

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**RICARDO MÜLLER**

**CRITÉRIOS PARA O PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE  
RECUPERAÇÕES ESTRUTURAIS EM PONTES E VIADUTOS  
RODOVIÁRIOS NO ESTADO DO PARANÁ**

**CURITIBA**

**2004**

**RICARDO MÜLLER**

**CRITÉRIOS PARA O PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE  
RECUPERAÇÕES ESTRUTURAIS EM PONTES E VIADUTOS  
RODOVIÁRIOS NO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda dos Santos Filho.

**CURITIBA**

**2004**

## FICHA CATALOGRÁFICA

M958c

Müller, Ricardo, 1972-

Crerios para o planejamento e execuão de recuperaões estruturais em pontes e viadutos rodoviários no Estado do Paraná [manuscrito] / Ricardo Müller – 2004.

135 f. : Il. [algumas color.] ; 31 cm.

Impresso.

Dissertaão (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-graduaão em Construaão Civil, 2004.

“Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda dos Santos Filho”.

Bibliografia: f. 109-110.

1. Pontes – Projetos e construaões. 2. Pontes – Conservaão e restauraão. 3. Construaão de concreto armado. I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos Filho, Mauro Lacerda dos, 1956-. III. Título.

CDD: 624.2

**Bibliotecário: Arthur Leitis Junior – CRB 9/1548**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

RICARDO MÜLLER

### **CRITÉRIOS PARA O PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE RECUPERAÇÕES ESTRUTURAIS EM PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS NO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

**Prof. Dr. Mauro Lacerda dos Santos Filho**

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR

Examinadores:

**Prof. Dr. Marcos Antonio Marino**

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Elisabeth Penner**

Departamento Acadêmico de Construção Civil – CEFET - PR

**Prof. MSc Wilson Gorges**

Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Paraná

**Curitiba, 20 de dezembro de 2004.**

*Ao homem, que exerce para mim uma função similar a uma ponte, pois sempre esteve e estará ao meu lado me auxiliando a transpor os obstáculos e barreiras impostas pela vida. A quem sempre me procurou a ensinar através de suas atitudes e exemplos que a engenharia da vida é feita de amor, carinho, honestidade, dedicação, inteligência e competência.*

*Ao meu grande amigo, meu amado pai.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Mauro Lacerda dos Santos Filho, pela atenção, amizade e orientação do trabalho.

A todos os professores e funcionários do PPGCC, em especial ao Professor Ney Nascimento, pelo coleguismo e dedicada atenção.

Ao meu irmão Fabrício, que sempre está me auxiliando no meu desenvolvimento profissional.

A minha irmã Ana Paula, pelo seu constante apoio.

A minha amada Mãe, que sempre me ajuda e está do meu lado.

Pela família que formamos, a minha esposa Claudia e aos meus filhos Pedro e João, que além do amor, afeto e compreensão que sempre me transmitem, me incentivam, me aconselham e orientam nas minhas atitudes.

Aos estimados amigos e competentes engenheiros Moacir H. Inoue, Raul Osório, Wilson Picheth Gheur e Wilson Gorges, que colaboraram no desenvolvimento desta pesquisa, pela ajuda imprescindível para a sua realização.

A todo corpo técnico da empresa Tramo S/C Estruturas.

## RESUMO

A história das construções das pontes está estreitamente vinculada a evolução das civilizações, pois, através destas, obstáculos naturais e fronteiras políticas existentes são superadas, beneficiando desta forma toda a comunidade envolvida. É de suma importância que os engenheiros conheçam os diversos agentes e mecanismos que influenciam na redução da vida útil prevista para as obras de arte de engenharia, pois, a partir destes conhecimentos, devem ser tomadas decisões e considerados procedimentos para a recuperação com êxito destas obras. Através da revisão bibliográfica sobre o assunto, estudos de caso e a busca do conhecimento junto a especialistas da área, esta dissertação se propõe a responder o seguinte problema de pesquisa: Quais são os critérios que podem aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários? As diretrizes desenvolvidas nesta pesquisa resultaram na apresentação de uma proposta de parametrização através de modelo matemático, visando estabelecer critérios que possam aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários. A base para a realização deste, foram os resultados obtidos na aplicação do Método Delphi junto aos especialistas e a correspondente análise destes resultados. Ressalta-se que existe é um significativo volume de conhecimento tácito, presente entre os especialistas consultados, sem formalização em documentos.

