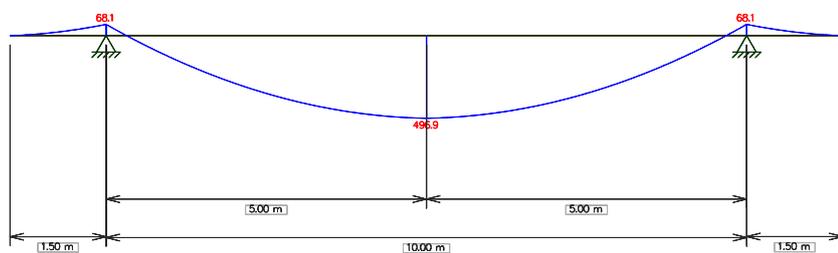
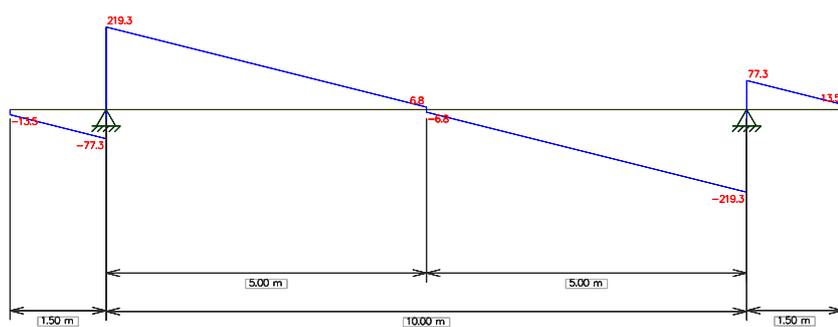
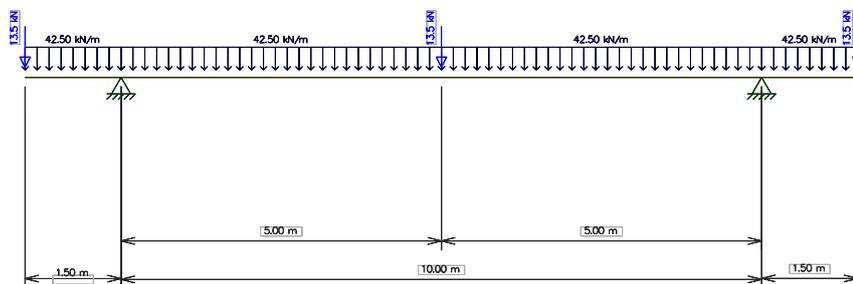
Viga:	V1 1-15
Carregamento	Permanente



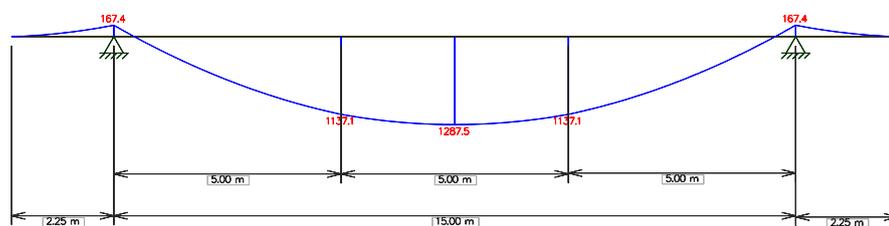
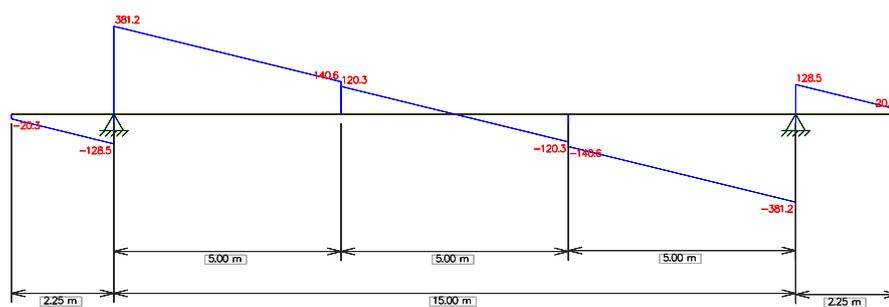
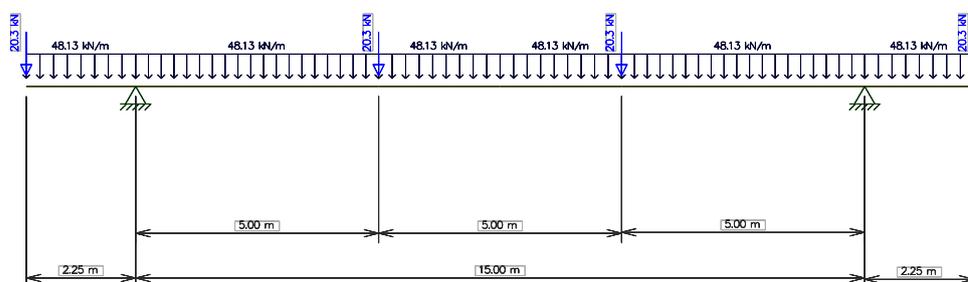
Viga:	V1 1-20
Carregamento	Permanente



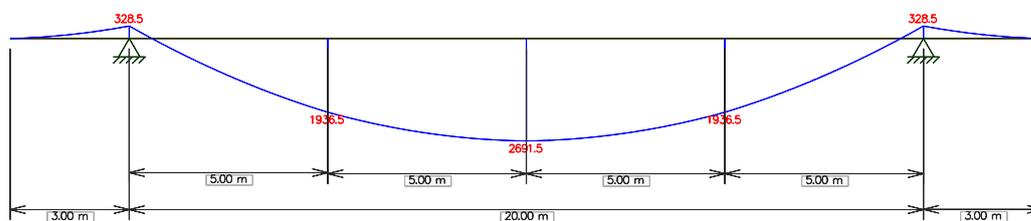
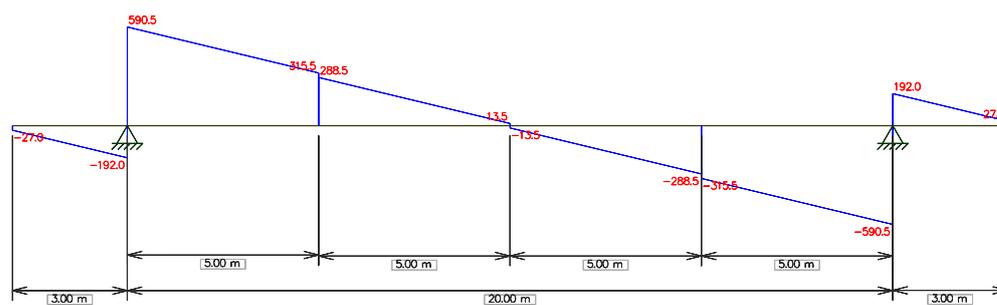
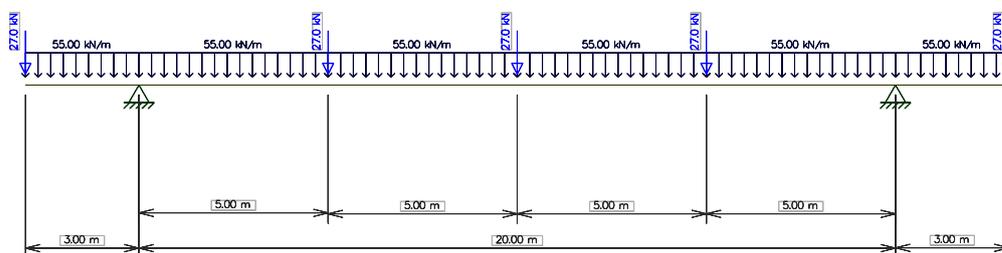
Viga:	V1 2b1-10
Carregamento	Permanente



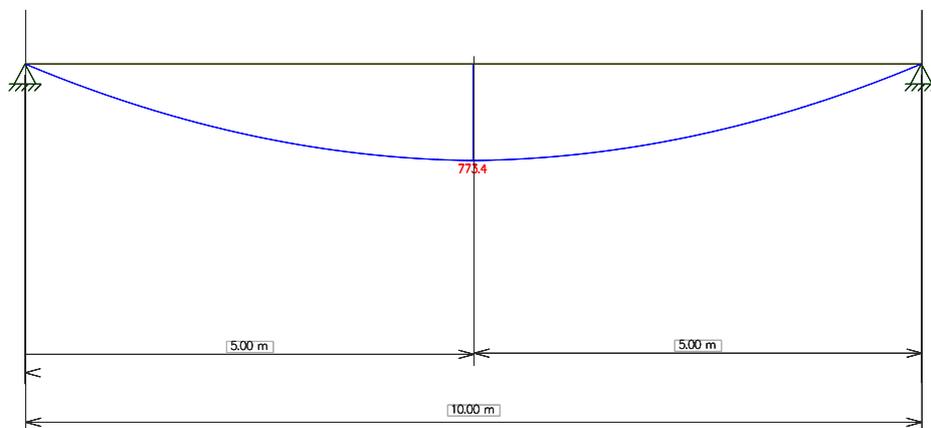
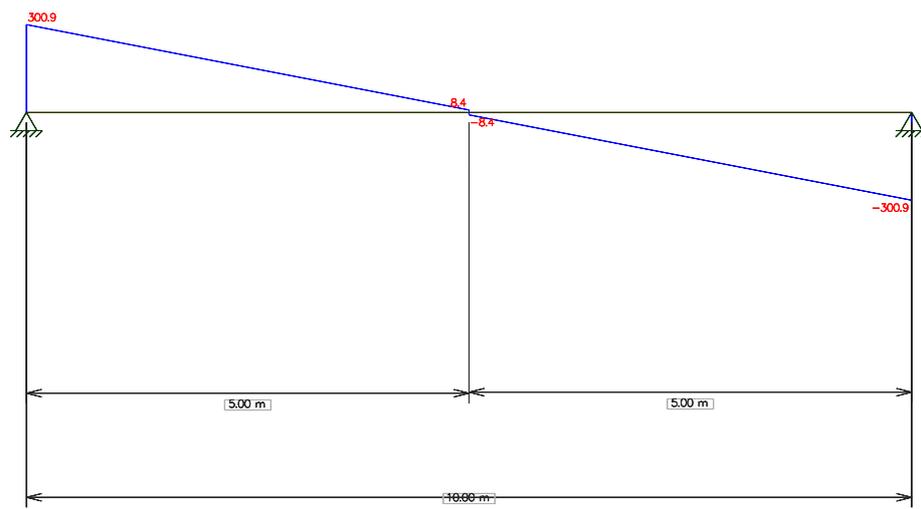
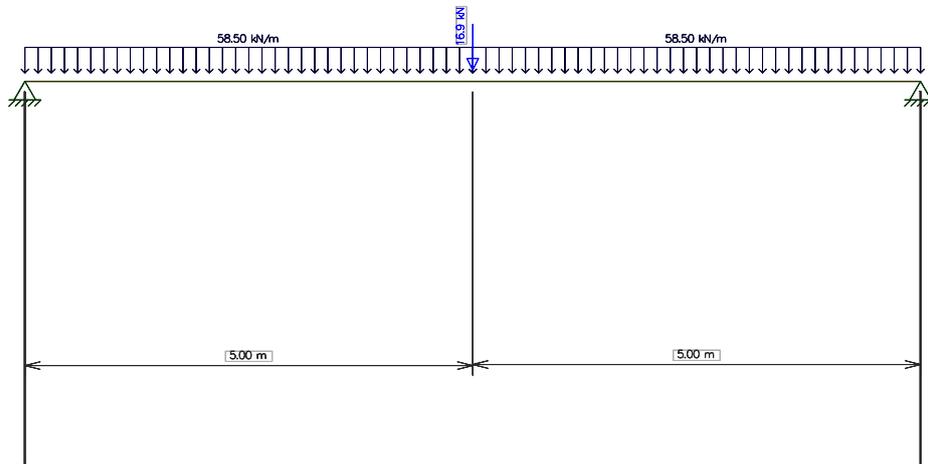
Viga:	V1 2b1-15
Carregamento	Permanente



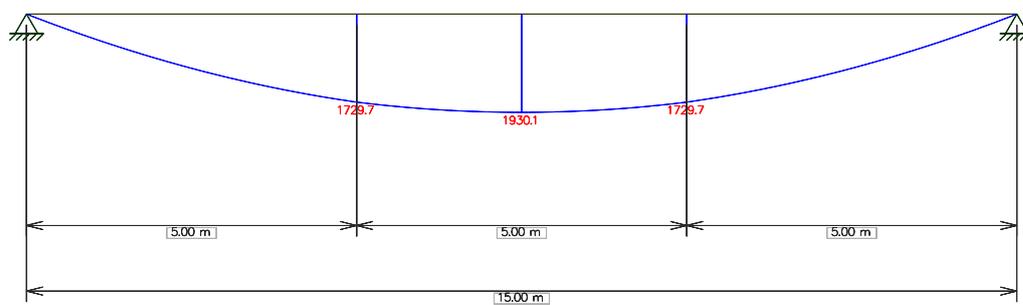
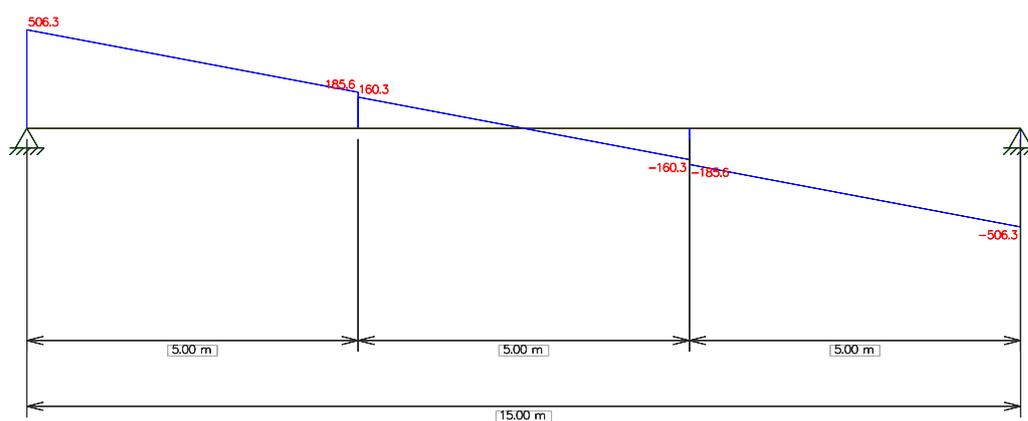
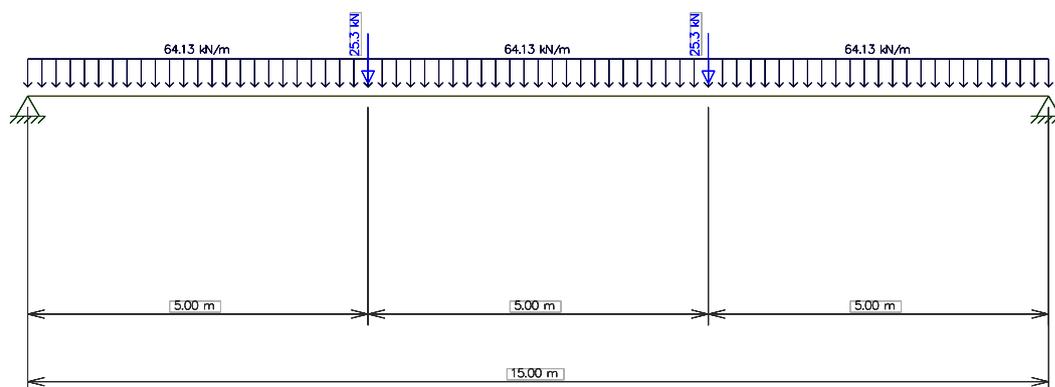
Viga:	V1 2b1-20
Carregamento	Permanente



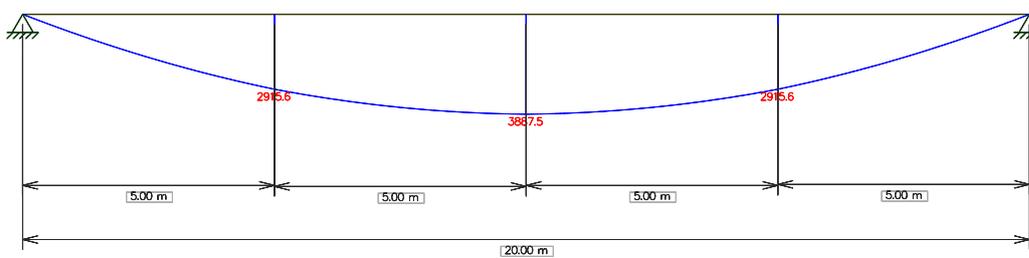
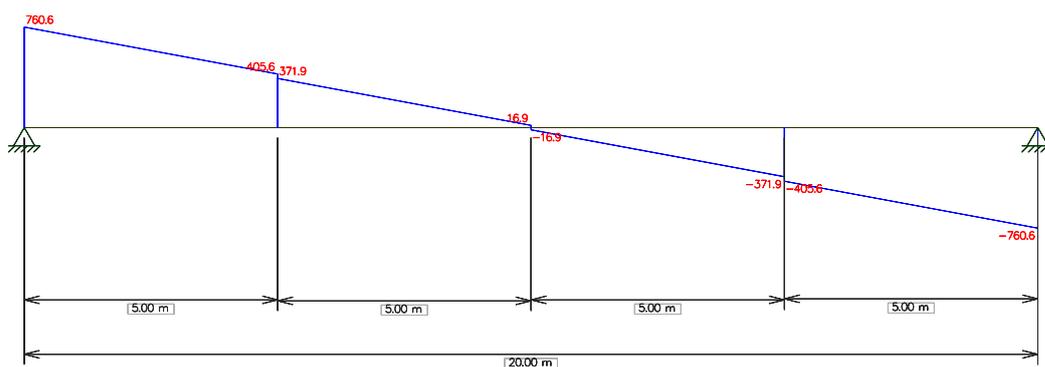
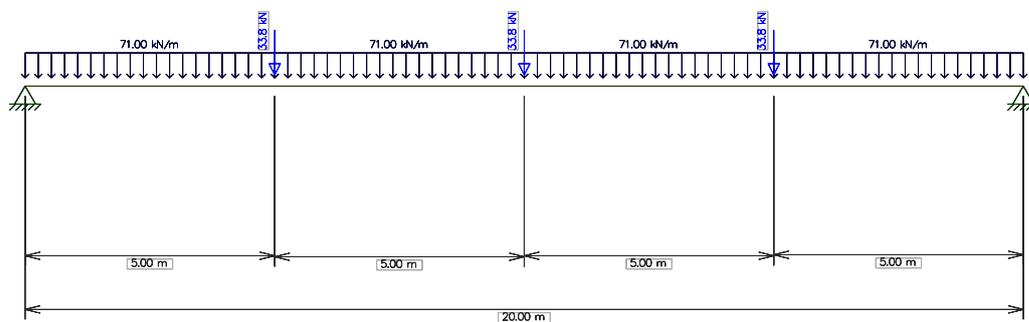
Viga:	V2 1-10
Carregamento	Permanente