Palavras-chave: Pontes. Viadutos. Recuperação Estrutural de Pontes e Viadutos Rodoviários. Método Delphi.

## **ABSTRACT**

The history of the bridge constructions is strictly related to the evolution of the civilizations, therefore, with these constructions natural obstacles and political borders are surpassed, improving all involved community lives. It is important that the engineers know the influence of various agents and mechanisms in the reduction of the foreseen useful life for engineering art works. Therefore, from these knowledge, it must be taken decisions and considered procedures for the recovery of these constructions successfully. Based on the bibliographical revision on the subject, specific case studies and knowledge research with specialists in the area, this paper proposes to answer the following problem: Which are the criteria that can improve the planning and execution of Structural Recoveries in Bridges and Viaducts? The lines developed in this research was resulted in the presentation of a proposal in the parameter based on mathematical model, aiming to establish criteria that can improve the planning and execution of Structural Recoveries in Bridges and Viaducts. The basics for the accomplishment of this paper had been the results gotten in the application of Delphi Method together with specialists and the corresponding analysis of these results. It had been detected a great amount of tactical knowledge among engineers with no formal writing registrations.

Key words: Bridges. Viaducts. Structural Recoveries in Bridges and Viaducts. Delphi Method.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VISTA GERAL DE UMA PONTE, MOSTRANDO OS PRINCIPAIS ELEMENTOS CONSTITUINTES .....	21
FIGURA 2 – LEI DE SITTER.....	36
FIGURA 3 – SIMPLIFICAÇÃO MODELO MATEMÁTICO.....	75
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO .....	87
FIGURA 5 - REFORÇO ESTRUTURAL COM PROTENSÃO EXTERNA NAS LONGARINAS E TRANSVERSINAS DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO PROVENIENTE DE VEÍCULOS QUE TRANSITARAM DURANTE A CONSTRUÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU .....	88
FIGURA 6 - SEÇÃO TRANSVERSAL ORIGINAL NO VÃO DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO.....	89
FIGURA 7 - VISTA GERAL DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO ANTES DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL E ALARGAMENTO DAS PISTAS .....	90
FIGURA 8 - FOTO PATOLOGIA LIGAÇÃO PILAR CAIXÃO .....	91
FIGURA 9 - FOTO RACHADURAS NOS ENCONTROS .....	91
FIGURA 10 - FOTO FALHAS DE CONCRETAGEM.....	92
FIGURA 11 - FOTO ARMADURAS EXPOSTAS NOS PILARES.....	92
FIGURA 12 - FOTO VISTA INFERIOR DAS JUNTAS GERBER.....	92
FIGURA 13 - FOTO FISSURAS NAS TRAVESSAS.....	93
FIGURA 14 - FOTO SEÇÃO TRANSVERSAL ATUAL COM CAPEAMENTO POSTERIOR NO VÃO VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO.....	94
FIGURA 15 - FOTO VIGAS METÁLICAS E ARMADURA DE REFORÇO DAS LONGARINAS – DETALHE PROTENSÃO EXTERNA DEVIDO AO VEÍCULO DE ITAIPU.....	96
FIGURA 16 - FOTO PROJETO DE VIGAS METÁLICAS EMPREGADAS.....	97
FIGURA 17 - FOTO SEÇÃO TRANSVERSAL NO VÃO – REFORÇO NA LAJE ENTRE AS TRANSVERSINAS.....	98
FIGURA 18 - FOTO MEIA SEÇÃO LONGITUDINAL E MEIA PLANTA VISTA SUPERIOR .....	98

FIGURA 19 - FOTO SONDAGENS REALIZADAS.....	100
FIGURA 20 - FOTO LOCAIS ESCOLHIDOS DAS SONDAGENS .....	101
FIGURA 21 - FOTO RACHADURAS JUNTO AO PILAR P-50 EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS E LONGARINA .....	102
FIGURA 22 - FOTO PROJETO E EXECUÇÃO DOS REFORÇOS P-50.....	103
FIGURA 23 - FOTO SEQÜÊNCIA CONSTRUTIVA DEFENSAS.....	105