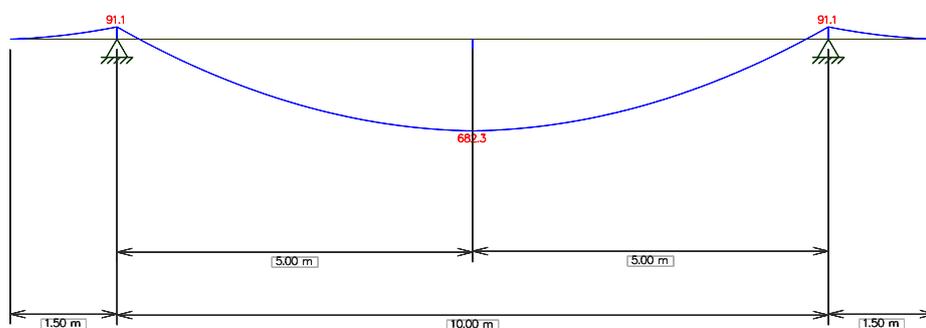
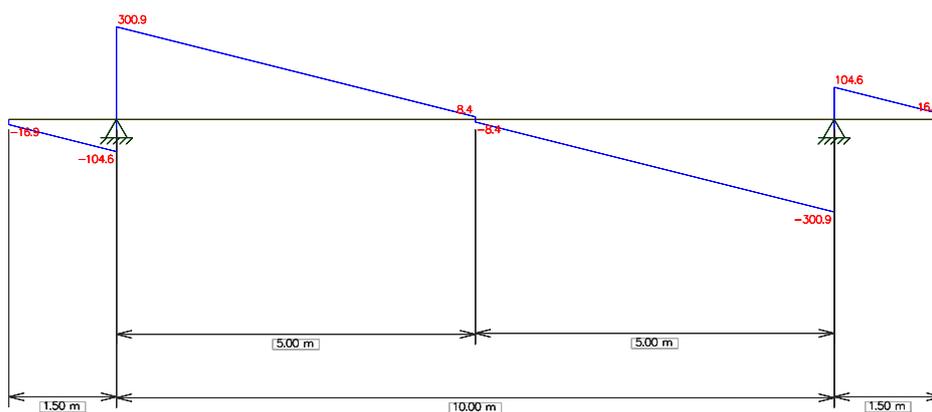
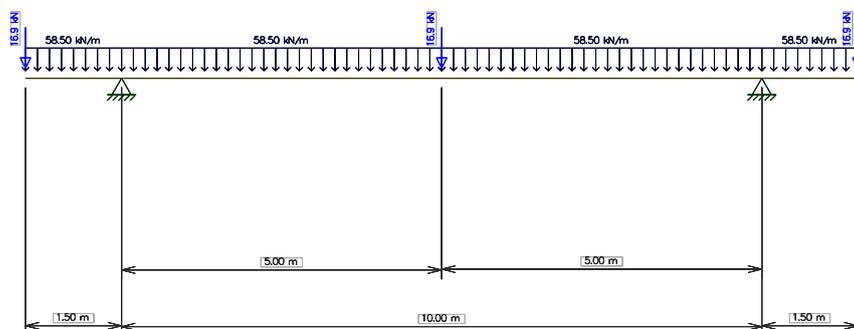
Viga:	V2 1-15
Carregamento	Permanente



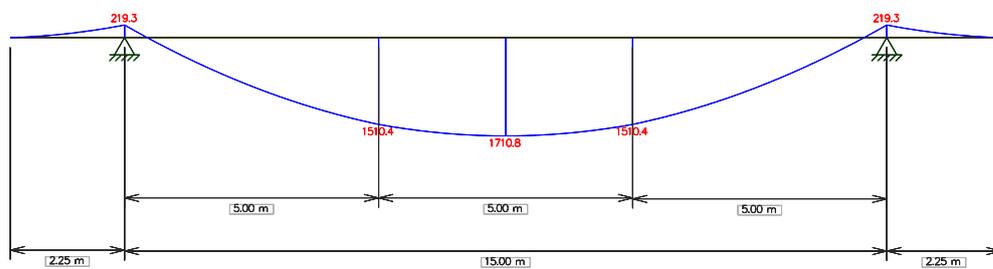
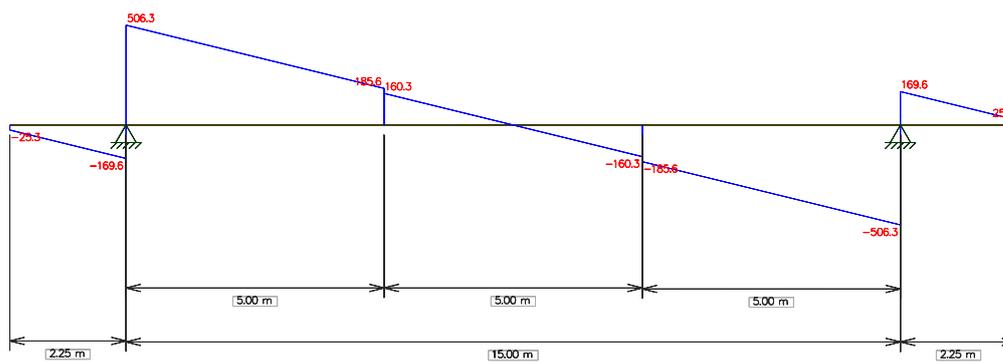
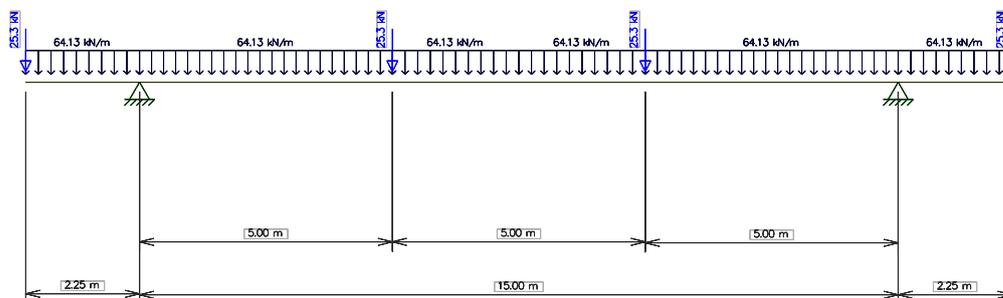
Viga:	V2 1-20
Carregamento	Permanente



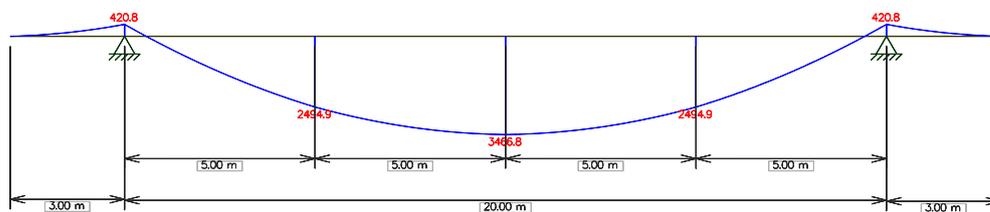
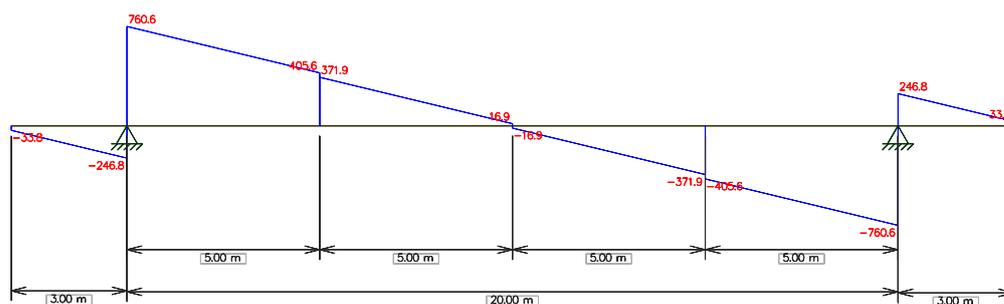
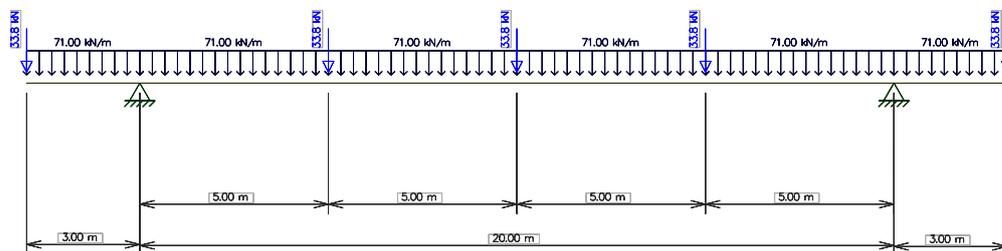
Viga:	V2 2b1-10
Carregamento	Permanente



Viga:	V2 2b1-15
Carregamento	Permanente



Viga:	V2 2b1-20
Carregamento	Permanente



DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V1-1-10

$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	I _{II}	M _{max}	M _{min}	T _{cmax}	T _{cmin}	T _{smax}	T _{smin}	D _{cs}	k
TREM 36																	
230	30	100	18	65	15	4250	90900	19,97938	3797797,9	165070	56500	0,868397	0,2972341	30,434225	10,416997	20,017228	1,1120682
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	4040444,1	165070	56500	0,8453764	0,2893546	28,315214	9,6917039	18,62351	
TREM 45																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	195080	56500	1,0452984	0,3027443	35,011444	10,140181	24,871262	1,3817368
2eixos-16																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	117140	56500	0,627672	0,3027443	21,023378	10,140181	10,883196	0,604622
3eixos-23																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	138660	56500	0,7429828	0,3027443	24,88562	10,140181	14,745439	0,819191
4eixos-33																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	121750	56500	0,6523738	0,3027443	21,850745	10,140181	11,710563	0,6505869
5eixos-41,5																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	165560	56500	0,8871212	0,3027443	29,713423	10,140181	19,573242	1,0874023
6eixos-48,5																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	157740	56500	0,8452193	0,3027443	28,30995	10,140181	18,169769	1,0094316
7rod-56																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	136630	56500	0,7321054	0,3027443	24,521291	10,140181	14,38111	0,7989506
8rod-65,5																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	158150	56500	0,8474162	0,3027443	28,383534	10,140181	18,243353	1,0135196
9rod-74																	
230	30	100	18	70	15	4300	95400	20,69241	3861744,4	149670	56500	0,8019777	0,3027443	26,861609	10,140181	16,721428	0,9289682

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga VI-1-15

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
335	35	150	18	75	17,5	6150	153600	23,415454	11611696	337120	145490	0,6798161	0,2933865	33,847753	14,607586	19,240166	1,040009
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	337120	145490	0,6652197	0,2870871	31,761472	13,707216	18,054256	0,9759057
TREM 45																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	388580	145490	0,7667627	0,2870871	36,609732	13,707216	22,902516	1,272362
2eixos-16																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	264810	145490	0,5225345	0,2870871	24,948847	13,707216	11,241632	0,6245351
3eixos-23																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	295450	145490	0,5829946	0,2870871	27,835569	13,707216	14,128353	0,7849085
4eixos-33																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	308780	145490	0,6092979	0,2870871	29,091443	13,707216	15,384227	0,8546793
5eixos-41,5																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	337820	145490	0,6666009	0,2870871	31,827422	13,707216	18,120206	1,0066781
6eixos-48,5																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	330560	145490	0,6522752	0,2870871	31,143427	13,707216	17,436212	0,9686784
7rod-56																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	302860	145490	0,5976163	0,2870871	28,533696	13,707216	14,82648	0,8236933
8rod-65,5																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	348810	145490	0,6882869	0,2870871	32,862835	13,707216	19,15562	1,0642011
9rod-74																	
335	35	150	18	80	17,5	6200	160600	24,24417	12286460	336070	145490	0,6631477	0,2870871	31,662547	13,707216	17,955331	0,9975184

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V1-1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Temax	Temin	Tsmax	Tsmin	Dos	K
TREM 36																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	589060	302000	0,6234493	0,3196307	32,374262	16,597676	15,776586	0,876477
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	589060	302000	0,6234493	0,3196307	32,374262	16,597676	15,776586	0,876477
TREM 45																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	666600	302000	0,7055161	0,3196307	36,635798	16,597676	20,038122	1,113229
2eixos-16																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	498590	302000	0,5276976	0,3196307	27,402104	16,597676	10,804428	0,600246
3eixos-23																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	538110	302000	0,5695248	0,3196307	29,574091	16,597676	12,976415	0,7209119
4eixos-33																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	559700	302000	0,5923752	0,3196307	30,76066	16,597676	14,162984	0,7868324
5eixos-41,5																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	597290	302000	0,6321597	0,3196307	32,826576	16,597676	16,2289	0,9016056
6eixos-48,5																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	550030	302000	0,5821407	0,3196307	30,229205	16,597676	13,631528	0,7573071
7rod-56																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	562210	302000	0,5950318	0,3196307	30,898608	16,597676	14,300931	0,7944962
8rod-65																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	627570	302000	0,6642075	0,3196307	34,49074	16,597676	17,893064	0,9940591
9rod-74																	
400	40	200	18	100	20	7480	248320	30,680959	28988607	617830	302000	0,6538989	0,3196307	33,955438	16,597676	17,357762	0,9643201

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V1-2b1-10

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
150	30	150	18	37	15	2530	71240	24,57693	5660194,4	158260	49690	0,687175	0,215757	32,27249	10,13282	22,13967	1,229982
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	158260	49690	0,644833	0,202463	26,61733	8,357231	18,2601	
Trem-45																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	188270	49690	0,767109	0,202463	31,66464	8,357231	23,30741	1,294856
2eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	110380	49690	0,449745	0,202463	18,56452	8,357231	10,20729	0,567072
3eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	131850	49690	0,537225	0,202463	22,17551	8,357231	13,81827	0,767682
4eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	112690	49690	0,459157	0,202463	18,95304	8,357231	10,5958	0,588656
5eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	158580	49690	0,646137	0,202463	26,67115	8,357231	18,31392	1,01744
6eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	142450	49690	0,580415	0,202463	23,95829	8,357231	15,60106	0,866726
7eixos																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	129820	49690	0,528954	0,202463	21,83408	8,357231	13,47685	0,748714
8rod																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	147090	49690	0,599321	0,202463	24,73868	8,357231	16,38145	0,910081
9rod																	
150	30	150	18	45	15	2610	82440	27,30223	6700727	142860	49690	0,582086	0,202463	24,02725	8,357231	15,67002	0,89543

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga VI-2b1-15

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Temax	Temin	Tsmax	Tsmin	Dos	K
TREM 36																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	320380	128750	0,5383624	0,2163498	31,007708	12,46096	18,546748	1,0303749
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	320380	128750	0,5383624	0,2163498	31,007708	12,46096	18,546748	
Trem-45																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	371840	128750	0,6248351	0,2163498	35,988221	12,46096	23,527261	1,30707
2eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	248070	128750	0,4168536	0,2163498	24,009246	12,46096	11,548286	0,6415714
3eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	278710	128750	0,4683406	0,2163498	26,974712	12,46096	14,513752	0,8063196
4eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	292040	128750	0,4907402	0,2163498	28,264845	12,46096	15,803885	0,8779936
5eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	321080	128750	0,5395386	0,2163498	31,075457	12,46096	18,614497	1,0341387
6eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	308020	128750	0,5175928	0,2163498	29,811456	12,46096	17,350496	0,9639164
7eixos																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	276000	128750	0,4637868	0,2163498	26,712427	12,46096	14,251467	0,7917482
8rod																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	328200	128750	0,551503	0,2163498	31,76456	12,46096	19,3036	1,0724222
9rod																	
215	35	225	18	50	17,5	3740	136660	31,806449	18928051	317490	128750	0,533506	0,2163498	30,728002	12,46096	18,267042	1,043831

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V1-2b1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	lII	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	556210	269150	0,490342	0,237277	32,97627	15,95721	17,01905	0,945503
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	556210	269150	0,490342	0,237277	32,97627	15,95721	17,01905	0,945503
Trem-45																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	633750	269150	0,5587	0,237277	37,57341	15,95721	21,6162	1,235211
2eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	465740	269150	0,410586	0,237277	27,61253	15,95721	11,65532	0,666018
3eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	505260	269150	0,445426	0,237277	29,95557	15,95721	13,99836	0,799906
4eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	526850	269150	0,464459	0,237277	31,23559	15,95721	15,27837	0,87305
5eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	564440	269150	0,497598	0,237277	33,4642	15,95721	17,50699	1,000399
6eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	517180	269150	0,455934	0,237277	30,66228	15,95721	14,70506	0,840289
7eixos																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	529360	269150	0,466672	0,237277	31,3844	15,95721	15,42718	0,881553
8rod																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	594720	269150	0,524292	0,237277	35,25942	15,95721	19,30221	1,102983
9rod																	
280	40	300	18	60	20	4920	212880	37,53971	42582425	584980	269150	0,515705	0,237277	34,68197	15,95721	18,72475	1,069986

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balanço-Viga V1-2b1-10

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
30		150		8				24,78835	1214213	31510	6810	0,643282	0,139027	29,89854	6,461727	23,43681	1,302045
30		150		25				40,6848	3139314	31510	6810	0,408363	0,088256	9,968491	2,154409	7,814082	
Trem-45																	
30		150		25				40,6848	3139314	38000	6810	0,492472	0,088256	12,02166	2,154409	9,867256	
2eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	28020	6810	0,363133	0,088256	8,864396	2,154409	6,709987	
3eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	41990	6810	0,544181	0,088256	13,28394	2,154409	11,12953	
4eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	33260	6810	0,431042	0,088256	10,52212	2,154409	8,367711	
5eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	58950	6810	0,763979	0,088256	18,6494	2,154409	16,49499	
6eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	58950	6810	0,763979	0,088256	18,6494	2,154409	16,49499	
7eixos																	
30		150		25				40,6848	3139314	41990	6810	0,544181	0,088256	13,28394	2,154409	11,12953	
8rod																	
30		150		25				40,6848	3139314	58950	6810	0,763979	0,088256	18,6494	2,154409	16,49499	
9rod																	
30		150		25				40,6848	3139314	41990	6810	0,544181	0,088256	13,28394	2,154409	11,12953	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balanço-Viga V1-2b1-15

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Temax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Dσs	K
TREM 36																	
	35		225		10			32,310096	3731075,3	65000	16740	0,5628823	0,1449638	31,826867	8,1966423	23,630225	1,3127903
	35		225		25			48,736021	8261435,2	65000	16740	0,3834493	0,0987529	13,081454	3,3689776	9,7124767	
Trem-45																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	77550	16740	0,4574845	0,0987529	15,607181	3,3689776	12,238204	
2eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	49180	16740	0,2901236	0,0987529	9,8976296	3,3689776	6,528652	
3eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	68840	16740	0,4061023	0,0987529	13,854266	3,3689776	10,485289	
4eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	68840	16740	0,4061023	0,0987529	13,854266	3,3689776	10,485289	
5eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	93510	16740	0,551636	0,0987529	18,819181	3,3689776	15,450204	
6eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	93510	16740	0,551636	0,0987529	18,819181	3,3689776	15,450204	
7eixos																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	68840	16740	0,4061023	0,0987529	13,854266	3,3689776	10,485289	
8rod																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	93510	16740	0,551636	0,0987529	18,819181	3,3689776	15,450204	
9rod																	
	35		225		25			48,736021	8261435,2	69410	16740	0,4094648	0,0987529	13,968981	3,3689776	10,600003	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balanço-Viga V1-2b1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
40		300		12				38,82105	8350986,4	103760	32850	0,482347	0,152709	31,20868	9,880544	21,32814	1,184897
40		300		25				54,2815	16023328	103760	32850	0,351503	0,111284	15,26409	4,832549	10,43154	
Trem-45																	
40		300		25				54,2815	16023328	127680	32850	0,432536	0,111284	18,78295	4,832549	13,9504	
2eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	78020	32850	0,264305	0,111284	11,47749	4,832549	6,644939	
3eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	102540	32850	0,34737	0,111284	15,08462	4,832549	10,25207	
4eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	102540	32850	0,34737	0,111284	15,08462	4,832549	10,25207	
5eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	134030	32850	0,454047	0,111284	19,7171	4,832549	14,88455	
6eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	134030	32850	0,454047	0,111284	19,7171	4,832549	14,88455	
7eixos																	
40		300		25				54,2815	16023328	102540	32850	0,34737	0,111284	15,08462	4,832549	10,25207	
8rod																	
40		300		25				54,2815	16023328	134030	32850	0,454047	0,111284	19,7171	4,832549	14,88455	
9rod																	
40		300		25				54,2815	16023328	102540	32850	0,34737	0,111284	15,08462	4,832549	10,25207	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V2-1-10

$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
230	30	100	25	75	15	5750	130000	21,41261	4283939	190420	77340	0,951785	0,386572	30,48692	12,38241	18,10451	1,005806
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	190420	77340	0,860561	0,349521	24,37497	9,900012	14,47496	
TREM 45																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	223110	77340	1,008296	0,349521	28,5595	9,900012	18,65949	1,036638
2eixos-16																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	145890	77340	0,659317	0,349521	18,67485	9,900012	8,774836	0,487491
3eixos-23																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	166630	77340	0,753047	0,349521	21,3297	9,900012	11,42969	0,634983
4eixos-33																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	147940	77340	0,668582	0,349521	18,93726	9,900012	9,037249	0,502069
5eixos-41,5																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	191790	77340	0,866752	0,349521	24,55034	9,900012	14,65033	0,813907
6eixos-48,5																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	185140	77340	0,836699	0,349521	23,6991	9,900012	13,79909	0,766616
7rod-56																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	164590	77340	0,743828	0,349521	21,06857	9,900012	11,16855	0,620475
8rod-65,5																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	184900	77340	0,835614	0,349521	23,66838	9,900012	13,76836	0,764909
9rod-74																	
230	30	100	25	95	15	5950	148000	23,48366	5196331	176430	77340	0,797336	0,349521	22,58416	9,900012	12,68415	0,704675

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V2-1-15		fck = 15 MPa																
b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K	
TREM 36																		
335	35	150	25	85	17,5	8350	212750	24,24689	12980819	384630	193000	0,718451	0,360505	34,29839	17,21028	17,08811	0,949339	
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	384630	193000	0,658124	0,330234	27,92859	14,01404	13,91456		
TREM 45																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	436090	193000	0,746175	0,330234	31,66519	14,01404	17,65115	0,980619	
2eixos-16																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	331740	193000	0,567627	0,330234	24,08817	14,01404	10,07413	0,559674	
3eixos-23																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	361290	193000	0,618188	0,330234	26,23384	14,01404	12,2198	0,678878	
4eixos-33																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	373460	193000	0,639012	0,330234	27,11752	14,01404	13,10349	0,727971	
5eixos-41,5																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	401370	193000	0,686768	0,330234	29,14411	14,01404	15,13008	0,84056	
6eixos-48,5																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	397410	193000	0,679992	0,330234	28,85657	14,01404	14,84253	0,824585	
7rod-56																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	364430	193000	0,623561	0,330234	26,46184	14,01404	12,4478	0,691545	
8rod-65,5																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	409250	193000	0,700251	0,330234	29,71629	14,01404	15,70225	0,872347	
9rod-74																		
335	35	150	25	105	17,5	8550	240750	26,69889	15603725	396510	193000	0,678452	0,330234	28,79122	14,01404	14,77718	0,820955	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

125

Viga V2-1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	lII	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	700280	388750	0,633255	0,351542	31,11273	17,27177	13,84096	0,768942
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	700280	388750	0,633255	0,351542	31,11273	17,27177	13,84096	
TREM 45																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	790500	388750	0,71484	0,351542	35,12111	17,27177	17,84934	0,99163
2eixos-16																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	622380	388750	0,562811	0,351542	27,65171	17,27177	10,37994	0,576664
3eixos-23																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	660450	388750	0,597237	0,351542	29,34312	17,27177	12,07135	0,670631
4eixos-33																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	679030	388750	0,614039	0,351542	30,16861	17,27177	12,89685	0,716491
5eixos-41,5																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	714430	388750	0,64605	0,351542	31,7414	17,27177	14,46963	0,803868
6eixos-48,5																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	709800	388750	0,641864	0,351542	31,53569	17,27177	14,26392	0,79244
7rod-56																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	672970	388750	0,608559	0,351542	29,89937	17,27177	12,62761	0,701534
8rod-65																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	737380	388750	0,666804	0,351542	32,76104	17,27177	15,48928	0,860515
9rod-74																	
400	40	200	25	125	20	10250	350000	32,1318	35532706	727090	388750	0,657499	0,351542	32,30387	17,27177	15,0321	0,835117

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V2-2b1-10

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
150	30	150	25	45	15	3450	100500	26,15594	6726857	181310	68230	0,704985	0,265298	30,68456	11,54712	19,13745	1,063191
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	181310	68230	0,632109	0,237873	23,17734	8,722022	14,45532	
TREM 45																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	214000	68230	0,746078	0,237873	27,35619	8,722022	18,63417	1,035231
2eixos-16																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	136780	68230	0,476862	0,237873	17,48495	8,722022	8,762929	0,486829
3eixos-23																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	157520	68230	0,549169	0,237873	20,1362	8,722022	11,41418	0,634121
4eixos-33																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	136580	68230	0,476165	0,237873	17,45938	8,722022	8,737362	0,485409
5eixos-41,5																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	182680	68230	0,636886	0,237873	23,35247	8,722022	14,63045	0,812803
6eixos-48,5																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	167550	68230	0,584137	0,237873	21,41836	8,722022	12,69634	0,705352
7rod-56																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	155480	68230	0,542057	0,237873	19,87542	8,722022	11,1534	0,619633
8rod-65,5																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	171600	68230	0,598257	0,237873	21,93608	8,722022	13,21406	0,734115
9rod-74																	
150	30	150	25	60	15	3600	121500	30	8605000	167320	68230	0,583335	0,237873	21,38896	8,722022	12,66694	0,723825

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V2-2b1-15

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
215	35	225	25	50	17,5	5000	163750	29,6691	19039338	370190	171080	0,576869	0,266595	36,03468	16,6531	19,38157	1,076754
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	370190	171080	0,511745	0,236498	25,8626	11,95217	13,91043	
TREM 45																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	433320	171080	0,599015	0,236498	30,27305	11,95217	18,32088	1,017827
2eixos-16																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	309810	171080	0,428277	0,236498	21,64427	11,95217	9,6921	0,53845
3eixos-23																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	339360	171080	0,469126	0,236498	23,70872	11,95217	11,75655	0,653142
4eixos-33																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	351530	171080	0,48595	0,236498	24,55896	11,95217	12,60679	0,700377
5eixos-41,5																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	379440	171080	0,524532	0,236498	26,50883	11,95217	14,55666	0,808704
6eixos-48,5																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	366380	171080	0,506478	0,236498	25,59642	11,95217	13,64425	0,758014
7rod-56																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	332870	171080	0,460154	0,236498	23,25531	11,95217	11,30314	0,627952
8rod-65,5																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	383450	171080	0,530075	0,236498	26,78898	11,95217	14,83681	0,824267
9rod-74																	
215	35	225	25	70	17,5	5200	206750	35,51484	25691002	372800	171080	0,515353	0,236498	26,04494	11,95217	14,09277	0,805301

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Viga V2-2b1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
280	40	300	25	65	20	6650	263500	35,77491	46183070	658210	346680	0,509871	0,26855	36,23265	19,08378	17,14887	0,952715
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	658210	346680	0,47688	0,251173	29,49927	15,5373	13,96197	
TREM 45																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	748430	346680	0,542245	0,251173	33,5427	15,5373	18,0054	1,02888
2eixos-16																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	580310	346680	0,42044	0,251173	26,008	15,5373	10,47069	0,598325
3eixos-23																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	618330	346680	0,447986	0,251173	27,71195	15,5373	12,17465	0,695694
4eixos-33																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	636960	346680	0,461484	0,251173	28,5469	15,5373	13,0096	0,743406
5eixos-41,5																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	672360	346680	0,487131	0,251173	30,13344	15,5373	14,59614	0,834065
6eixos-48,5																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	667730	346680	0,483777	0,251173	29,92593	15,5373	14,38863	0,822208
7rod-56																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	630900	346680	0,457093	0,251173	28,27531	15,5373	12,73801	0,727886
8rod-65																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	695310	346680	0,503759	0,251173	31,162	15,5373	15,6247	0,89284
9rod-74																	
280	40	300	25	80	20	6800	307000	40,35684	55702263	685020	346680	0,496304	0,251173	30,70083	15,5373	15,16353	0,866487

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balço-Viga V2-2b1-10

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
	30		150		8			24,78835	1214213	34130	9110	0,696769	0,185982	32,38455	8,644102	23,74044	1,318914
	30		150		25			40,6848	3139314	34130	9110	0,442317	0,118064	10,79735	2,882036	7,915317	
TREM 45																	
	30		150		25			40,6848	3139314	40830	9110	0,529148	0,118064	12,91696	2,882036	10,03493	0,557496
2eixos-16																	
	30		150		25			40,6848	3139314	30860	9110	0,399939	0,118064	9,762857	2,882036	6,880821	
3eixos-23																	
	30		150		25			40,6848	3139314	44820	9110	0,580857	0,118064	14,17924	2,882036	11,2972	
4eixos-33																	
	30		150		25			40,6848	3139314	35960	9110	0,466034	0,118064	11,37629	2,882036	8,494255	
5eixos-41,5																	
	30		150		25			40,6848	3139314	61780	9110	0,800655	0,118064	19,5447	2,882036	16,66266	
6eixos-48,5																	
	30		150		25			40,6848	3139314	61780	9110	0,800655	0,118064	19,5447	2,882036	16,66266	
7rod-56																	
	30		150		25			40,6848	3139314	44820	9110	0,580857	0,118064	14,17924	2,882036	11,2972	
8rod-65,5																	
	30		150		25			40,6848	3139314	61780	9110	0,800655	0,118064	19,5447	2,882036	16,66266	
9rod-74																	
	30		150		25			40,6848	3139314	44820	9110	0,580857	0,118064	14,17924	2,882036	11,2972	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balanço-Viga V2-2b1-15

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	Δσs	K
TREM 36																	
35		225		11				33,75303	4062178	70210	21930	0,583382	0,182218	31,32642	9,784767	21,54166	1,196759
35		225		25				48,73602	8261435	70210	21930	0,414184	0,12937	14,12998	4,413481	9,716502	
TREM 45																	
35		225		25				48,73602	8261435	83900	21930	0,494945	0,12937	16,88514	4,413481	12,47166	
2eixos-16																	
35		225		25				48,73602	8261435	55710	21930	0,328646	0,12937	11,21181	4,413481	6,798331	
3eixos-23																	
35		225		25				48,73602	8261435	75190	21930	0,443562	0,12937	15,13222	4,413481	10,71874	
4eixos-33																	
35		225		25				48,73602	8261435	75190	21930	0,443562	0,12937	15,13222	4,413481	10,71874	
5eixos-41,5																	
35		225		25				48,73602	8261435	99870	21930	0,589155	0,12937	20,09915	4,413481	15,68567	
6eixos-48,5																	
35		225		25				48,73602	8261435	99870	21930	0,589155	0,12937	20,09915	4,413481	15,68567	
7rod-56																	
35		225		25				48,73602	8261435	75200	21930	0,443621	0,12937	15,13424	4,413481	10,72075	
8rod-65,5																	
35		225		25				48,73602	8261435	99870	21930	0,589155	0,12937	20,09915	4,413481	15,68567	
9rod-74																	
35		225		25				48,73602	8261435	75920	21930	0,447869	0,12937	15,27914	4,413481	10,86566	

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

CÁLCULO DA FADIGA

Balanço-Viga V2-2b1-20

fck = 15 MPa

b	bw	h	hf	As	a	b	c	x	III	Mmax	Mmin	Tcmax	Tcmin	Tsmax	Tsmin	$\Delta\sigma_s$	K
TREM 36																	
	40		300		13			40,28806	8978189	114200	42080	0,512453	0,188827	31,76265	11,70378	20,05886	1,114381
	40		300		25			54,2815	16023328	114200	42080	0,38687	0,142552	16,79991	6,190371	10,60954	
TREM 45																	
	40		300		25			54,2815	16023328	133940	42080	0,453742	0,142552	19,70386	6,190371	13,51349	
2eixos-16																	
	40		300		25			54,2815	16023328	89950	42080	0,30472	0,142552	13,23251	6,190371	7,042135	
3eixos-23																	
	40		300		25			54,2815	16023328	113960	42080	0,386057	0,142552	16,76461	6,190371	10,57424	
4eixos-33																	
	40		300		25			54,2815	16023328	113960	42080	0,386057	0,142552	16,76461	6,190371	10,57424	
5eixos-41,5																	
	40		300		25			54,2815	16023328	145280	42080	0,492158	0,142552	21,37208	6,190371	15,18171	
6eixos-48,5																	
	40		300		25			54,2815	16023328	145280	42080	0,492158	0,142552	21,37208	6,190371	15,18171	
7rod-56																	
	40		300		25			54,2815	16023328	113960	42080	0,386057	0,142552	16,76461	6,190371	10,57424	
8rod-65,5																	
	40		300		25			54,2815	16023328	143280	42080	0,485383	0,142552	21,07786	6,190371	14,88749	
9rod-74																	
	40		300		25			54,2815	16023328	113960	42080	0,386057	0,142552	16,76461	6,190371	10,57424	

APÊNDICE B - DADOS DE FLUXO DE TRÁFEGO

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2000

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	523.932	22.472	5.776	20.853	679	3.915	10.835	2.590	140	2	0	0	0	591.194
Fev	429.528	20.412	3.755	18.593	425	3.741	10.085	2.500	134	0	0	0	0	489.173
Mar	239.407	16.780	2.415	18.431	312	3.889	11.892	3.130	169	1	0	0	0	296.426
Abr	173.693	13.413	1.436	16.623	139	4.047	11.684	3.134	194	2	0	0	0	224.365
Mai	107.405	14.927	749	18.965	127	4.368	13.333	3.233	218	10	0	0	0	163.335
Jun	112.556	14.031	835	16.565	166	4.084	12.128	3.217	246	2	1	0	0	163.831
Jul	123.015	14.153	1.082	17.858	153	4.031	13.182	3.653	299	2	0	0	0	177.428
Ago	105.670	15.824	764	19.507	101	4.336	13.934	3.810	321	2	0	0	0	164.269
Set	145.053	15.211	1.258	18.444	123	4.538	12.495	3.655	308	1	1	0	0	201.087
Out	146.203	17.089	1.296	20.549	174	4.775	13.939	3.819	382	3	2	0	0	208.231
Nov	188.166	16.908	1.891	21.469	255	5.046	13.741	3.632	353	4	18	0	0	251.483
Dez	360.880	21.942	5.324	21.280	709	5.277	12.491	3.445	358	1	19	0	0	431.726
Total	2.655.508	203.162	26.581	229.137	3.363	52.047	149.739	39.818	3.122	30	41	0	0	3.362.548
Total	2.655.508	406.324	39.872	687.411	6.726	208.188	748.695	238.908	21.854	240	369	0	0	5.014.095

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	530.387	60.665	142	591.194
Fev	433.708	55.331	134	489.173
Mar	242.134	54.122	170	296.426
Abr	175.268	48.901	196	224.365
Mai	108.281	54.826	228	163.335
Jun	113.557	50.025	249	163.831
Jul	124.250	52.877	301	177.428
Ago	106.535	57.411	323	164.269
Set	146.434	54.343	310	201.087
Out	147.673	60.171	387	208.231
Nov	190.312	60.796	375	251.483
Dez	366.913	64.435	378	431.726
Total	2.685.452	673.903	3.193	3.362.548

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	89,71	10,26	0,02	100,00
Fev	88,66	11,31	0,03	100,00
Mar	81,68	18,26	0,06	100,00
Abr	78,12	21,80	0,09	100,00
Mai	66,29	33,57	0,14	100,00
Jun	69,31	30,53	0,15	100,00
Jul	70,03	29,80	0,17	100,00
Ago	64,85	34,95	0,20	100,00
Set	72,82	27,02	0,15	100,00
Out	70,92	28,90	0,19	100,00
Nov	75,68	24,17	0,15	100,00
Dez	84,99	14,92	0,09	100,00
Total	79,86	20,04	0,09	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.000

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2001

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	469.520	24.410	4.544	22.675	476	4.820	12.011	3.447	399	9	29	0	0	542.340
Fev	475.875	23.264	4.416	20.668	683	4.626	11.366	3.333	407	7	14	0	0	544.659
Mar	178.549	17.289	1.487	20.292	315	5.414	13.115	4.027	526	11	12	0	0	241.037
Abr	149.634	14.692	1.212	17.989	238	5.065	12.280	3.592	488	4	15	0	0	205.209
Mai	104.412	16.917	766	19.166	142	5.446	13.717	4.268	528	0	24	0	0	165.386
Jun	127.270	14.269	921	17.748	96	5.015	12.632	4.113	548	1	30	0	0	182.643
Jul	122.910	15.341	854	18.752	103	5.090	13.377	4.346	611	0	32	0	0	181.416
Ago	127.507	15.265	1.044	19.321	109	5.466	12.986	4.226	637	1	32	0	0	186.594
Set	152.250	14.948	1.351	18.274	157	5.134	12.306	4.052	630	0	30	0	0	209.132
Out	170.912	17.105	1.640	20.301	201	5.688	12.746	4.142	694	0	22	0	0	233.451
Nov	224.876	17.797	2.530	19.844	234	5.576	12.276	4.002	686	3	27	0	0	287.851
Dez	351.253	22.183	5.399	20.248	737	5.494	11.584	3.888	661	2	43	0	0	421.492
Total	2.654.968	213.480	26.164	235.278	3.491	62.834	150.396	47.436	6.815	38	310	0	0	3.401.210
Total	2.654.968	426.960	39.246	705.834	6.982	251.336	751.980	284.616	47.705	304	2.790	0	0	5.172.721

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	474.540	67.363	437	542.340
Fev	480.974	63.257	428	544.659
Mar	180.351	60.137	549	241.037
Abr	151.084	53.618	507	205.209
Mai	105.320	59.514	552	165.386
Jun	128.287	53.777	579	182.643
Jul	123.867	56.906	643	181.416
Ago	128.660	57.264	670	186.594
Set	153.758	54.714	660	209.132
Out	172.753	59.982	716	233.451
Nov	227.640	59.495	716	287.851
Dez	357.389	63.397	706	421.492
Total	2.684.623	709.424	7.163	3.401.210

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	87,50	12,42	0,08	100,00
Fev	88,31	11,61	0,08	100,00
Mar	74,82	24,95	0,23	100,00
Abr	73,62	26,13	0,25	100,00
Mai	63,68	35,98	0,33	100,00
Jun	70,24	29,44	0,32	100,00
Jul	68,28	31,37	0,35	100,00
Ago	68,95	30,69	0,36	100,00
Set	73,52	26,16	0,32	100,00
Out	74,00	25,69	0,31	100,00
Nov	79,08	20,67	0,25	100,00
Dez	84,79	15,04	0,17	100,00
Total	78,93	20,86	0,21	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.001

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2002

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	436.459	23.971	4.175	21.171	402	4.922	11.615	4.048	745	0	41	0	0	507.549
Fev	410.054	20.947	4.247	17.849	312	4.688	10.168	3.445	665	6	44	0	0	472.425
Mar	233.467	15.818	2.420	16.802	209	5.580	11.747	4.021	749	2	78	0	0	290.893
Abr	103.634	12.960	1.748	15.405	236	5.237	11.840	3.978	810	3	96	0	0	155.947
Mai	126.343	13.488	1.823	15.329	223	5.350	11.266	4.129	829	0	108	0	0	178.888
Jun	93.326	12.421	986	14.643	130	4.967	11.200	4.012	795	8	77	0	0	142.565
Jul	123.311	13.814	866	16.432	115	5.093	12.164	4.161	886	2	122	0	0	176.966
Ago	118.769	14.398	869	16.601	113	5.377	12.245	4.088	917	2	96	0	0	173.475
Set	153.258	14.430	1.344	16.670	165	5.448	12.328	4.016	938	6	73	0	0	208.676
Out	131.900	15.391	1.086	18.187	162	6.540	13.906	4.593	1.014	3	85	0	0	192.867
Nov	217.614	16.983	2.366	17.414	349	6.111	12.753	4.174	1.013	5	50	0	0	278.832
Dez	347.622	20.557	5.252	17.608	789	6.335	11.840	3.867	840	2	54	0	0	414.766
Total	2.495.757	195.178	27.182	204.111	3.205	65.648	143.072	48.532	10.201	39	924	0	0	3.193.849
Eixos Eq	2.495.757	390.356	40.773	612.333	6.410	262.592	715.360	291.192	71.407	312	8.316	0	0	4.894.808

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	441.036	65.727	786	507.549
Fev	414.613	57.097	715	472.425
Mar	236.096	53.968	829	290.893
Abr	105.618	49.420	909	155.947
Mai	128.389	49.562	937	178.888
Jun	94.442	47.243	880	142.565
Jul	124.292	51.664	1.010	176.966
Ago	119.751	52.709	1.015	173.475
Set	154.767	52.892	1.017	208.676
Out	133.148	58.617	1.102	192.867
Nov	220.329	57.435	1.068	278.832
Dez	353.663	60.207	896	414.766
Total	2.526.144	656.541	11.164	3.193.849

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	86,90	12,95	0,15	100,00
Fev	87,76	12,09	0,15	100,00
Mar	81,16	18,55	0,28	100,00
Abr	67,73	31,69	0,58	100,00
Mai	71,77	27,71	0,52	100,00
Jun	66,24	33,14	0,62	100,00
Jul	70,23	29,19	0,57	100,00
Ago	69,03	30,38	0,59	100,00
Set	74,17	25,35	0,49	100,00
Out	69,04	30,39	0,57	100,00
Nov	79,02	20,60	0,38	100,00
Dez	85,27	14,52	0,22	100,00
Total	79,09	20,56	0,35	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.002