### **QUADROS E TABELAS**

QUADRO 1 - PARAMETRIZAÇÃO .....	78
QUADRO 2 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ADOTADOS PARA ÍNDICE DE PATOLOGIA.....	82
TABELA 1 - APLICAÇÃO MODELO PROPOSTO VIADUTO SÃO JOÃO .....	83
TABELA 2 - APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO VIADUTO TIGRINHO.....	84

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.3 OBJETIVO .....	17
1.4 HIPÓTESE.....	17
1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	18
1.6 MÉTODO DE PESQUISA.....	18
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	19
<b>2 ELEMENTOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES</b> .....	21
2.1 DEFINIÇÕES .....	21
2.2 ELEMENTOS DAS PONTES .....	21
2.3 IMPLANTAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.....	23
2.4 ALGUNS FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UMA PONTE.....	23
2.5 CONHECIMENTOS AFINS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PONTES .....	24
2.6 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA.....	24
<b>3 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS</b> .....	28
3.1 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS.....	28
3.2 AUSÊNCIA DE NORMAS .....	31
3.3 OCORRÊNCIAS DE FALHAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO OU PROTENDIDO.....	32
<b>4 A INSPEÇÃO COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO E MANUTENÇÃO DE OBRAS</b> .....	35
4.1 INSPEÇÃO COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO E MANUTENÇÃO DE OBRAS .....	35
4.2 INSPEÇÕES EM PONTES .....	39
4.3 COMPARATIVO DE INSPEÇÕES EM PONTES REALIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ.....	47
<b>5 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	49

5.1	CONTEXTO.....	49
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	49
5.3	MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO .....	50
5.4	MÉTODO DELPHI .....	50
5.5	CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DOS ESPECIALISTAS.....	52
5.6	NÚMERO DE RODADAS REALIZADAS .....	52
5.7	QUESTIONAMENTOS AOS ESPECIALISTAS .....	53
6	<b>RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>55</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	55
6.2	PRINCIPAIS CAUSAS/MOTIVOS QUE TEM LEVADO A NECESSIDADE DE EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS EM OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA – PONTES E VIADUTOS.....	55
6.3	PATOLOGIAS MAIS FREQUENTEMENTE ENCONTRADAS NAS PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS .....	57
6.4	RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E BALIZAMENTO UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO. ....	59
6.5	ENFOQUES E CRITÉRIOS MAIS RELEVANTES QUE DEVERÃO SER ABORDADOS EM OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA SUBMETIDAS A ACRÉSCIMO DE LARGURA, RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS, ALTERAÇÃO DOS CARREGAMENTOS NORMATIZADOS.....	62
6.6	SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES A SEREM ADOTADAS PARA A REALIZAÇÃO DE RE-ANÁLISE DE PROJETOS E OBRA DE ARTE DE ENGENHARIA QUE NECESSITAM INTERVENÇÕES DE REFORÇO ESTRUTURAL. ....	64
6.7	INEXISTÊNCIA DO PROJETO ESTRUTURAL INICIAL - QUAIS SÃO OS PROCEDIMENTOS USUALMENTE TOMADOS PARA A ANÁLISE DA SITUAÇÃO EM QUE SE ENCONTRA A ESTRUTURA .....	65
6.8	CRITÉRIOS A SEREM OBEDECIDOS NAS INTERFACES ENTRE A ESTRUTURA EXISTENTE E A NOVA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E/OU PROTENDIDO NO QUE SE REFERE A RETRAÇÃO E DEFORMAÇÃO LENTA.....	67