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2003

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	450.232	22.149	4.409	19.534	661	5.226	11.724	4.152	925	10	74	0	0	519.096
Fev	394.385	20.588	3.771	17.696	587	5.375	11.417	3.679	1	743	3	85	0	458.330
Mar	194.978	15.733	1.886	16.508	302	5.294	12.088	3.848	336	0	874	2	67	251.916
Abr	149.233	13.489	1.388	15.457	244	5.151	11.995	3.776	888	3	68	0	0	201.692
Mai	109.068	13.050	1.020	15.582	174	5.197	12.729	4.197	1.010	2	61	0	0	162.090
Jun	106.278	12.456	878	14.148	162	4.909	11.778	3.836	881	21	70	0	0	155.417
Jul	121.550	13.524	937	15.911	159	5.525	12.928	4.146	1.007	27	56	0	0	175.770
Ago	115.964	13.198	981	16.050	213	4.796	13.171	4.365	1.181	3	61	0	0	169.983
Set	124.737	13.572	1.194	16.302	249	5.406	12.892	4.349	1.095	6	93	0	0	179.895
Out	152.470	14.210	2.153	17.271	959	5.431	13.404	4.572	1.217	1	104	0	0	211.792
Nov	185.288	14.553	2.677	16.911	1.424	5.165	13.286	4.492	1.342	4	109	0	0	245.251
Dez	361.690	19.090	6.616	17.193	1.877	4.813	11.816	4.211	1.132	6	122	0	0	428.566
Total	2.465.873	185.612	27.910	198.563	7.011	62.288	149.228	49.623	11.015	826	1.695	87	67	3.159.798
Eixos Eq	2.465.873	371.224	41.865	595.689	14.022	249.152	746.140	297.738	77.105	6.608	15.255	870	67	4.881.608

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	455.302	62.785	1.009	519.096
Fev	398.743	58.755	832	458.330
Mar	197.166	53.471	1.279	251.916
Abr	150.865	49.868	959	201.692
Mai	110.262	50.755	1.073	162.090
Jun	107.318	47.127	972	155.417
Jul	122.646	52.034	1.090	175.770
Ago	117.158	51.580	1.245	169.983
Set	126.180	52.521	1.194	179.895
Out	155.582	54.888	1.322	211.792
Nov	189.389	54.407	1.455	245.251
Dez	370.183	57.123	1.260	428.566
Total	2.500.794	645.314	13.690	3.159.798

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	87,71	12,10	0,19	100,00
Fev	87,00	12,82	0,18	100,00
Mar	78,27	21,23	0,51	100,00
Abr	74,80	24,72	0,48	100,00
Mai	68,03	31,31	0,66	100,00
Jun	69,05	30,32	0,63	100,00
Jul	69,78	29,60	0,62	100,00
Ago	68,92	30,34	0,73	100,00
Set	70,14	29,20	0,66	100,00
Out	73,46	25,92	0,62	100,00
Nov	77,22	22,18	0,59	100,00
Dez	86,38	13,33	0,29	100,00
Total	79,14	20,42	0,43	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.003

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2004

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	482.966	19.703	4.870	20.389	890	4.846	12.629	4.403	1.256	13	124	0	0	552.089
Fev	427.338	19.202	4.122	19.790	570	4.829	12.087	4.007	1.004	11	90	0	0	493.050
Mar	145.630	13.530	1.328	19.782	207	5.450	14.263	4.797	1.358	6	82	0	0	206.433
Abr	161.350	12.260	1.467	18.941	243	4.988	13.048	4.393	1.405	8	93	0	0	218.196
Mai	106.197	11.967	880	20.307	175	5.662	15.059	4.780	1.539	26	164	0	0	166.756
Jun	110.232	11.101	1.170	18.489	239	5.046	13.985	4.758	1.518	14	142	0	0	166.694
Jul	137.243	12.295	1.095	18.939	168	5.720	15.063	5.178	1.903	4	173	0	0	197.781
Ago	127.507	15.265	1.044	19.321	109	5.466	12.986	4.226	637	1	32	0	0	186.594
Set	168.219	13.059	1.504	18.661	207	5.868	14.384	4.943	1.825	6	183	0	0	228.859
Out	184.212	13.599	2.013	19.206	245	5.996	14.724	4.918	1.920	3	191	132	0	247.159
Nov	177.053	14.099	1.936	18.858	285	5.899	14.000	4.849	1.770	12	159	634	0	239.554
Dez	363.077	18.651	5.671	20.161	925	6.622	12.665	4.536	1.709	8	102	1.568	0	435.695
Total	2.591.024	174.731	27.100	232.844	4.263	66.392	164.893	55.788	17.844	112	1.535	2.334	0	3.338.860
Eixos Eq	2.591.024	349.462	40.650	698.532	8.526	265.568	824.465	334.728	124.908	896	13.815	23.340	0	5.275.914

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	488.726	61.970	1.393	552.089
Fev	432.030	59.915	1.105	493.050
Mar	147.165	57.822	1.446	206.433
Abr	163.060	53.630	1.506	218.196
Mai	107.252	57.775	1.729	166.756
Jun	111.641	53.379	1.674	166.694
Jul	138.506	57.195	2.080	197.781
Ago	128.660	57.264	670	186.594
Set	169.930	56.915	2.014	228.859
Out	186.470	58.443	2.246	247.159
Nov	179.274	57.705	2.575	239.554
Dez	369.673	62.635	3.387	435.695
Total	2.622.387	694.648	21.825	3.338.860

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	88,52	11,22	0,25	100,00
Fev	87,62	12,15	0,22	100,00
Mar	71,29	28,01	0,70	100,00
Abr	74,73	24,58	0,69	100,00
Mai	64,32	34,65	1,04	100,00
Jun	66,97	32,02	1,00	100,00
Jul	70,03	28,92	1,05	100,00
Ago	68,95	30,69	0,36	100,00
Set	74,25	24,87	0,88	100,00
Out	75,45	23,65	0,91	100,00
Nov	74,84	24,09	1,07	100,00
Dez	84,85	14,38	0,78	100,00
Total	78,54	20,80	0,65	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.004

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2005

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	523.932	22.472	5.776	20.853	679	3.915	10.835	2.590	0	0	140	2	0	0	0	591.194
Fev	408.468	18.519	3.776	19.251	540	4.827	11.983	4.121	0	0	1.513	9	171	1.643	0	474.821
Mar	194.842	14.582	1.705	19.369	237	6.136	13.983	4.719	0	0	1.731	12	208	687	0	258.211
Abr	123.804	12.335	1.136	16.998	218	6.364	13.336	4.557	0	0	1.662	5	166	746	0	181.327
Mai	120.205	12.165	1.019	17.225	201	5.579	13.671	4.374	2.462	4.075	1.633	7	158	0	0	182.774
Jun	105.700	11.589	899	17.255	152	5.479	13.711	4.419	28	0	1.736	3	178	18	0	161.167
Jul	156.971	12.269	1.207	17.006	232	5.270	14.184	4.623	37	0	1.974	8	235	0	0	214.016
Ago	113.182	12.525	890	17.678	131	5.954	13.874	4.694	61	0	2.093	7	254	3	0	171.346
Set	119.476	12.110	1.013	16.981	181	5.708	13.307	4.463	246	0	1.926	15	284	6	0	175.716
Out	133.827	12.262	1.244	17.832	247	6.157	14.068	4.775	415	0	2.047	16	271	2	0	193.163
Nov	195.446	13.803	2.107	18.564	258	6.005	13.717	5.044	1.036	0	2.214	5	316	1	0	258.516
Dez	360.745	18.740	5.366	20.164	824	6.251	13.172	4.736	1.058	0	2.043	14	237	0	0	433.350
Total	2.556.598	173.371	26.138	219.176	3.900	67.645	159.841	53.115	5.343	4.075	20.712	103	2.478	3.106	0	3.295.601
Eixos Ec	2.556.598	346.742	39.207	657.528	7.800	270.580	799.205	318.690	2.672	4.075	144.984	824	22.302	31.060	0	5.202.267

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	530.387	60.665	0	0	142	591.194
Fev	412.784	58.701	0	0	3.336	474.821
Mar	196.784	58.789	0	0	2.638	258.211
Abr	125.158	53.590	0	0	2.579	181.327
Mai	121.425	53.014	2.462	4.075	1.798	182.774
Jun	106.751	52.453	28	0	1.935	161.167
Jul	158.410	53.352	37	0	2.217	214.016
Ago	114.203	54.725	61	0	2.357	171.346
Set	120.670	52.569	246	0	2.231	175.716
Out	135.318	55.094	415	0	2.336	193.163
Nov	197.811	57.133	1.036	0	2.536	258.516
Dez	366.935	63.063	1.058	0	2.294	433.350
Total	2.586.636	673.148	5.343	4.075	26.399	3.295.601

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	89,71	10,26	0,00	0,00	0,02	100,00
Fev	86,93	12,36	0,00	0,00	0,70	100,00
Mar	76,21	22,77	0,00	0,00	1,02	100,00
Abr	69,02	29,55	0,00	0,00	1,42	100,00
Mai	66,43	29,01	1,35	2,23	0,98	100,00
Jun	66,24	32,55	0,02	0,00	1,20	100,00
Jul	74,02	24,93	0,02	0,00	1,04	100,00
Ago	66,65	31,94	0,04	0,00	1,38	100,00
Set	68,67	29,92	0,14	0,00	1,27	100,00
Out	70,05	28,52	0,21	0,00	1,21	100,00
Nov	76,52	22,10	0,40	0,00	0,98	100,00
Dez	84,67	14,55	0,24	0,00	0,53	100,00
Total	78,49	20,43	0,16	0,12	0,80	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P11 - 2.005

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2006

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	481.883	19.268	4.368	21.562	603	4.870	13.799	4.812	1.417	0	2.036	6	215	1	0	554.840
Fev	470.381	17.721	4.172	19.383	542	5.385	13.557	4.867	1.891	0	1.880	12	256	0	0	540.047
Mar	157.377	13.126	1.405	19.626	328	5.567	14.689	5.105	691	0	2.157	14	309	1	0	220.395
Abr	176.697	10.731	1.481	15.607	337	5.782	12.738	4.392	785	0	1.843	19	353	0	0	230.765
Mai	102.033	10.906	806	17.949	214	5.932	14.512	5.095	406	0	2.191	10	405	1	0	160.460
Jun	107.861	10.609	910	16.630	206	5.296	13.493	4.862	429	0	2.171	4	353	0	0	162.824
Jul	144.577	11.198	1.037	17.657	253	5.954	14.471	5.066	657	0	2.233	9	431	0	0	203.543
Ago	111.288	11.522	882	19.030	294	6.248	14.679	5.265	478	0	2.292	9	396	0	0	172.383
Set	139.957	11.444	1.121	18.785	373	6.191	14.345	5.316	690	0	2.397	15	454	0	0	201.088
Out	163.438	11.593	1.558	22.066	210	3.867	17.068	6.825	4.005	0	3.228	17	469	0	0	234.344
Nov	184.829	12.250	1.906	21.890	203	4.210	16.762	6.259	4.707	0	2.859	15	376	0	0	256.266
Dez	414.034	16.902	5.791	22.314	739	4.384	15.783	5.981	14.273	0	2.658	6	300	0	0	503.165
Total	2.654.355	157.270	25.437	232.499	4.302	63.686	175.896	63.845	30.429	0	27.945	136	4.317	3	0	3.440.120
Eixos Eq	2.654.355	314.540	38.156	697.497	8.604	254.744	879.480	383.070	15.215	0	195.615	1.088	38.853	30	0	5.481.246

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	486.854	64.311	1.417	0	2.258	554.840
Fev	475.095	60.913	1.891	0	2.148	540.047
Mar	159.110	58.113	691	-	2.481	220.395
Abr	178.515	49.250	785	-	2.215	230.765
Mai	103.053	54.394	406	-	2.607	160.460
Jun	108.977	50.890	429	-	2.528,00	162.824
Jul	145.867	54.346	657	-	2.673	203.543
Ago	112.464	56.744	478	-	2.697	172.383
Set	141.451	56.081	690	-	2.866	201.088
Out	165.206	61.419	4.005	-	3.714	234.344
Nov	186.938	61.371	4.707	-	3.250	256.266
Dez	420.564	65.364	14.273,00	-	2.964,00	#####
Total	2.684.094	693.196	30.429	0	32.401	3.440.120

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	87,75	11,59	0,26	0,00	0,41	100,00
Fev	87,97	11,28	0,35	0,00	0,40	100,00
Mar	72,19	26,37	0,31	0,00	1,13	100,00
Abr	77,36	21,34	0,34	0,00	0,96	100,00
Mai	64,22	33,90	0,25	0,00	1,62	100,00
Jun	66,93	31,25	0,26	0,00	1,55	100,00
Jul	71,66	26,70	0,32	0,00	1,31	100,00
Ago	65,24	32,92	0,28	0,00	1,56	100,00
Set	70,34	27,89	0,34	0,00	1,43	100,00
Out	70,50	26,21	1,71	0,00	1,58	100,00
Nov	72,95	23,95	1,84	0,00	1,27	100,00
Dez	83,58	12,99	2,84	0,00	0,59	100,00
Total	78,02	20,15	0,88	0,00	0,94	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.006

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2007

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	454.408	17.347	3.688	24.381	380	3.224	16.826	6.477	11.482	0	3.039					541.252
Fev	446.693	16.572	3.482	21.849	342	3.628	14.856	5.746	11.273	0	2.541					526.982
Mar	169.283	11.822	1.452	22.017	218	4.849	18.009	6.894	4.500	0	3.171					242.215
Abr	182.915	10.273	1.428	19.896	166	4.351	16.649	6.304	6.814	0	3.022					251.818
Mai	114.261	10.123	795	21.090	176	4.525	17.873	7.180	2.694	0	3.159					181.876
Jun	125.612	9.440	881	19.135	154	4.513	17.346	7.256	2.366	0	3.493					190.196
Jul	143.254	10.545	1.009	20.870	162	4.841	18.764	7.666	2.318	0	3.840					213.269
Ago	119.979	11.719	846	22.061	128	5.158	19.138	8.052	2.115	0	3.916					193.112
Set	185.229	11.262	1.528	21.630	186	4.963	18.582	7.667	4.891	0	3.859					259.797
Out	175.333	12.604	1.597	24.655	214	5.358	20.789	8.628	3.978	0	3.632	9	657	9	17	257.480
Nov	235.166	13.356	2.421	23.791	274	5.063	19.940	8.883	6.784	0	3.601	1	653	0	38	319.971
Dez	424.775	16.894	5.634	23.792	728	5.160	18.445	8.093	18.374		3.344	7	640	1	42	525.929
Total	2.776.908	151.957	24.761	265.167	3.128	55.633	217.217	88.846	77.589	0	40.617	17	1.950	10	97	3.703.897
Eixos Eq	2.776.908	303.914	37.142	795.501	6.256	222.532	1.086.085	533.076	38.795	0	284.319	136	17.550	100	97	6.102.410

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	458.476	68.255	11.482	0	3.039	541.252
Fev	450.517	62.651	11.273	0	2.541	526.982
Mar	170.953	63.591	4.500	-	3.171	242.215
Abr	184.509	57.473	6.814	-	3.022	251.818
Mai	115.232	60.791	2.694	-	3.159	181.876
Jun	126.647	57.690	2.366	-	3.493,00	190.196
Jul	144.425	62.686	2.318	-	3.840	213.269
Ago	120.953	66.128	2.115	-	3.916	193.112
Set	186.943	64.104	4.891	-	3.859	259.797
Out	177.144	72.034	3.978	-	4.324	257.480
Nov	237.861	71.033	6.784	-	4.293	319.971
Dez	431.137	72.384	18.374,00	-	4.034,00	525.929,00
Total	2.804.797	778.820	77.589	0	42.691	3.703.897

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	84,71	12,61	2,12	0,00	0,56	100,00
Fev	85,49	11,89	2,14	0,00	0,48	100,00
Mar	70,58	26,25	1,86	0,00	1,31	100,00
Abr	73,27	22,82	2,71	0,00	1,20	100,00
Mai	63,36	33,42	1,48	0,00	1,74	100,00
Jun	66,59	30,33	1,24	0,00	1,84	100,00
Jul	67,72	29,39	1,09	0,00	1,80	100,00
Ago	62,63	34,24	1,10	0,00	2,03	100,00
Set	71,96	24,67	1,88	0,00	1,49	100,00
Out	68,80	27,98	1,54	0,00	1,68	100,00
Nov	74,34	22,20	2,12	0,00	1,34	100,00
Dez	81,98	13,76	3,49	0,00	0,77	100,00
Total	75,73	21,03	2,09	0,00	1,15	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P11 - 2.007

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA - P11
ANO: 2008

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	473.121	17.218	3.858	25.837	437	4.820	19.514	8.978	14.047	0	3.608	7	642	0	39	572.126
Fev	446.909	15.498	3.491	23.489	377	4.042	16.783	7.916	14.085	0	3.227	7	652	0	41	536.517
Mar	218.938	11.271	1.723	22.808	198	4.846	19.031	9.058	6.364	0	3.361	8	645	2	43	298.296
Abr	155.218	10.197	1.293	21.721	204	4.790	19.450	9.146	4.117	0	3.364	10	614	0	28	230.152
Mai	146.157	10.150	1.116	21.099	222	4.717	19.260	9.163	4.068	0	3.612	18	648	0	37	220.267
Jun	114.855	9.534	911	20.021	143	4.866	19.422	9.183	2.201	0	3.467	15	640	0	20	185.278
Jul	165.119	10.387	1.205	21.939	152	4.976	20.377	10.246	3.573	0	3.617	9	693	1	34	242.328
Ago	142.023	10.082	1.159	21.205	160	4.839	19.705	10.329	3.737	0	3.871	9	745	0	34	217.898
Set	140.753	10.591	1.154	22.154	214	5.226	19.835	10.629	3.413	0	3.754	6	737	0	26	218.492
Out	161.200	11.431	1.454	23.150	222	5.070	19.894	11.239	3.533	0	3.891	8	718	0	49	241.859
Nov	216.470	11.566	2.211	19.614	265	3.217	14.795	9.137	7.629	0	3.009	6	513	0	47	288.479
Dez																0
Total	2.380.763	127.925	19.575	243.037	2.594	51.409	208.066	105.024	66.767	0	38.781	103	7.247	3	398	3.251.692
Eixos Eq	2.380.763	255.850	29.363	729.111	5.188	205.636	1.040.330	630.144	33.384	0	271.467	824	65.223	30	398	5.647.710

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	477.416	76.367	14.047	0	4.296	572.126
Fev	450.777	67.728	14.085	0	3.927	536.517
Mar	220.859	67.014	6.364	-	4.059	298.296
Abr	156.715	65.304	4.117	-	4.016	230.152
Mai	147.495	64.389	4.068	-	4.315	220.267
Jun	115.909	63.026	2.201	-	4.142,00	185.278
Jul	166.476	67.925	3.573	-	4.354	242.328
Ago	143.342	66.160	3.737	-	4.659	217.898
Set	142.121	68.435	3.413	-	4.523	218.492
Out	162.876	70.784	3.533	-	4.666	241.859
Nov	218.946	58.329	7.629	-	3.575	288.479
Dez	-	-	-	-	-	-
Total	2.402.932	735.461	66.767	0	46.532	3.251.692

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	83,45	13,35	2,46	0,00	0,75	100,00
Fev	84,02	12,62	2,63	0,00	0,73	100,00
Mar	74,04	22,47	2,13	0,00	1,36	100,00
Abr	68,09	28,37	1,79	0,00	1,74	100,00
Mai	66,96	29,23	1,85	0,00	1,96	100,00
Jun	62,56	34,02	1,19	0,00	2,24	100,00
Jul	68,70	28,03	1,47	0,00	1,80	100,00
Ago	65,78	30,36	1,72	0,00	2,14	100,00
Set	65,05	31,32	1,56	0,00	2,07	100,00
Out	67,34	29,27	1,46	0,00	1,93	100,00
Nov	75,90	20,22	2,64	0,00	1,24	100,00
Dez	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total	73,90	22,62	2,05	0,00	1,43	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P11 - 2.008

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2000

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.115.272	53.193	8.015	41.691	839	8.010	17.966	4.912	141	3	0	0	0	1.250.042
Fev	927.592	48.359	6.026	37.002	690	7.697	16.408	4.589	149	3	0	0	0	1.048.515
Mar	702.443	44.802	4.405	38.173	609	8.745	19.114	5.330	186	0	0	0	0	823.807
Abr	571.856	37.223	2.665	33.570	467	8.281	18.384	5.321	227	1	0	0	0	677.995
Mai	533.483	40.175	2.020	37.160	455	8.515	19.572	5.298	318	18	0	0	0	647.014
Jun	503.712	38.018	1.679	32.900	364	8.049	18.238	5.453	366	6	0	0	43	608.828
Jul	537.482	38.993	1.767	34.300	372	9.056	18.378	5.784	559	46	4	0	24	646.765
Ago	513.194	40.969	1.613	36.920	327	9.112	19.704	5.967	443	6	0	0	0	628.255
Set	541.953	38.224	2.428	34.451	401	8.547	18.545	5.767	382	3	1	0	0	650.702
Out	562.560	42.471	2.340	39.013	368	9.430	19.854	6.154	477	2	2	0	0	682.671
Nov	613.608	44.748	3.164	40.560	520	9.857	20.580	6.153	421	3	24	0	0	739.638
Dez	760.565	50.648	5.804	39.838	861	10.050	19.833	5.867	452	1	21	0	0	893.940
Total	7.883.720	517.823	41.926	445.578	6.273	105.349	226.576	66.595	4.121	92	52	0	67	9.298.172
Eixos Eq	7.883.720	1.035.646	62.889	1.336.734	12.546	421.396	1.132.880	399.570	28.847	736	468	0	67	12.315.499

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	1.124.126	125.772	144	1.250.042
Fev	934.308	114.055	152	1.048.515
Mar	707.457	116.164	186	823.807
Abr	574.988	102.779	228	677.995
Mai	535.958	110.720	336	647.014
Jun	505.755	102.658	415	608.828
Jul	539.621	106.511	633	646.765
Ago	515.134	112.672	449	628.255
Set	544.782	105.534	386	650.702
Out	565.268	116.922	481	682.671
Nov	617.292	121.898	448	739.638
Dez	767.230	126.236	474	893.940
Total	7.931.919	1.361.921	4.332	9.298.172

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	89,93	10,06	0,01	100,00
Fev	89,11	10,88	0,01	100,00
Mar	85,88	14,10	0,02	100,00
Abr	84,81	15,16	0,03	100,00
Mai	82,84	17,11	0,05	100,00
Jun	83,07	16,86	0,07	100,00
Jul	83,43	16,47	0,10	100,00
Ago	81,99	17,93	0,07	100,00
Set	83,72	16,22	0,06	100,00
Out	82,80	17,13	0,07	100,00
Nov	83,46	16,48	0,06	100,00
Dez	85,83	14,12	0,05	100,00
Total	85,31	14,65	0,05	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.000

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2001

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.069.606	56.418	7.554	41.825	805	8.552	18.435	5.772	535	13	34	0	0	1.209.549
Fev	979.500	51.965	7.578	36.637	1.067	8.340	17.222	5.357	491	14	31	0	0	1.108.202
Mar	636.041	44.979	3.910	37.699	847	9.840	20.018	6.489	647	15	17	0	0	760.502
Abr	551.373	38.434	2.471	33.108	590	9.374	18.413	5.850	646	31	13	0	0	660.303
Mai	501.536	40.507	1.677	34.263	456	9.730	20.178	6.621	745	37	16	0	0	615.766
Jun	507.049	38.157	1.911	32.124	618	9.064	18.510	6.368	738	36	14	0	0	614.589
Jul	515.531	40.285	1.663	33.503	484	9.677	19.569	6.652	901	39	20	0	0	628.324
Ago	521.905	43.571	1.845	36.278	813	9.607	19.579	6.815	932	80	16	0	0	641.441
Set	518.053	39.427	2.405	32.780	570	9.357	18.520	6.531	897	64	26	0	0	628.630
Out	579.003	44.718	2.644	36.356	542	10.181	19.536	6.742	955	81	19	0	0	700.777
Nov	646.387	45.483	3.906	36.539	579	10.094	18.678	6.505	995	107	30	0	0	769.303
Dez	735.458	50.419	6.010	36.629	1.504	10.569	18.201	6.409	984	89	43	0	0	866.315
Total	7.761.442	534.363	43.574	427.741	8.875	114.385	226.859	76.111	9.466	606	279	0	0	9.203.701
Eixos Eq	7.761.442	1.068.726	65.361	1.283.223	17.750	457.540	1.134.295	456.666	66.262	4.848	2.511	0	0	12.318.624

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	1.077.965	131.002	582	1.209.549
Fev	988.145	119.521	536	1.108.202
Mar	640.798	119.025	679	760.502
Abr	554.434	105.179	690	660.303
Mai	503.669	111.299	798	615.766
Jun	509.578	104.223	788	614.589
Jul	517.678	109.686	960	628.324
Ago	524.563	115.850	1.028	641.441
Set	521.028	106.615	987	628.630
Out	582.189	117.533	1.055	700.777
Nov	650.872	117.299	1.132	769.303
Dez	742.972	122.227	1.116	866.315
Total	7.813.891	1.379.459	10.351	9.203.701

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	89,12	10,83	0,05	100,00
Fev	89,17	10,79	0,05	100,00
Mar	84,26	15,65	0,09	100,00
Abr	83,97	15,93	0,10	100,00
Mai	81,80	18,07	0,13	100,00
Jun	82,91	16,96	0,13	100,00
Jul	82,39	17,46	0,15	100,00
Ago	81,78	18,06	0,16	100,00
Set	82,88	16,96	0,16	100,00
Out	83,08	16,77	0,15	100,00
Nov	84,61	15,25	0,15	100,00
Dez	85,76	14,11	0,13	100,00
Total	84,90	14,99	0,11	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.001

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2002

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	999.258	56.217	6.631	38.071	692	9.232	17.348	6.481	1.062	102	52	0	0	1.135.146
Fev	875.253	50.356	6.764	34.458	756	8.443	15.568	5.677	855	3	39	0	0	998.172
Mar	671.228	43.657	3.642	33.775	537	10.042	18.206	6.767	1.045	39	47	0	0	788.985
Abr	483.720	38.900	1.928	30.922	429	9.765	17.757	6.363	1.114	85	73	0	0	591.056
Mai	498.197	38.945	1.813	30.478	442	9.746	17.782	6.663	1.297	83	102	0	0	605.548
Jun	445.873	36.178	1.495	27.861	303	8.925	16.788	6.350	1.185	96	84	0	0	545.138
Jul	495.320	39.065	1.702	30.646	375	9.190	17.271	6.590	1.312	119	94	0	0	601.684
Ago	493.538	40.001	1.671	31.200	307	9.230	17.766	6.537	1.328	87	87	0	0	601.752
Set	536.555	38.660	2.367	31.371	927	9.427	17.707	6.334	1.328	111	83	0	0	644.870
Out	528.667	42.911	2.001	34.351	1.016	10.925	20.311	7.476	1.488	41	90	0	0	649.277
Nov	622.841	43.195	3.518	33.945	1.594	10.275	19.290	6.848	1.520	63	65	0	0	743.154
Dez	726.805	49.033	5.387	35.044	2.104	10.793	18.524	6.318	1.377	19	87	0	0	855.491
Total	7.377.255	517.118	38.919	392.122	9.482	115.993	214.318	78.404	14.911	848	903	0	0	8.760.273
Eixos Eq	7.377.255	1.034.236	58.379	1.176.366	18.964	463.972	1.071.590	470.424	104.377	6.784	8.127	0	0	11.790.474

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	1.006.581	127.349	1.216	1.135.146
Fev	882.773	114.502	897	998.172
Mar	675.407	112.447	1.131	788.985
Abr	486.077	103.707	1.272	591.056
Mai	500.452	103.614	1.482	605.548
Jun	447.671	96.102	1.365	545.138
Jul	497.397	102.762	1.525	601.684
Ago	495.516	104.734	1.502	601.752
Set	539.849	103.499	1.522	644.870
Out	531.684	115.974	1.619	649.277
Nov	627.953	113.553	1.648	743.154
Dez	734.296	119.712	1.483	855.491
Total	7.425.656	1.317.955	16.662	8.760.273

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	88,67	11,22	0,11	100,00
Fev	88,44	11,47	0,09	100,00
Mar	85,60	14,25	0,14	100,00
Abr	82,24	17,55	0,22	100,00
Mai	82,64	17,11	0,24	100,00
Jun	82,12	17,63	0,25	100,00
Jul	82,67	17,08	0,25	100,00
Ago	82,35	17,40	0,25	100,00
Set	83,71	16,05	0,24	100,00
Out	81,89	17,86	0,25	100,00
Nov	84,50	15,28	0,22	100,00
Dez	85,83	13,99	0,17	100,00
Total	84,77	15,04	0,19	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.002

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2003

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	968.114	53.478	6.712	36.740	2.163	9.216	17.387	6.284	1.379	20	120	0	0	1.101.613
Fev	832.141	48.210	5.877	33.528	1.901	9.342	17.503	6.140	1.317	21	125	0	0	956.105
Mar	628.421	41.600	4.360	32.060	1.757	9.159	18.477	6.442	1.353	12	93	0	0	743.734
Abr	505.396	36.755	2.553	29.239	1.246	8.940	18.034	5.994	1.388	22	104	0	0	609.671
Mai	455.394	37.174	2.193	29.563	1.280	9.265	19.278	6.679	1.571	18	96	0	0	562.511
Jun	446.794	34.942	1.980	26.930	776	8.800	17.821	6.317	1.452	14	90	0	0	545.916
Jul	482.408	37.757	1.970	30.198	809	9.508	19.706	6.794	1.609	17	101	0	0	590.877
Ago	478.360	36.804	2.008	30.522	815	9.208	19.477	6.840	1.745	16	95	0	0	585.890
Set	488.470	38.354	2.138	31.306	973	9.747	19.541	6.992	1.796	15	130	0	0	599.462
Out	539.536	41.869	2.503	34.397	1.028	10.586	21.536	7.652	2.109	19	133	0	0	661.368
Nov	583.361	40.105	3.071	32.887	1.196	10.413	20.793	7.383	2.130	14	139	0	0	701.492
Dez	736.973	45.767	6.651	32.787	2.127	10.410	18.869	7.092	1.841	14	160	432	0	863.123
Total	7.145.368	492.815	42.016	380.157	16.071	114.594	228.422	80.609	19.690	202	1.386	432	0	8.521.762
Eixos Eq	7.145.368	985.630	63.024	1.140.471	32.142	458.376	1.142.110	483.654	137.830	1.616	12.474	4.320	0	11.607.015

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	976.989	123.105	1.519	1.101.613
Fev	839.919	114.723	1.463	956.105
Mar	634.538	107.738	1.458	743.734
Abr	509.195	98.962	1.514	609.671
Mai	458.867	101.959	1.685	562.511
Jun	449.550	94.810	1.556	545.916
Jul	485.187	103.963	1.727	590.877
Ago	481.183	102.851	1.856	585.890
Set	491.581	105.940	1.941	599.462
Out	543.067	116.040	2.261	661.368
Nov	587.628	111.581	2.283	701.492
Dez	745.751	114.925	2.447	863.123
Total	7.203.455	1.296.597	21.710	8.521.762

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	88,69	11,17	0,14	100,00
Fev	87,85	12,00	0,15	100,00
Mar	85,32	14,49	0,20	100,00
Abr	83,52	16,23	0,25	100,00
Mai	81,57	18,13	0,30	100,00
Jun	82,35	17,37	0,29	100,00
Jul	82,11	17,59	0,29	100,00
Ago	82,13	17,55	0,32	100,00
Set	82,00	17,67	0,32	100,00
Out	82,11	17,55	0,34	100,00
Nov	83,77	15,91	0,33	100,00
Dez	86,40	13,32	0,28	100,00
Total	84,53	15,22	0,25	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.003

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2004

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	974.043	47.653	7.429	34.993	2.103	8.345	19.035	7.105	1.822	36	138	1.286	0	1.103.988
Fev	929.806	45.021	7.665	34.909	2.260	8.618	18.927	6.937	1.709	31	103	975	0	1.056.961
Mar	539.840	37.680	3.027	34.722	1.593	9.597	22.819	8.068	2.164	40	159	810	0	660.519
Abr	524.407	32.620	2.639	31.511	1.528	8.507	20.734	7.796	2.422	179	192	1.217	0	633.752
Mai	462.970	31.956	1.919	31.823	1.179	8.086	21.886	8.035	2.554	177	279	1.458	0	572.322
Jun	456.460	32.203	1.955	31.148	1.253	8.338	21.795	8.222	2.662	144	253	589	0	565.022
Jul	502.591	34.375	2.137	33.121	1.195	10.149	22.964	8.337	2.795	161	272	1.021	0	619.118
Ago	482.408	32.173	2.049	31.372	1.020	10.599	22.557	8.456	4.257	2.248	1.350	802	0	599.291
Set	540.366	32.894	2.706	31.465	1.254	10.997	21.509	8.433	4.410	2.272	1.405	662	0	658.373
Out	552.492	33.948	2.975	32.990	1.390	11.698	22.077	8.483	4.529	2.439	1.467	816	0	675.304
Nov	575.186	34.394	3.203	32.202	1.314	10.922	21.690	8.771	4.328	2.358	1.572	868	0	696.808
Dez	734.431	41.447	5.894	34.632	2.221	12.116	21.265	8.727	4.231	2.178	1.352	1.071	0	869.565
Total	7.275.000	436.364	43.598	394.888	18.310	117.972	257.258	97.370	37.883	12.263	8.542	11.575	0	8.711.023
Eixos Eq	7.275.000	872.728	65.397	1.184.664	36.620	471.888	1.286.290	584.220	265.181	98.104	76.878	115.750	0	12.332.720

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	983.575	117.131	3.282	1.103.988
Fev	939.731	114.412	2.818	1.056.961
Mar	544.460	112.886	3.173	660.519
Abr	528.574	101.168	4.010	633.752
Mai	466.068	101.786	4.468	572.322
Jun	459.668	101.706	3.648	565.022
Jul	505.923	108.946	4.249	619.118
Ago	485.477	105.157	8.657	599.291
Set	544.326	105.298	8.749	658.373
Out	556.857	109.196	9.251	675.304
Nov	579.703	107.979	9.126	696.808
Dez	742.546	118.187	8.832	869.565
Total	7.336.908	1.303.852	70.263	8.711.023

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	89,09	10,61	0,30	100,00
Fev	88,91	10,82	0,27	100,00
Mar	82,43	17,09	0,48	100,00
Abr	83,40	15,96	0,63	100,00
Mai	81,43	17,78	0,78	100,00
Jun	81,35	18,00	0,65	100,00
Jul	81,72	17,60	0,69	100,00
Ago	81,01	17,55	1,44	100,00
Set	82,68	15,99	1,33	100,00
Out	82,46	16,17	1,37	100,00
Nov	83,19	15,50	1,31	100,00
Dez	85,39	13,59	1,02	100,00
Total	84,23	14,97	0,81	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.004

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2005

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.028.686	46.581	7.996	35.108	2.477	10.448	19.025	7.600	0	0	4.156	2.248	1.352	1.411	0	1.167.088
Fev	856.033	40.604	6.814	31.422	2.228	10.770	17.002	6.778	0	0	3.500	1.761	1.025	2.119	0	980.056
Mar	595.300	38.199	3.402	34.076	2.016	12.492	19.995	7.794	0	0	3.048	740	544	1.003	0	718.609
Abr	458.491	34.771	2.435	31.173	1.796	12.032	18.003	6.695	0	0	2.443	127	247	839	0	569.052
Mai	486.819	35.312	2.223	32.614	1.712	11.266	19.076	6.858	14.495	14.729	2.585	68	226	0	0	627.983
Jun	459.506	34.582	2.013	32.875	1.440	10.360	20.493	7.226	5.130	3	2.878	40	281	134	0	576.961
Jul	534.919	34.600	2.467	31.849	1.514	10.341	20.961	7.373	5.549	0	3.021	74	345	7	0	653.020
Ago	485.285	36.892	1.996	34.094	1.372	10.870	20.982	7.489	5.804	0	3.237	52	354	0	0	608.427
Set	462.109	34.835	2.376	32.213	1.868	10.314	20.354	7.259	2.819	0	3.078	58	368	0	0	577.651
Out	503.567	38.446	2.931	34.524	2.605	11.268	21.794	7.842	2.912	0	3.293	88	350	1	0	629.621
Nov	582.274	40.949	4.292	34.844	3.197	11.684	20.940	8.159	3.243	2	3.639	107	440	1	0	713.771
Dez	734.671	44.793	6.165	36.124	2.997	12.365	21.517	8.513	5.072	0	3.590	92	382	7	0	876.288
Total	7.187.660	460.564	45.110	400.916	25.222	134.210	240.142	89.586	45.024	14.734	38.468	5.455	5.914	5.522	0	8.698.527
Eixos Eq	7.187.660	921.128	67.665	1.202.748	50.444	536.840	1.200.710	537.516	270.144	88.404	230.808	32.730	35.484	33.132	0	12.395.413

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	1.039.159	118.762	0	0	9.167	1.167.088
Fev	865.075	106.576	0	0	8.405	980.056
Mar	600.718	112.556	0	0	5.335	718.609
Abr	462.722	102.674	0	0	3.656	569.052
Mai	490.754	105.126	14.495	14.729	2.879	627.983
Jun	462.959	105.536	5.130	3	3.333	576.961
Jul	538.900	105.124	5.549	0	3.447	653.020
Ago	488.653	110.327	5.804	0	3.643	608.427
Set	466.353	104.975	2.819	0	3.504	577.651
Out	509.103	113.874	2.912	0	3.732	629.621
Nov	589.763	116.576	3.243	2	4.187	713.771
Dez	743.833	123.312	5.072	0	4.071	876.288
Total	7.257.992	1.325.418	45.024	14.734	55.359	8.698.527

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	89,04	10,18	0,00	0,00	0,79	100,00
Fev	88,27	10,87	0,00	0,00	0,86	100,00
Mar	83,59	15,66	0,00	0,00	0,74	100,00
Abr	81,31	18,04	0,00	0,00	0,64	100,00
Mai	78,15	16,74	2,31	2,35	0,46	100,00
Jun	80,24	18,29	0,89	0,00	0,58	100,00
Jul	82,52	16,10	0,85	0,00	0,53	100,00
Ago	80,31	18,13	0,95	0,00	0,60	100,00
Set	80,73	18,17	0,49	0,00	0,61	100,00
Out	80,86	18,09	0,46	0,00	0,59	100,00
Nov	82,63	16,33	0,45	0,00	0,59	100,00
Dez	84,88	14,07	0,58	0,00	0,46	100,00
Total	83,44	15,24	0,52	0,17	0,64	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P21 - 2.005

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2006

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.026.352	47.054	6.985	41.846	3.506	10.278	20.370	7.538	0	0	5.049	2	3.285	87	353	1.172.705
Fev	890.582	41.349	6.101	36.901	2.355	10.385	20.423	7.817	0	0	7.771	0	3.062	27	353	1.027.126
Mar	606.005	38.174	3.839	38.061	1.779	12.069	22.682	8.345	5.138	0	3.581	33	451	2	0	740.159
Abr	541.796	30.111	2.379	34.410	640	5.391	24.722	9.582	18.490	143	4.520	1	510	1	19	672.715
Mai	474.854	33.262	1.839	34.301	1.396	11.163	22.097	8.200	3.487	0	3.980	62	400	0	0	595.041
Jun	441.944	31.534	1.974	31.319	1.181	10.253	20.423	7.843	2.649	0	3.482	40	320	2	0	552.964
Jul	500.182	32.914	2.374	33.027	1.296	11.308	22.225	8.446	2.705	0	3.719	51	440	1	0	618.688
Ago	466.346	34.710	1.882	35.358	1.456	11.356	22.189	8.383	2.615	0	3.543	52	437	3	0	588.330
Set	488.832	32.415	2.222	34.367	1.138	10.752	22.021	8.688	3.950	0	3.651	34	467	1	0	608.538
Out	559.613	33.965	2.331	41.149	538	5.841	27.332	11.450	17.497	0	5.431	34	3.021	0	0	708.202
Nov	573.902	34.595	2.778	41.415	537	6.186	27.239	11.012	17.358	0	4.802	35	546	0	0	720.405
Dez	789.534	40.213	5.623	42.640	834	6.789	26.731	11.286	27.650	0	5.149	0	0	0	0	956.449
Total	7.359.942	430.296	40.327	444.794	16.656	111.771	278.454	108.590	101.539	143	54.678	344	12.939	124	725	8.961.322
Eixos Eq	7.359.942	860.592	60.491	1.334.382	33.312	447.084	1.392.270	651.540	609.234	858	328.068	2.064	77.634	744	4.350	13.162.565