6.9 SOLUÇÕES MAIS USUAIS NO QUE SE REFERE A UTILIZAÇÃO DE PROTENSÃO PARA A EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS DE OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA – PONTES E VIADUTOS.....	68
6.9.1 REFORÇO POR PROTENSÃO – MATERIAIS EMPREGADOS: .....	70
6.10 RECOMENDAÇÕES PARA O AUMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS CONTRA AGENTES LOCALIZADOS EM MEIO AGRESSIVO .....	71
6.11 EMBASAMENTO TEÓRICO .....	72
<b>7 PATOLOGIAS - PARAMETRIZAÇÃO ATRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>75</b>
7.1 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	82
7.2 OBSERVAÇÕES .....	85
<b>8 ESTUDO DE CASO - VIADUTOS SÃO JOÃO E TIGRINHO</b> .....	<b>86</b>
8.1 INTRODUÇÃO .....	86
8.2 LOCALIZAÇÃO DOS VIADUTOS .....	86
8.3 HISTÓRICO DA OBRA .....	87
8.4 DESCRIÇÃO DA OBRA – CARACTERÍSTICAS ORIGINAIS .....	88
8.5 VERIFICAÇÕES “ <i>IN LOCO</i> ”.....	90
8.6 PATOLOGIAS ENCONTRADAS/DIAGNOSTICADAS .....	91
8.7 NOVA SEÇÃO TRANSVERSAL .....	93
8.8 VERIFICAÇÕES EFETUADAS .....	94
8.9 REFORÇOS NA LAJE DA PISTA .....	95
8.10 REFORÇOS NA LAJE DA PISTA (FISSURAS EXISTENTES).....	98
8.11 REFORÇOS NAS LONGARINAS .....	99
8.12 SISTEMA DE FIXAÇÃO .....	100
8.13 DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS .....	100
8.14 REMOÇÃO DA SOBRELAJE E NOVA PAVIMENTAÇÃO .....	104
8.15 CUIDADOS GERAIS TOMADOS DURANTE A OBRA .....	104
<b>9 CONCLUSÕES</b> .....	<b>106</b>
9.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	107
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>109</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É de suma importância que os engenheiros conheçam os diversos agentes e mecanismos que influenciam na redução da vida útil prevista para as obras de arte de engenharia, pois, a partir destes conhecimentos, devem ser tomadas decisões e considerados procedimentos para a recuperação com êxito destas obras. Possuir conhecimentos de durabilidade implica em valorizar os processos de manutenção preventiva, essenciais para o desempenho adequado dentro das condições de uso previstas para as pontes.

Esta dissertação visa abordar os critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários a partir da comparação entre o conhecimento empírico de projetistas estruturais e os procedimentos normativos brasileiros.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A história das construções das pontes está estreitamente vinculada a evolução das civilizações, pois, através destas, obstáculos naturais e fronteiras políticas existentes são superadas, beneficiando desta forma toda a comunidade envolvida.

As lesões ou enfermidades nas estruturas são fenômenos tão antigos quanto os próprios edifícios. Na Mesopotâmia, há quatro mil anos, no Código de Hamurabi já constavam regras para prevenir defeitos na construção dos edifícios sendo, pois, este o primeiro tratado conhecido sobre a patologia na construção.

Assim, constata-se que desde os primórdios da civilização o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades. Com isso a humanidade acumulou um grande acervo científico ao longo dos séculos, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia das construções, abrangendo a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas.

O crescimento sempre acelerado da construção civil provocou a necessidade de inovações que trouxeram a aceitação implícita de maiores riscos. A

progressão do desenvolvimento tecnológico, então, aconteceu naturalmente, assim como e também o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais – em particular através do estudo e análise de erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou em acidentes (SOUZA, 1998).

Ao final dos anos quarenta, quando a técnica de construção de concreto pretendido começou a ser difundida, pensava-se que jamais ocorreria corrosão nas armaduras do concreto, requerendo somente uma manutenção mínima, onde não seria necessário realizar uma proteção anticorrosiva nas pontes. Rapidamente, porém, foi constatado que esta opinião estava incorreta, pois a contaminação do meio ambiente, os gases produzidos por veículos e o dióxido de carbono atacam a superfície do concreto e demais materiais empregados (SILVA, 1974). Os componentes do concreto se transformam em sais solúveis facilmente levados pelas chuvas, comprometendo as armaduras não protegidas, deixando-as expostas à corrosão (SOUZA, 1998). Em estudos realizados pela comunidade científica, conclui-se que o sal constitui na principal causa de corrosão em obras de pontes.