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	1.036.843	127.086	-	-	8.776	1.172.705
Fev	899.038	116.875	-	-	11.213	1.027.126
Mar	611.623	119.331	5.138	-	4.067	740.159
Abr	544.815	104.216	18.490	143	5.051	672.715
Mai	478.089	109.023	3.487	-	4.442	595.041
Jun	445.099	101.372	2.649	-	3.844	552.964
Jul	503.852	107.920	2.705	-	4.211	618.688
Ago	469.684	111.996	2.615	-	4.035	588.330
Set	492.192	108.243	3.950	-	4.153	608.538
Out	562.482	119.737	17.497	-	8.486	708.202
Nov	577.217	120.447	17.358	-	5.383	720.405
Dez	795.991	127.659	27.650	-	5.149	956.449
Total	7.416.925	1.373.905	101.539	143,00	68.810	8.961.322

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	88,41	10,84	0,00	0,00	0,75	100,00
Fev	87,53	11,38	0,00	0,00	1,09	100,00
Mar	82,63	16,12	0,69	0,00	0,55	100,00
Abr	80,99	15,49	2,75	0,02	0,75	100,00
Mai	80,35	18,32	0,59	0,00	0,75	100,00
Jun	80,49	18,33	0,48	0,00	0,70	100,00
Jul	81,44	17,44	0,44	0,00	0,68	100,00
Ago	79,83	19,04	0,44	0,00	0,69	100,00
Set	80,88	17,79	0,65	0,00	0,68	100,00
Out	79,42	16,91	2,47	0,00	1,20	100,00
Nov	80,12	16,72	2,41	0,00	0,75	100,00
Dez	83,22	13,35	2,89	0,00	0,54	100,00
Total	82,77	15,33	1,13	0,00	0,77	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P21 - 2.006

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2007

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.040.682	42.583	6.010	46.160	682	4.975	26.371	11.301	30.493	0	5.098					1.214.355
Fev	935.917	38.478	5.801	41.472	745	5.570	24.532	10.435	29.190	0	4.381					1.096.521
Mar	583.456	33.773	2.712	42.418	528	7.204	29.536	12.853	19.944	0	5.041					737.465
Abr	589.751	30.662	2.433	38.907	439	6.373	27.243	11.117	22.378	0	5.163					734.466
Mai	518.785	31.123	1.676	41.008	425	6.808	28.380	11.927	16.210	0	5.339					661.681
Jun	493.140	28.509	1.501	36.685	379	6.897	26.218	11.474	13.555	0	4.988					623.346
Jul	542.041	30.886	1.697	39.913	399	7.332	28.018	11.300	13.877	0	5.492					680.955
Ago	527.640	32.518	1.434	43.046	376	8.245	28.989	12.122	14.913	0	5.649					674.932
Set	601.777	31.242	2.515	41.610	500	7.775	27.705	11.835	18.633	0	5.484					749.076
Out	628.833	35.523	2.433	48.206	485	8.700	30.849	13.911	19.680	0	5.322	5	862		24	794.833
Nov	692.521	35.908	3.396	46.153	621	8.838	30.017	14.246	23.185	0	5.412	9	834	3	22	861.165
Dez	855.800	40.435	6.219	46.653	1.251	9.226	28.999	14.368	31.271		5.042	12	906	0	32	1.040.214
Total	8.010.343	411.640	37.827	512.231	6.830	87.943	336.857	146.889	253.329	0	62.411	26	2.602	3	78	9.869.009
Eixos Eq	8.010.343	823.280	56.741	1.536.693	13.660	351.772	1.684.285	881.334	1.519.974	0	374.466	156	15.612	18	468	15.268.802

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	1.047.374	131.390	30.493	-	5.098	1.214.355
Fev	942.463	120.487	29.190,00	-	4.381	1.096.521
Mar	586.696	125.784	19.944	-	5.041	737.465
Abr	592.623	114.302	22.378	-	5.163	734.466
Mai	520.886	119.246	16.210	-	5.339	661.681
Jun	495.020	109.783	13.555	-	4.988	623.346
Jul	544.137	117.449	13.877	-	5.492	680.955
Ago	529.450	124.920	14.913	-	5.649	674.932
Set	604.792	120.167	18.633	-	5.484	749.076
Out	631.751	137.189	19.680	-	6.213	794.833
Nov	696.538	135.162	23.185	-	6.280	861.165
Dez	863.270	139.681	31.271	-	5.992	1.040.214
Total	8.055.000	1.495.560	253.329	-	65.120	9.869.009

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	86,25	10,82	2,51	0,00	0,42	100,00
Fev	85,95	10,99	2,66	0,00	0,40	100,00
Mar	79,56	17,06	2,70	0,00	0,68	100,00
Abr	80,69	15,56	3,05	0,00	0,70	100,00
Mai	78,72	18,02	2,45	0,00	0,81	100,00
Jun	79,41	17,61	2,17	0,00	0,80	100,00
Jul	79,91	17,25	2,04	0,00	0,81	100,00
Ago	78,44	18,51	2,21	0,00	0,84	100,00
Set	80,74	16,04	2,49	0,00	0,73	100,00
Out	79,48	17,26	2,48	0,00	0,78	100,00
Nov	80,88	15,70	2,69	0,00	0,73	100,00
Dez	82,99	13,43	3,01	0,00	0,58	100,00
Total	81,62	15,15	2,57	-	0,66	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P21 - 2.007

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE GRAVATAÍ – P21
ANO: 2008

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	1.115.981	42.752	6.768	50.649	1.072	7.851	28.913	14.630	33.766	0	4.909	13	798	0	27	1.308.129
Fev	984.582	39.304	6.207	46.556	1.100	6.922	26.190	13.525	30.625	0	4.481	7	901	0	54	1.160.454
Mar	722.889	34.163	3.759	45.966	1.101	8.156	28.820	15.624	25.202	0	4.851	9	940	2	61	891.543
Abr	601.617	32.433	2.514	44.411	739	7.827	29.511	15.513	22.122	0	4.830	22	863	1	51	762.454
Mai	590.927	32.040	2.356	43.381	731	8.088	30.062	16.040	21.087	0	5.495	36	906	5	60	751.214
Jun	544.143	31.757	1.963	41.627	509	8.379	29.539	15.903	16.059	0	5.533	27	937	2	43	696.421
Jul	636.594	33.956	2.511	45.938	585	7.920	30.759	17.303	20.433	0	5.406	38	1.037	0	43	802.523
Ago	610.159	32.667	2.331	44.370	580	8.228	29.729	17.238	20.743	0	5.355	30	1.013	2	31	772.476
Set	600.491	34.323	2.398	45.635	762	8.640	30.004	18.171	20.241	0	5.295	28	1.066	9	30	767.093
Out	639.082	36.616	2.562	48.586	885	8.770	30.775	19.304	21.561		5.561	46	1.113	5	39	814.905
Nov	711.695	35.330	3.521	42.179	1.074	6.548	23.968	16.835	26.579		4.307	33	865	3	48	872.985
Dez																0
Total	7.758.160	385.341	36.890	499.298	9.138	87.329	318.270	180.086	258.418	0	56.023	289	10.439	29	487	9.600.197
Eixos Eq	7.758.160	770.682	55.335	1.497.894	18.276	349.316	1.591.350	1.080.516	1.550.508	0	336.138	1.734	62.634	174	2.922	15.075.639

1,570

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	1.123.821	144.795	33.766	-	5.747	1.308.129
Fev	991.889	132.497	30.625	-	5.443	1.160.454
Mar	727.749	132.729	25.202	-	5.863	891.543
Abr	604.870	129.695	22.122	-	5.767	762.454
Mai	594.014	129.611	21.087	-	6.502	751.214
Jun	546.615	127.205	16.059	-	6.542	696.421
Jul	639.690	135.876	20.433	-	6.524	802.523
Ago	613.070	132.232	20.743	-	6.431	772.476
Set	603.651	136.773	20.241	-	6.428	767.093
Out	642.529	144.051	21.561	-	6.764	814.905
Nov	716.290	124.860	26.579	-	5.256	872.985
Dez	-	-	-	-	-	-
Total	7.804.188	1.470.324	258.418	-	67.267	9.600.197

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	85,91	11,07	2,58	0,00	0,44	100,00
Fev	85,47	11,42	2,64	0,00	0,47	100,00
Mar	81,63	14,89	2,83	0,00	0,66	100,00
Abr	79,33	17,01	2,90	0,00	0,76	100,00
Mai	79,07	17,25	2,81	0,00	0,87	100,00
Jun	78,49	18,27	2,31	0,00	0,94	100,00
Jul	79,71	16,93	2,55	0,00	0,81	100,00
Ago	79,36	17,12	2,69	0,00	0,83	100,00
Set	78,69	17,83	2,64	0,00	0,84	100,00
Out	78,85	17,68	2,65	0,00	0,83	100,00
Nov	82,05	14,30	3,04	0,00	0,60	100,00
Dez	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total	81,29	15,32	2,69	-	0,70	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P21 - 2.008

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2000

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	199.391	30.755	1.687	15.462	157	6.261	9.143	2.157	46	2	0	0	0	265.061
Fev	176.438	28.101	1.621	13.748	175	6.075	8.722	2.163	49	2	0	0	0	237.094
Mar	168.848	30.191	1.424	14.599	166	6.770	9.199	2.281	55	3	0	0	0	233.536
Abr	169.784	28.254	1.249	13.091	170	5.899	9.038	2.344	59	4	0	0	0	229.892
Mai	151.509	30.439	752	14.705	152	6.672	11.385	2.658	100	4	0	0	0	218.376
Jun	147.053	28.684	992	13.110	159	6.858	11.371	2.749	117	16	19	0	0	211.128
Jul	155.422	28.905	1.071	13.155	173	6.822	11.396	2.811	125	17	38	0	0	219.935
Ago	144.968	29.340	1.182	13.300	321	7.139	10.694	2.408	149	7	23	0	0	209.531
Set	147.335	28.252	884	12.833	176	6.784	9.400	2.220	183	3	16	0	0	208.086
Out	147.472	30.310	916	14.270	146	7.228	9.830	2.454	303	5	16	0	0	212.950
Nov	151.741	31.770	871	13.953	144	6.768	10.029	2.399	259	8	20	0	0	217.962
Dez	181.276	33.856	1.314	14.507	170	6.512	9.775	2.384	164	6	28	0	0	249.992
Total	1.941.237	358.857	13.963	166.733	2.109	79.788	119.982	29.028	1.609	77	160	0	0	2.713.543
Eixos Eq	1.941.237	717.714	20.945	500.199	4.218	319.152	599.910	174.168	11.263	616	1.440	0	0	4.290.862

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	201.235	63.778	48	265.061
Fev	178.234	58.809	51	237.094
Mar	170.438	63.040	58	233.536
Abr	171.203	58.626	63	229.892
Mai	152.413	65.859	104	218.376
Jun	148.204	62.772	152	211.128
Jul	156.666	63.089	180	219.935
Ago	146.471	62.881	179	209.531
Set	148.395	59.489	202	208.086
Out	148.534	64.092	324	212.950
Nov	152.756	64.919	287	217.962
Dez	182.760	67.034	198	249.992
Total	1.957.309	754.388	1.846	2.713.543

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	75,92	24,06	0,02	100,00
Fev	75,17	24,80	0,02	100,00
Mar	72,98	26,99	0,02	100,00
Abr	74,47	25,50	0,03	100,00
Mai	69,79	30,16	0,05	100,00
Jun	70,20	29,73	0,07	100,00
Jul	71,23	28,69	0,08	100,00
Ago	69,90	30,01	0,09	100,00
Set	71,31	28,59	0,10	100,00
Out	69,75	30,10	0,15	100,00
Nov	70,08	29,78	0,13	100,00
Dez	73,11	26,81	0,08	100,00
Total	72,13	27,80	0,07	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P31 - 2.000

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2001

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	179.635	32.648	1.482	15.272	181	6.320	8.867	2.182	249	13	22	0	0	246.871
Fev	164.927	28.875	1.896	12.860	200	5.900	8.607	2.082	241	6	21	0	0	225.615
Mar	152.980	32.184	1.240	13.831	175	6.436	10.468	2.725	355	12	37	0	0	220.443
Abr	149.716	34.551	1.038	15.346	176	6.915	12.574	3.395	477	10	37	0	0	224.235
Mai	138.987	37.450	633	16.842	132	8.467	13.678	3.419	400	4	40	0	0	220.052
Jun	137.679	34.823	688	15.931	123	7.644	12.767	3.278	407	9	48	0	0	213.397
Jul	143.134	35.631	639	16.380	114	8.061	12.442	3.118	422	1	45	0	0	219.987
Ago	138.635	37.583	687	17.471	151	8.481	12.450	3.165	411	4	73	0	0	219.111
Set	133.361	32.619	927	15.071	199	7.309	10.271	2.618	370	6	48	0	0	202.799
Out	137.441	36.231	948	16.731	174	7.706	10.631	2.673	370	7	49	0	0	212.961
Nov	136.724	35.063	953	16.182	148	7.138	9.704	2.535	417	7	42	0	0	208.913
Dez	164.247	36.261	1.222	16.358	175	7.668	9.559	2.526	353	3	48	0	0	238.420
Total	1.777.466	413.919	12.353	188.275	1.948	88.045	132.018	33.716	4.472	82	510	0	0	2.652.804
Eixos Eq	1.777.466	827.838	18.530	564.825	3.896	352.180	660.090	202.296	31.304	656	4.590	0	0	4.443.671

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	181.298	65.289	284	246.871
Fev	167.023	58.324	268	225.615
Mar	154.395	65.644	404	220.443
Abr	150.930	72.781	524	224.235
Mai	139.752	79.856	444	220.052
Jun	138.490	74.443	464	213.397
Jul	143.887	75.632	468	219.987
Ago	139.473	79.150	488	219.111
Set	134.487	67.888	424	202.799
Out	138.563	73.972	426	212.961
Nov	137.825	70.622	466	208.913
Dez	165.644	72.372	404	238.420
Total	1.791.767	855.973	5.064	2.652.804

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	73,44	26,45	0,12	100,00
Fev	74,03	25,85	0,12	100,00
Mar	70,04	29,78	0,18	100,00
Abr	67,31	32,46	0,23	100,00
Mai	63,51	36,29	0,20	100,00
Jun	64,90	34,88	0,22	100,00
Jul	65,41	34,38	0,21	100,00
Ago	63,65	36,12	0,22	100,00
Set	66,32	33,48	0,21	100,00
Out	65,06	34,73	0,20	100,00
Nov	65,97	33,80	0,22	100,00
Dez	69,48	30,35	0,17	100,00
Total	67,54	32,27	0,19	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P31 - 2.001

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2002

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	149.358	35.019	1.333	15.691	133	7.438	8.892	2.412	317	6	40	0	0	220.639
Fev	136.721	30.276	1.569	12.945	149	6.492	8.147	2.246	307	0	39	0	0	198.891
Mar	147.835	33.159	1.272	14.022	157	6.750	8.488	2.703	386	4	46	0	0	214.822
Abr	120.473	32.574	667	13.427	123	6.745	8.741	2.573	432	5	72	0	0	185.832
Mai	132.216	32.710	830	13.805	133	6.574	9.139	2.803	427	4	75	0	0	198.716
Jun	114.261	30.754	596	12.761	91	5.977	8.571	2.616	414	1	75	0	0	176.117
Jul	126.700	32.796	685	13.508	107	6.812	8.760	2.794	505	2	88	0	0	192.757
Ago	124.710	32.339	631	13.109	124	6.146	8.593	2.665	455	8	75	0	0	188.855
Set	123.164	30.397	811	12.879	242	5.844	7.972	2.321	474	9	78	0	0	184.191
Out	119.651	32.771	643	14.066	172	6.719	9.105	2.735	506	12	67	0	0	186.447
Nov	128.123	32.179	910	14.008	299	6.550	9.227	2.847	545	10	38	0	0	194.736
Dez	146.227	33.954	1.051	15.336	289	7.076	9.543	2.926	530	9	81	0	0	217.022
Total	1.569.439	388.928	10.998	165.557	2.019	79.123	105.178	31.641	5.298	70	774	0	0	2.359.025
Eixos Eq	1.569.439	777.856	16.497	496.671	4.038	316.492	525.890	189.846	37.086	560	6.966	0	0	3.941.341

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	150.824	69.452	363	220.639
Fev	138.439	60.106	346	198.891
Mar	149.264	65.122	436	214.822
Abr	121.263	64.060	509	185.832
Mai	133.179	65.031	506	198.716
Jun	114.948	60.679	490	176.117
Jul	127.492	64.670	595	192.757
Ago	125.465	62.852	538	188.855
Set	124.217	59.413	561	184.191
Out	120.466	65.396	585	186.447
Nov	129.332	64.811	593	194.736
Dez	147.567	68.835	620	217.022
Total	1.582.456	770.427	6.142	2.359.025

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	68,36	31,48	0,16	100,00
Fev	69,61	30,22	0,17	100,00
Mar	69,48	30,31	0,20	100,00
Abr	65,25	34,47	0,27	100,00
Mai	67,02	32,73	0,25	100,00
Jun	65,27	34,45	0,28	100,00
Jul	66,14	33,55	0,31	100,00
Ago	66,43	33,28	0,28	100,00
Set	67,44	32,26	0,30	100,00
Out	64,61	35,07	0,31	100,00
Nov	66,41	33,28	0,30	100,00
Dez	68,00	31,72	0,29	100,00
Total	67,08	32,66	0,26	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P31 - 2.002

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2003

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	133.938	32.034	1.219	14.805	322	6.567	8.912	2.989	467	15	67	0	0	201.335
Fev	119.595	28.671	1.464	13.095	365	5.851	8.480	2.828	425	12	70	0	0	180.856
Mar	122.690	30.272	1.118	13.885	281	5.993	9.812	3.418	0	0	496	20	43	188.028
Abr	123.664	29.364	974	13.866	222	6.027	15.090	5.905	1.953	11	98	0	0	197.174
Mai	120.046	30.612	810	13.860	263	6.408	13.397	4.106	987	11	104	0	0	190.604
Jun	109.914	28.731	740	13.130	116	5.956	11.622	3.508	653	6	103	0	0	174.479
Jul	116.795	30.955	739	14.172	114	6.591	12.518	3.975	690	11	122	0	0	186.682
Ago	115.315	29.708	643	14.075	165	6.009	12.365	3.985	722	12	99	0	0	183.098
Set	111.422	29.293	728	14.489	244	5.982	12.643	3.906	765	11	98	0	0	179.581
Out	115.431	30.980	939	15.239	195	6.431	12.732	4.030	746	22	103	0	0	186.848
Nov	118.783	28.856	760	14.330	202	5.963	11.266	3.692	846	11	111	0	0	184.820
Dez	144.460	30.723	1.115	14.537	182	6.155	11.301	3.758	790	9	102	0	0	213.132
Total	1.452.053	360.199	11.249	169.483	2.671	73.933	140.138	46.100	9.044	131	1.573	20	43	2.266.637
Eixos Eq	1.452.053	720.398	16.874	508.449	5.342	295.732	700.690	276.600	63.308	1.048	14.157	200	43	4.054.894

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	135.479	65.307	549	201.335
Fev	121.424	58.925	507	180.856
Mar	124.089	63.380	559	188.028
Abr	124.860	70.252	2.062	197.174
Mai	121.119	68.383	1.102	190.604
Jun	110.770	62.947	762	174.479
Jul	117.648	68.211	823	186.682
Ago	116.123	66.142	833	183.098
Set	112.394	66.313	874	179.581
Out	116.565	69.412	871	186.848
Nov	119.745	64.107	968	184.820
Dez	145.757	66.474	901	213.132
Total	1.465.973	789.853	10.811	2.266.637

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	67,29	32,44	0,27	100,00
Fev	67,14	32,58	0,28	100,00
Mar	65,99	33,71	0,30	100,00
Abr	63,32	35,63	1,05	100,00
Mai	63,54	35,88	0,58	100,00
Jun	63,49	36,08	0,44	100,00
Jul	63,02	36,54	0,44	100,00
Ago	63,42	36,12	0,45	100,00
Set	62,59	36,93	0,49	100,00
Out	62,38	37,15	0,47	100,00
Nov	64,79	34,69	0,52	100,00
Dez	68,39	31,19	0,42	100,00
Total	64,68	34,85	0,48	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P3 1- 2.003

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2004

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	140.486	26.905	1.374	14.939	181	5.101	10.546	3.377	847	5	88	0	0	203.849
Fev	130.578	23.936	1.635	13.943	191	4.892	10.481	3.255	821	6	102	0	0	189.840
Mar	113.968	27.020	1.005	15.353	190	5.963	12.563	3.911	733	7	112	0	0	180.825
Abr	121.032	25.536	999	13.979	182	5.223	12.931	4.145	1.219	8	88	0	0	185.342
Mai	112.330	26.552	675	14.184	145	5.157	12.966	3.887	829	2	122	0	0	176.849
Jun	108.711	25.955	748	14.157	159	5.416	12.669	3	801	5	147	0	0	168.771
Jul	117.863	26.738	790	15.051	148	5.924	13.461	4.118	921	9	116	0	0	185.139
Ago	109.466	23.017	599	15.058	208	6.091	13.398	4.180	869	11	106	0	0	173.003
Set	112.279	21.487	919	15.108	230	5.969	13.572	3.934	943	3	94	0	0	174.538
Out	117.976	22.273	896	15.494	173	6.152	13.288	4.037	860	5	83	1	0	181.238
Nov	111.634	21.890	636	14.671	182	5.346	11.645	3.836	848	11	77	2	0	170.778
Dez	144.394	23.917	1.120	15.586	235	5.761	12.201	3.999	648	9	88	3	0	207.961
Total	1.440.717	295.226	11.396	177.523	2.224	66.995	149.721	42.682	10.339	81	1.223	6	0	2.198.133
Eixos Eq	1.440.717	590.452	17.094	532.569	4.448	267.980	748.605	256.092	72.373	648	11.007	60	0	3.942.045

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	142.041	60.868	940	203.849
Fev	132.404	56.507	929	189.840
Mar	115.163	64.810	852	180.825
Abr	122.213	61.814	1.315	185.342
Mai	113.150	62.746	953	176.849
Jun	109.618	58.200	953	168.771
Jul	118.801	65.292	1.046	185.139
Ago	110.273	61.744	986	173.003
Set	113.428	60.070	1.040	174.538
Out	119.045	61.244	949	181.238
Nov	112.452	57.388	938	170.778
Dez	145.749	61.464	748	207.961
Total	1.454.337	732.147	11.649	2.198.133

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Especiais	Total
Jan	69,68	29,86	0,46	100,00
Fev	69,75	29,77	0,49	100,00
Mar	63,69	35,84	0,47	100,00
Abr	65,94	33,35	0,71	100,00
Mai	63,98	35,48	0,54	100,00
Jun	64,95	34,48	0,56	100,00
Jul	64,17	35,27	0,56	100,00
Ago	63,74	35,69	0,57	100,00
Set	64,99	34,42	0,60	100,00
Out	65,68	33,79	0,52	100,00
Nov	65,85	33,60	0,55	100,00
Dez	70,08	29,56	0,36	100,00
Total	66,16	33,31	0,53	100,00

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

**2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO**

**3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO**

P31 - 2.004

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2005

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total	
Jan	137.013	21.839	1.203	14.754	250	4.974	10.677	3.902	0	0	675	0	78	3	195.368
Fev	128.288	19.251	1.517	13.182	202	4.842	10.260	3.698	0	0	602	3	72	2	181.919
Mar	128.560	22.076	993	14.922	193	5.688	12.035	4.207	0	0	659	8	60	3	189.404
Abr	108.666	20.571	707	13.150	187	4.929	11.419	4.193	0	0	555	4	70	4	164.455
Mai	114.752	21.744	685	13.744	187	5.132	11.632	4.304	3.211	8.988	667	3	72	0	185.121
Jun	106.486	21.359	642	13.597	175	5.231	11.843	4.084	3	2	623	0	91	1	164.137
Jul	124.378	21.434	721	13.289	215	5.283	11.434	4.053	0	0	656	7	107	0	181.577
Ago	111.494	21.951	543	13.789	144	5.167	12.627	4.186	1	0	829	7	89	1	170.828
Set	106.884	21.403	706	13.799	194	5.318	11.539	4.117	0	0	737	6	106	0	164.809
Out	112.605	26.509	665	18.507	189	7.820	12.890	5.115	0	0	848	11	173	0	185.332
Nov	107.792	26.672	705	18.751	163	8.163	13.289	5.137	0	0	975	2	176	1	181.826
Dez	141.879	27.635	1.097	18.653	253	8.180	13.904	5.304	1	0	940	10	187	0	218.043
Total	1.428.797	272.444	10.184	180.137	2.352	70.727	143.549	52.300	3.216	8.990	8.766	61	1.281	15	2.182.819
Eixos Eq	1.428.797	544.888	15.276	540.411	4.704	282.908	717.745	313.800	1.608	8.990	61.362	488	11.529	150	3.932.656

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	138.466	56.146	0	0	756	195.368
Fev	130.007	51.233	0	0	679	181.919
Mar	129.746	58.928	0	0	730	189.404
Abr	109.560	54.262	0	0	633	164.455
Mai	115.624	56.556	3.211	8.988	742	185.121
Jun	107.303	56.114	3	2	715	164.137
Jul	125.314	55.493	0	0	770	181.577
Ago	112.181	57.720	1	0	926	170.828
Set	107.784	56.176	0	0	849	164.809
Out	113.459	70.841	0	0	1.032	185.332
Nov	108.660	72.012	0	0	1.154	181.826
Dez	143.229	73.676	1	0	1.137	218.043
Total	1.441.333	719.157	3.216	8.990	10.123	2.182.819

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	70,87	28,74	0,00	0,00	0,39	100,00
Fev	71,46	28,16	0,00	0,00	0,37	100,00
Mar	68,50	31,11	0,00	0,00	0,39	100,00
Abr	66,62	33,00	0,00	0,00	0,38	100,00
Mai	62,46	30,55	1,73	4,86	0,40	100,00
Jun	65,37	34,19	0,00	0,00	0,44	100,00
Jul	69,01	30,56	0,00	0,00	0,42	100,00
Ago	65,67	33,79	0,00	0,00	0,54	100,00
Set	65,40	34,09	0,00	0,00	0,52	100,00
Out	61,22	38,22	0,00	0,00	0,56	100,00
Nov	59,76	39,60	0,00	0,00	0,63	100,00
Dez	65,69	33,79	0,00	0,00	0,52	100,00
Total	66,03	32,95	0,15	0,41	0,46	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P31 - 2.005

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2006

1	C01	C02	C04	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	137.125	25.774	1.142	18.743	158	7.277	11.355	4.043	0	0	0	0	746	15	163	206.541
Fev	125.734	22.670	1.351	17.795	182	7.301	11.259	4.139	0	0	0	0	665	14	159	191.269
Mar	116.449	26.725	937	18.893	162	8.017	13.383	4.890	0	0	825	14	205	0	0	190.500
Abr	119.121	21.812	958	15.684	135	6.413	11.980	4.467	0	0	0	0	1.006	7	227	181.810
Mai	101.082	23.642	516	16.276	141	7.339	14.592	5.150	0	0	1.104	6	228	0	0	170.076
Jun	98.505	21.922	546	15.086	123	6.628	13.179	5.216	0	0	893	9	154	0	0	162.261
Jul	114.529	21.947	595	15.441	117	6.724	13.249	5.165	0	0	808	8	186	0	0	178.769
Ago	106.906	22.267	922	16.391	343	6.624	14.182	5.247	42	4	816	3	155	0	0	173.902
Set	112.115	21.219	718	16.227	189	6.645	13.528	5.082	0	0	811	4	198	0	0	176.736
Out	110.237	20.158	760	19.080	166	1.571	17.932	7.833	45	0	1.833	0	300	0	5	179.920
Nov	109.758	19.459	658	19.138	182	1.575	16.803	7.394	3.796	0	2.000	0	320	0	0	181.083
Dez	144.267	20.290	1.127	19.101	146	2.010	17.159	7.756	6.236	0	2.197	0	0	0	0	220.289
Total	1.395.828	267.885	10.230	207.855	2.044	68.124	168.601	66.382	10.119	4	11.287	44	4.163	36	554	2.213.156
Eixos Eq	1.395.828	535.770	15.345	623.565	4.088	272.496	843.005	398.292	5.060	4	79.009	352	37.467	360	554	4.211.195

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	138.425	67.192	-	-	924	206.541
Fev	127.267	63.164	-	-	838	191.269
Mar	117.548	71.908	-	-	1.044	190.500
Abr	120.214	60.356	-	-	1.240	181.810
Mai	101.739	66.999	-	-	1.338	170.076
Jun	99.174	62.031	-	-	1.056	162.261
Jul	115.241	62.526	-	-	1.002	178.769
Ago	108.171	64.711	42	4	974	173.902
Set	113.022	62.701	-	-	1.013	176.736
Out	111.163	66.574	45	-	2.138	179.920
Nov	110.598	64.369	3.796	-	2.320	181.083
Dez	145.540	66.316	6.236	-	2.197	220.289
Total	1.408.102	778.847	10.119	4	16.084	2.213.156

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	67,02	32,53	0,00	0,00	0,45	100,00
Fev	66,54	33,02	0,00	0,00	0,44	100,00
Mar	61,70	37,75	0,00	0,00	0,55	100,00
Abr	66,12	33,20	0,00	0,00	0,68	100,00
Mai	59,82	39,39	0,00	0,00	0,79	100,00
Jun	61,12	38,23	0,00	0,00	0,65	100,00
Jul	64,46	34,98	0,00	0,00	0,56	100,00
Ago	62,20	37,21	0,02	0,00	0,56	100,00
Set	63,95	35,48	0,00	0,00	0,57	100,00
Out	61,78	37,00	0,03	0,00	1,19	100,00
Nov	61,08	35,55	2,10	0,00	1,28	100,00
Dez	66,07	30,10	2,83	0,00	1,00	100,00
Total	63,62	35,19	0,46	0,00	0,73	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL
2) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO ABSOLUTO MENSAL RESUMIDO
3) VOLUME DE TRÁFEGO CATEGORIZADO RELATIVO MENSAL RESUMIDO
P31 - 2.006

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2007

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	132.061	18.847	966	18.720	150	1.453	15.326	7.234	4.985	0	2.218					201.960
Fev	127.362	16.280	1.115	16.406	142	1.633	14.087	6.888	5.207	0	1.965					191.085
Mar	116.992	18.991	847	18.926	140	1.934	16.757	8.337	5.715	0	2.273					190.912
Abr	126.358	18.304	792	17.059	119	1.825	15.946	7.834	5.136	0	2.482					195.855
Mai	111.950	18.197	577	19.024	121	2.178	16.958	8.319	3.644	0	2.667					183.635
Jun	112.643	17.935	562	16.264	124	2.173	15.798	7.710	3.021	0	2.274					178.504
Jul	122.778	18.763	545	17.790	130	2.065	16.707	8.331	2.900	0	2.396					192.405
Ago	116.797	20.074	503	18.868	120	1.979	17.102	8.581	3.089	0	2.655					189.768
Set	124.509	18.420	809	18.249	198	1.956	15.955	8.219	4.376	0	2.304					194.995
Out	126.067	20.558	743	20.882	150	2.243	17.808	9.810	4.534	0	2.387	6	432	1		205.621
Nov	128.119	19.445	822	19.521	165	2.230	16.259	9.159	5.486	0	2.455	3	427	0	6	204.097
Dez	157.937	20.632	1.121	19.476	157	2.592	15.623	8.911	7.620		2.418	3	446	0	5	236.941
Total	1.503.573	226.446	9.402	221.185	1.716	24.261	194.326	99.333	55.713	0	28.494	12	1.305	1	11	2.365.778
Eixos Eq	1.503.573	452.892	14.103	663.555	3.432	97.044	971.630	595.998	27.857	0	199.458	96	11.745	10	11	4.541.404

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	133.177	61.580	4.985,00	-	2.218	201.960
Fev	128.619	55.294	5.207,00	-	1.965	191.085
Mar	117.979	64.945	5.715	-	2.273	190.912
Abr	127.269	60.968	5.136	-	2.482	195.855
Mai	112.648	64.676	3.644	-	2.667	183.635
Jun	113.329	59.880	3.021	-	2.274	178.504
Jul	123.453	63.656	2.900	-	2.396	192.405
Ago	117.420	66.604	3.089	-	2.655	189.768
Set	125.516	62.799	4.376	-	2.304	194.995
Out	126.960	71.301	4.534	-	2.826	205.621
Nov	129.106	66.614	5.486	-	2.891	204.097
Dez	159.215	67.234	7.620	-	2.872	236.941
Total	1.514.691	765.551	55.713	0	29.823	2.365.778

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	65,94	30,49	2,47	0,00	1,10	100,00
Fev	67,31	28,94	2,72	0,00	1,03	100,00
Mar	61,80	34,02	2,99	0,00	1,19	100,00
Abr	64,98	31,13	2,62	0,00	1,27	100,00
Mai	61,34	35,22	1,98	0,00	1,45	100,00
Jun	63,49	33,55	1,69	0,00	1,27	100,00
Jul	64,16	33,08	1,51	0,00	1,25	100,00
Ago	61,88	35,10	1,63	0,00	1,40	100,00
Set	64,37	32,21	2,24	0,00	1,18	100,00
Out	61,74	34,68	2,21	0,00	1,37	100,00
Nov	63,26	32,64	2,69	0,00	1,42	100,00
Dez	67,20	28,38	3,22	0,00	1,21	100,00
Total	64,03	32,36	2,35	0,00	1,26	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P31 - 2.007

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELA PRAÇA DE PEDÁGIO DE ELDORADO DO SUL – P31
ANO: 2008

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan	143.493	19.726	1.074	20.424	186	2.510	15.917	9.522	5.978	0	2.421	5	418	0	4	221.678
Fev	140.108	18.304	1.366	19.226	159	2.240	14.391	8.925	6.038	0	1.996	3	456	0	3	213.215
Mar	139.600	19.481	981	19.499	189	2.598	14.956	9.288	7.603	0	2.167	14	474	0	3	216.853
Abr	123.454	19.629	822	18.479	174	2.185	14.964	9.307	5.096	0	2.467	19	530	3	7	197.136
Mai	130.262	18.970	690	18.481	149	2.329	15.759	9.767	4.705	0	2.555	20	500	0	3	204.190
Jun	118.615	18.767	524	18.395	166	2.431	15.955	10.112	3.310	0	2.534	17	471	0	5	191.302
Jul	136.569	19.696	641	19.854	158	2.328	16.415	10.592	4.242	0	2.357	20	476	1	6	213.355
Ago	131.838	19.576	629	18.708	128	2.386	16.181	10.229	4.273	0	2.232	28	520	0	6	206.734
Set	129.391	19.980	695	19.340	221	2.241	16.617	10.417	4.285	0	2.543	14	489	3	21	206.257
Out	126.514	20.760	772	20.454	189	2.005	17.263	11.161	4.521	0	2.520	18	534	0	12	206.723
Nov	129.191	19.603	755	18.231	166	1.725	15.063	9.825	6.072		2.112	21	446	3	12	203.225
Dez																0
Total	1.449.035	214.492	8.949	211.091	1.885	24.978	173.481	109.145	56.123	0	25.904	179	5.314	10	82	2.280.668
Eixos Eq	1.449.035	428.984	13.424	633.273	3.770	99.912	867.405	654.870	28.062	0	181.328	1.432	47.826	100	82	4.409.502

2	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	144.753	68.099	5.978,00	-	2.848	221.678
Fev	141.633	63.086	6.038,00	-	2.458	213.215
Mar	140.770	65.822	7.603	-	2.658	216.853
Abr	124.450	64.564	5.096	-	3.026	197.136
Mai	131.101	65.306	4.705	-	3.078	204.190
Jun	119.305	65.660	3.310	-	3.027	191.302
Jul	137.368	68.885	4.242	-	2.860	213.355
Ago	132.595	67.080	4.273	-	2.786	206.734
Set	130.307	68.595	4.285	-	3.070	206.257
Out	127.475	71.643	4.521	-	3.084	206.723
Nov	130.112	64.447	6.072	-	2.594	203.225
Dez	-	-	-	-	-	-
Total	1.459.869	733.187	56.123	0	31.489	2.280.668

3	Veic Leves	Cam/Ônib	Motos	Isentos	Especiais	Total
Jan	65,30	30,72	2,70	0,00	1,28	100,00
Fev	66,43	29,59	2,83	0,00	1,15	100,00
Mar	64,91	30,35	3,51	0,00	1,23	100,00
Abr	63,13	32,75	2,59	0,00	1,53	100,00
Mai	64,21	31,98	2,30	0,00	1,51	100,00
Jun	62,36	34,32	1,73	0,00	1,58	100,00
Jul	64,38	32,29	1,99	0,00	1,34	100,00
Ago	64,14	32,45	2,07	0,00	1,35	100,00
Set	63,18	33,26	2,08	0,00	1,49	100,00
Out	61,66	34,66	2,19	0,00	1,49	100,00
Nov	64,02	31,71	2,99	0,00	1,28	100,00
Dez	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total	64,01	32,15	2,46	0,00	1,38	100,00

1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL

2) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL RESUMIDO

3) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO RELATIVO
MENSAL RESUMIDO

P31 - 2.008

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELO POSTO DE PEDÁGIO DE SÃO GABRIEL – P85
ANO: 2000

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan		1685		2883		531	1406	0	0	0	0	0	0	6.505
Fev		1967		3053		800	1840	323	0	0	0	0	0	7.983
Mar		3525		4992		1446	2818	463	0	0	0	0	0	13.244
Abr		2716		3306		1137	2006	356	0	0	0	0	0	9.521
Mai		2811		3413		1262	2205	299	0	0	0	0	0	9.990
Jun		2141		2641		967	1941	286	0	0	0	0	0	7.976
Jul		3228		4223		1313	3264	505	0	0	0	0	0	12.533
Ago		3800		4938		1476	3754	601	0	0	0	0	0	14.569
Set		1593		2132		722	1662	269	0	0	0	0	0	6.378
Out		1496		2146		461	1284	188	0	0	0	0	0	5.575
Nov		3968		5714		1355	3376	573	0	0	0	0	0	14.986
Dez		2696		3630		968	2148	390	0	0	0	0	0	9.832
Total	0	31.626	0	43.071	0	12.438	27.704	4.253	0	0	0	0	0	119.092
Eixos Eq	0	63.252	0	129.213	0	49.752	138.520	25.518	0	0	0	0	0	406.255

CO2 - 2 EIXOS
CO4 - 3 EIXOS
CO6 - 4 EIXOS
CO7 - 5 EIXOS
CO8 - 6 EIXOS
CO11 - 7 EIXOS
CO12 - 8 EIXOS
CO13 +14 -9 EIXOS

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

P85- 2.000

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELO POSTO DE SÃO GABRIEL – P85
ANO: 2001

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan		3254		5511		1064	2211	391	0	0	0	0	0	12.431
Fev		3112		4921		1062	2470	440	65	2	0	0	0	12.072
Mar		3478		5619		1421	2886	625	83	0	0	0	0	14.112
Abr		2473		3566		1146	2014	416	62	1	0	0	0	9.678
Mai		0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun		2740		3698		1223	2771	541	86	0	0	0	0	11.059
Jul		3630		5369		1277	2987	575	110	2	1	0	0	13.951
Ago		2972		4246		1054	2526	474	103	1	1	0	0	11.377
Set		3336		4244		1227	2871	537	123	7	1	0	0	12.346
Out		3805		5741		1317	2845	556	127	5	2	0	0	14.398
Nov		3403		4789		1300	2663	515	121	0	0	0	0	12.791
Dez		3916		5371		1413	2757	554	112	2	3	0	0	14.128
Total	0	36.119	0	53.075	0	13.504	29.001	5.624	992	20	8	0	0	138.343
Eixos Eq	0	72.238	0	159.225	0	54.016	145.005	33.744	6.944	160	72	0	0	471.404

CO2 - 2 EIXOS
CO4 - 3 EIXOS
CO6 - 4 EIXOS
CO7 - 5 EIXOS
CO8 - 6 EIXOS
CO11 - 7 EIXOS
CO12 - 8 EIXOS
CO13 +14 -9 EIXOS

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

P85- 2.001

CONTAGEM DOS VEÍCULOS QUE PASSARAM PELO POSTO DE SÃO GABRIEL – P85
ANO: 2002

1	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C11 - Esp	C12 - Esp	C13 - Esp	C14 - Esp	C15 - Esp	Total
Jan		3626		6036		1504	2189	438	82	2	2	0	0	13.879
Fev		3070		4569		1330	2181	410	68	0	0	0	0	11.628
Mar		3785		5018		1622	2493	508	87	0	1	0	0	13.514
Abr		4046		4814		2044	2373	449	98	0	5	0	0	13.829
Mai		1234		1424		701	828	163	37	2	4	0	0	4.393
Jun		3813		4125		1567	2484	383	111	2	12	0	0	12.497
Jul		960		1036		403	662	139	37	3	1	0	0	3.241
Ago												0	0	0
Set												0	0	0
Out												0	0	0
Nov												0	0	0
Dez												0	0	0
Total	0	20.534	0	27.022	0	9.171	13.210	2.490	520	9	25	0	0	72.981
Eixos Eq	0	41.068	0	81.066	0	36.684	66.050	14.940	3.640	72	225	0	0	243.745

CO2 - 2 EIXOS
CO4 - 3 EIXOS
CO6 - 4 EIXOS
CO7 - 5 EIXOS
CO8 - 6 EIXOS
CO11 - 7 EIXOS
CO12 - 8 EIXOS
CO13 +14 -9 EIXOS

**1) VOLUME DE TRÁFEGO
CATEGORIZADO ABSOLUTO
MENSAL**

P85- 2.002

ANEXO C - DADOS DE ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL DE FADIGA
E DANO ACUMULADO
PARA DIFERENTES NÍVEIS DE CORROSÃO

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 5%

VI-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	56500	0,30	165070	0,89	0,592	0,342	9,059 7,757	1,146E+09 57142767	8,73E-10 1,75E-08
Trem-45	56500	0,30	195080	1,05	0,699	0,290	6,177 5,289	1501535,8 194383,18	6,66E-07 5,14E-06
2eixos	56500	0,30	117140	0,63	0,420	0,482	16,356 14,005	2,272E+16 1,012E+14	4,40E-17 9,88E-15
3eixos	56500	0,30	138660	0,75	0,497	0,407	12,389 10,608	2,449E+12 4,055E+10	4,08E-13 2,47E-11
4eixos	56500	0,30	121750	0,65	0,437	0,464	15,349 13,142	2,232E+15 1,388E+13	4,48E-16 7,21E-14
5eixos	56500	0,30	165560	0,89	0,594	0,341	9,006 7,712	1,015E+09 51486634	9,85E-10 1,94E-08
6eixos	56500	0,30	157740	0,85	0,566	0,358	9,882 8,461	7,612E+09 289097845	1,31E-10 3,46E-09
7eixos	56500	0,30	136630	0,73	0,490	0,414	12,698 10,873	4,989E+12 7,459E+10	2,00E-13 1,34E-11
8rod	56500	0,30	158150	0,85	0,567	0,357	9,834 8,420	6,821E+09 263167451	1,47E-10 3,80E-09
9rod	56500	0,30	149670	0,80	0,537	0,377	10,867 9,305	7,356E+10 2,016E+09	1,36E-11 4,96E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 5%

VI-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	6810	0,09	31510	0,42	0,277	0,216	13,456 11,521	2,86E+13 3,32E+11	3,50E-14 3,01E-12
Trem-45	6810	0,09	38000	0,50	0,335	0,179	11,834 10,133	6,83E+11 1,36E+10	1,47E-12 7,36E-11
2eixos	6810	0,09	28020	0,37	0,247	0,243	14,527 12,439	3,36E+14 2,75E+12	2,97E-15 3,64E-13
3eixos	6810	0,09	41990	0,55	0,370	0,162	10,981 9,403	9,58E+10 2,53E+09	1,04E-11 3,96E-10
4eixos	6810	0,09	33260	0,44	0,293	0,205	12,980 11,114	9,56E+12 1,3E+11	1,05E-13 7,68E-12
5eixos	6810	0,09	58950	0,78	0,519	0,116	7,937 6,796	86474914 6251183	1,16E-08 1,60E-07
6eixos	6810	0,09	58950	0,78	0,519	0,116	7,937 6,796	86474914 6251183	1,16E-08 1,60E-07
7eixos	6810	0,09	41990	0,55	0,370	0,162	10,981 9,403	9,58E+10 2,53E+09	1,04E-11 3,96E-10
8rod	6810	0,09	58950	0,78	0,519	0,116	7,937 6,796	86474914 6251183	1,16E-08 1,60E-07
9rod	6810	0,09	41990	0,55	0,370	0,162	10,981 9,403	9,58E+10 2,53E+09	1,04E-11 3,96E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 5%

V2-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	77340	0,35	190420	0,88	0,586	0,398	10,047 8,603	1,11E+10 4,01E+08	8,98E-11 2,50E-09
Trem-45	77340	0,35	223110	1,03	0,686	0,340	6,934 5,938	8,60E+06 8,66E+05	1,16E-07 1,15E-06
2eixos	77340	0,35	145890	0,67	0,449	0,520	16,756 14,347	5,70E+16 2,22E+14	1,75E-17 4,50E-15
3eixos	77340	0,35	166630	0,77	0,513	0,455	13,056 11,180	1,14E+13 1,51E+11	8,78E-14 6,61E-12
4eixos	77340	0,35	147940	0,68	0,455	0,513	16,319 13,973	2,09E+16 9,40E+13	4,80E-17 1,06E-14
5eixos	77340	0,35	191790	0,89	0,590	0,395	9,898 8,475	7,90E+09 2,99E+08	1,27E-10 3,35E-09
6eixos	77340	0,35	185140	0,85	0,570	0,410	10,642 9,112	4,38E+10 1,29E+09	2,28E-11 7,72E-10
7eixos	77340	0,35	164590	0,76	0,506	0,461	13,363 11,442	2,31E+13 2,77E+11	4,34E-14 3,61E-12
8rod	77340	0,35	184900	0,85	0,569	0,410	10,670 9,136	4,67E+10 1,37E+09	2,14E-11 7,31E-10
9rod	77340	0,35	176430	0,81	0,543	0,430	11,705 10,023	5,08E+11 1,05E+10	1,97E-12 9,49E-11

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 5%

V2-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	9110	0,12	34130	0,45	0,301	0,267	13,929 11,926	8,49E+13 8,44E+11	1,18E-14 1,18E-12
Trem-45	9110	0,12	40830	0,54	0,360	0,223	12,035 10,305	1,08E+12 2,02E+10	9,23E-13 4,96E-11
2eixos	9110	0,12	30860	0,41	0,272	0,295	15,084 12,916	1,21E+15 8,24E+12	8,24E-16 1,21E-13
3eixos	9110	0,12	44820	0,59	0,395	0,203	11,091 9,497	1,23E+11 3,14E+09	8,11E-12 3,19E-10
4eixos	9110	0,12	35960	0,48	0,317	0,253	13,360 11,440	2,29E+13 2,75E+11	4,36E-14 3,63E-12
5eixos	9110	0,12	61780	0,82	0,544	0,147	7,807 6,685	6,42E+07 4,84E+06	1,56E-08 2,06E-07
6eixos	9110	0,12	61780	0,82	0,544	0,147	7,807 6,685	6,42E+07 4,84E+06	1,56E-08 2,06E-07
7eixos	9110	0,12	44820	0,59	0,395	0,203	11,091 9,497	1,23E+11 3,14E+09	8,11E-12 3,19E-10
8rod	9110	0,12	61780	0,82	0,544	0,147	7,807 6,685	6,42E+07 4,84E+06	1,56E-08 2,06E-07
9rod	9110	0,12	44820	0,59	0,395	0,203	11,091 9,497	1,23E+11 3,14E+09	8,11E-12 3,19E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 10%

VI-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	56500	0,30	165070	0,88	0,586	0,342	9,196 7,874	1,569E+09 74757356	6,38E-10 1,34E-08
Trem-45	56500	0,30	195080	1,06	0,705	0,284	6,018 5,153	1043302,6 142319,3	9,58E-07 7,03E-06
2eixos	56500	0,30	117140	0,63	0,423	0,474	15,992 13,694	9,828E+15 4,938E+13	1,02E-16 2,03E-14
3eixos	56500	0,30	138660	0,75	0,501	0,400	12,141 10,395	1,383E+12 2,486E+10	7,23E-13 4,02E-11
4eixos	56500	0,30	121750	0,66	0,440	0,456	15,019 12,860	1,044E+15 7,243E+12	9,58E-16 1,38E-13
5eixos	56500	0,30	165560	0,90	0,598	0,335	8,820 7,552	659939409 35620528	1,52E-09 2,81E-08
6eixos	56500	0,30	157740	0,86	0,570	0,352	9,682 8,290	4,807E+09 195014269	2,08E-10 5,13E-09
7eixos	56500	0,30	136630	0,74	0,494	0,406	12,442 10,654	2,77E+12 4,507E+10	3,61E-13 2,22E-11
8rod	56500	0,30	158150	0,86	0,572	0,351	9,635 8,250	4,314E+09 177785720	2,32E-10 5,62E-09
9rod	56500	0,30	149670	0,81	0,541	0,371	10,650 9,119	4,467E+10 1,315E+09	2,24E-11 7,60E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 10%

VI-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	6810	0,09	31510	0,42	0,283	0,216	13,350 11,431	2,24E+13 2,7E+11	4,47E-14 3,71E-12
Trem-45	6810	0,09	38000	0,51	0,341	0,179	11,712 10,029	5,16E+11 1,07E+10	1,94E-12 9,36E-11
2eixos	6810	0,09	28020	0,38	0,252	0,243	14,430 12,355	2,69E+14 2,27E+12	3,72E-15 4,41E-13
3eixos	6810	0,09	41990	0,57	0,377	0,162	10,849 9,290	7,07E+10 1,95E+09	1,41E-11 5,13E-10
4eixos	6810	0,09	33260	0,45	0,299	0,205	12,870 11,020	7,42E+12 1,05E+11	1,35E-13 9,55E-12
5eixos	6810	0,09	58950	0,79	0,530	0,116	7,761 6,646	57734546 4423127	1,73E-08 2,26E-07
6eixos	6810	0,09	58950	0,79	0,530	0,116	7,761 6,646	57734546 4423127	1,73E-08 2,26E-07
7eixos	6810	0,09	41990	0,57	0,377	0,162	10,849 9,290	7,07E+10 1,95E+09	1,41E-11 5,13E-10
8rod	6810	0,09	58950	0,79	0,530	0,116	7,761 6,646	57734546 4423127	1,73E-08 2,26E-07
9rod	6810	0,09	41990	0,57	0,377	0,162	10,849 9,290	7,07E+10 1,95E+09	1,41E-11 5,13E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 10%

V2-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	77340	0,36	190420	0,90	0,599	0,400	9,757 8,354	5,71E+09 2,26E+08	1,75E-10 4,42E-09
Trem-45	77340	0,36	223110	1,05	0,702	0,342	6,605 5,656	4,03E+06 4,53E+05	2,48E-07 2,21E-06
2eixos	77340	0,36	145890	0,69	0,459	0,523	16,542 14,164	3,49E+16 1,46E+14	2,87E-17 6,85E-15
3eixos	77340	0,36	166630	0,79	0,524	0,458	12,801 10,961	6,32E+12 9,14E+10	1,58E-13 1,09E-11
4eixos	77340	0,36	147940	0,70	0,466	0,515	16,101 13,786	1,26E+16 6,11E+13	7,93E-17 1,64E-14
5eixos	77340	0,36	191790	0,91	0,604	0,398	9,606 8,225	4,04E+09 1,68E+08	2,48E-10 5,95E-09
6eixos	77340	0,36	185140	0,87	0,583	0,412	10,359 8,870	2,29E+10 7,41E+08	4,38E-11 1,35E-09
7eixos	77340	0,36	164590	0,78	0,518	0,463	13,111 11,226	1,29E+13 1,68E+11	7,75E-14 5,94E-12
8rod	77340	0,36	184900	0,87	0,582	0,412	10,387 8,894	2,44E+10 7,83E+08	4,10E-11 1,28E-09
9rod	77340	0,36	176430	0,83	0,555	0,432	11,435 9,791	2,72E+11 6,18E+09	3,67E-12 1,62E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 10%

V2-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	9110	0,12	34130	0,46	0,307	0,267	13,806 11,821	6,40E+13 6,63E+11	1,56E-14 1,51E-12
Trem-45	9110	0,12	40830	0,55	0,367	0,223	11,896 10,186	7,88E+11 1,54E+10	1,27E-12 6,51E-11
2eixos	9110	0,12	30860	0,42	0,277	0,295	14,969 12,817	9,31E+14 6,56E+12	1,07E-15 1,52E-13
3eixos	9110	0,12	44820	0,60	0,403	0,203	10,943 9,370	8,76E+10 2,34E+09	1,14E-11 4,27E-10
4eixos	9110	0,12	35960	0,48	0,323	0,253	13,233 11,331	1,71E+13 2,14E+11	5,84E-14 4,67E-12
5eixos	9110	0,12	61780	0,83	0,555	0,147	7,617 6,522	4,14E+07 3,33E+06	2,42E-08 3,01E-07
6eixos	9110	0,12	61780	0,83	0,555	0,147	7,617 6,522	4,14E+07 3,33E+06	2,42E-08 3,01E-07
7eixos	9110	0,12	44820	0,60	0,403	0,203	10,943 9,370	8,76E+10 2,34E+09	1,14E-11 4,27E-10
8rod	9110	0,12	61780	0,83	0,555	0,147	7,617 6,522	4,14E+07 3,33E+06	2,42E-08 3,01E-07
9rod	9110	0,12	44820	0,60	0,403	0,203	10,943 9,370	8,76E+10 2,34E+09	1,14E-11 4,27E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 15%

VI-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	56500	0,31	165070	0,90	0,599	0,342	8,910 7,629	812102450 42545562	1,23E-09 2,35E-08
Trem-45	56500	0,31	195080	1,07	0,714	0,287	5,860 5,018	724206,96 104113,59	1,38E-06 9,60E-06
2eixos	56500	0,31	117140	0,64	0,429	0,478	15,980 13,682	9,54E+15 4,814E+13	1,05E-16 2,08E-14
3eixos	56500	0,31	138660	0,76	0,507	0,404	12,063 10,329	1,156E+12 2,133E+10	8,65E-13 4,69E-11
4eixos	56500	0,31	121750	0,67	0,445	0,460	14,988 12,834	9,729E+14 6,816E+12	1,03E-15 1,47E-13
5eixos	56500	0,31	165560	0,91	0,606	0,338	8,696 7,446	496302921 27908290	2,01E-09 3,58E-08
6eixos	56500	0,31	157740	0,87	0,577	0,355	9,569 8,194	3,71E+09 156237707	2,70E-10 6,40E-09
7eixos	56500	0,31	136630	0,75	0,500	0,410	12,369 10,591	2,341E+12 3,901E+10	4,27E-13 2,56E-11
8rod	56500	0,31	158150	0,87	0,579	0,354	9,522 8,153	3,325E+09 142259439	3,01E-10 7,03E-09
9rod	56500	0,31	149670	0,82	0,548	0,374	10,551 9,034	3,554E+10 1,082E+09	2,81E-11 9,25E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 15%

VI-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	6810	0,09	31510	0,43	0,289	0,216	13,235 11,332	1,72E+13 2,15E+11	5,82E-14 4,65E-12
Trem-45	6810	0,09	38000	0,52	0,349	0,179	11,580 9,915	3,8E+11 8,22E+09	2,63E-12 1,22E-10
2eixos	6810	0,09	28020	0,39	0,257	0,243	14,323 12,264	2,11E+14 1,84E+12	4,75E-15 5,44E-13
3eixos	6810	0,09	41990	0,58	0,386	0,162	10,706 9,167	5,08E+10 1,47E+09	1,97E-11 6,81E-10
4eixos	6810	0,09	33260	0,46	0,305	0,205	12,750 10,918	5,63E+12 8,27E+10	1,78E-13 1,21E-11
5eixos	6810	0,09	58950	0,81	0,541	0,116	7,570 6,482	37194403 3035438	2,69E-08 3,29E-07
6eixos	6810	0,09	58950	0,81	0,541	0,116	7,570 6,482	37194403 3035438	2,69E-08 3,29E-07
7eixos	6810	0,09	41990	0,58	0,386	0,162	10,706 9,167	5,08E+10 1,47E+09	1,97E-11 6,81E-10
8rod	6810	0,09	58950	0,81	0,541	0,116	7,570 6,482	37194403 3035438	2,69E-08 3,29E-07
9rod	6810	0,09	41990	0,58	0,386	0,162	10,706 9,167	5,08E+10 1,47E+09	1,97E-11 6,81E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 15%

V2-1-10

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	77340	0,37	190420	0,92	0,614	0,402	9,413 8,060	2,59E+09 1,15E+08	3,87E-10 8,72E-09
Trem-45	77340	0,37	223110	1,08	0,720	0,343	6,228 5,333	1,69E+06 2,15E+05	5,92E-07 4,65E-06
2eixos	77340	0,37	145890	0,71	0,471	0,524	16,245 13,909	1,76E+16 8,12E+13	5,69E-17 1,23E-14
3eixos	77340	0,37	166630	0,81	0,537	0,459	12,481 10,687	3,02E+12 4,86E+10	3,31E-13 2,06E-11
4eixos	77340	0,37	147940	0,72	0,477	0,517	15,801 13,529	6,32E+15 3,38E+13	1,58E-16 2,96E-14
5eixos	77340	0,37	191790	0,93	0,619	0,399	9,260 7,929	1,82E+09 8,50E+07	5,49E-10 1,18E-08
6eixos	77340	0,37	185140	0,90	0,597	0,413	10,020 8,580	1,05E+10 3,80E+08	9,55E-11 2,63E-09
7eixos	77340	0,37	164590	0,80	0,531	0,465	12,793 10,954	6,20E+12 8,99E+10	1,61E-13 1,11E-11
8rod	77340	0,37	184900	0,89	0,596	0,414	10,048 8,604	1,12E+10 4,02E+08	8,95E-11 2,49E-09
9rod	77340	0,37	176430	0,85	0,569	0,433	11,105 9,508	1,27E+11 3,22E+09	7,86E-12 3,10E-10

CÁLCULO DA VIDA ÚTIL E DANO

CORROSÃO 15%

V2-2b1-10 BALANÇO

Carga Móvel	M _{min} [kN.m]	σ _{min} [kN/cm ²]	M _{max} [kN.m]	σ _{max} [kN/cm ²]	σ _{max} /f _{cm}	R	log N (B=0,0685) (B=0,0800)	N	D
Trem-36	9110	0,13	34130	0,47	0,313	0,267	13,673 11,707	4,71E+13 5,10E+11	2,12E-14 1,96E-12
Trem-45	9110	0,13	40830	0,56	0,375	0,223	11,746 10,057	5,57E+11 1,14E+10	1,80E-12 8,76E-11
2eixos	9110	0,13	30860	0,43	0,283	0,295	14,843 12,710	6,97E+14 5,12E+12	1,43E-15 1,95E-13
3eixos	9110	0,13	44820	0,62	0,412	0,203	10,782 9,232	6,05E+10 1,70E+09	1,65E-11 5,87E-10
4eixos	9110	0,13	35960	0,50	0,330	0,253	13,095 11,213	1,25E+13 1,63E+11	8,03E-14 6,12E-12
5eixos	9110	0,13	61780	0,85	0,567	0,147	7,409 6,344	2,56E+07 2,21E+06	3,90E-08 4,53E-07
6eixos	9110	0,13	61780	0,85	0,567	0,147	7,409 6,344	2,56E+07 2,21E+06	3,90E-08 4,53E-07
7eixos	9110	0,13	44820	0,62	0,412	0,203	10,782 9,232	6,05E+10 1,70E+09	1,65E-11 5,87E-10
8rod	9110	0,13	61780	0,85	0,567	0,147	7,409 6,344	2,56E+07 2,21E+06	3,90E-08 4,53E-07
9rod	9110	0,13	44820	0,62	0,412	0,203	10,782 9,232	6,05E+10 1,70E+09	1,65E-11 5,87E-10