Os técnicos e construtores estão cada vez mais conscientes de que a qualidade é rentável a curto e longo prazo, pois evita gastos com reparação, aumenta a vida das obras e melhora o prestígio das pessoas envolvidas em projetos bem sucedidos. Portanto, não é de se estranhar que, perante as vantagens obtidas com a realização de coisas bem feitas, as questões de qualidade, durabilidade e segurança tenham se tornado um aspecto de interesse internacional (SOUZA, 1998).

Apesar disso e por ainda existirem sérias limitações ao livre desenvolvimento científico e tecnológico, além das inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícia, constata-se que algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório frente às finalidades propostas.

Portanto, a deterioração estrutural é gerada por este conjunto de fatores. As suas causas podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento natural da estrutura até os acidentes, passando ainda algumas vezes pela irresponsabilidade de profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações (SOUZA, 1998).

Robert Stevenson, presidente do Instituto Britânico de Engenharia, por volta de 1856 já recomendava que:

“os acidentes que haviam ocorrido durante os últimos anos deviam ser recopilados, analisados e divulgados, pois nada seria tão útil e instrutivo para os jovens alunos e profissionais, como o conhecimento dos mesmos e os meios empregados em sua reparação” (SOUZA, 1998).

Ainda assim, é difícil reconhecer a situação do problema patológico estrutural, pois os fracassos são escondidos, guardados e procura-se evitar que sejam divulgados; ainda acontecem casos onde, quando algum problema, tenta-se consertar a falha não exatamente procurando garantir a reparação, mas sim na tentativa de esconder do cliente a falha, ou ainda minimizar custos. Desta forma muitos defeitos ou lesões estruturais conhecidos acabam sendo aqueles que, por sua magnitude, são impossíveis de esconder, ou outros que acabam por dar lugar a intervenções legais (FERNANDEZ CÁNOVAS, 1988).

Tais considerações aplicadas a Engenharia de Estruturas e associadas à análise de todos os fatos expostos, implicam na necessidade de se promover alterações dos métodos, a começar pela sistematização dos conhecimentos nesta área, cujo objetivo é abordar, de maneira científica, o comportamento e os problemas das estruturas.

Uma das premissas fundamentais para uma vida útil duradoura de uma ponte está atribuída à garantia da qualidade empregada (mão de obra, projetos, equipamentos, etc.) durante a fase de construção. A garantia de qualidade pressupõe o know-how técnico, profundos conhecimentos dos processos e uma eficiente organização, além de grandes recursos financeiros (PFEIL, 1979). Os projetos de pontes não devem somente considerar os custos de construção, mas também os recursos financeiros que deverão ser desembolsados durante a vida útil da obra, englobando valores referentes a manutenção e conservação.

Em função do elevado grau de complexidade dos problemas patológicos que ocorrem nas estruturas de concreto armado e pretendido que afetam sua segurança e durabilidade, sendo estas patologias originárias de diversos fatores que estão associados as fases de concepção, execução, uso e manutenção de uma obra,



conforme constatação feita pelo DER/PR em inspeções realizadas sobre 445 pontes integrantes da malha viária do Estado do Paraná (MAIDANA, 2002).

A presente dissertação pretende buscar o conhecimento empírico de especialistas na área, para a obtenção de Critérios para o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

As obras de arte de engenharia concebidas para uma longa vida útil, em função das necessidades atuais de tráfego acabam sendo submetidas a situações diversas como: sobrecargas não previstas, ações das intempéries, necessidade de alargamento de pistas e sobretudo a falta de manutenção.

Através da revisão bibliográfica sobre o assunto, estudos de caso e a busca do conhecimento junto a especialistas da área, esta dissertação se propõe a responder o seguinte problema de pesquisa: Quais são os critérios que podem aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários?

## 1.3 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é revisar critérios adotados para a execução de reforços em pontes e viadutos rodoviários a partir da comparação entre o conhecimento empírico de projetistas estruturais e os procedimentos normativos brasileiros.

## 1.4 HIPÓTESE

Têm-se como hipótese central desta pesquisa que a recuperação de patologias ocorridas em pontes e viadutos, além dos fatores referentes ao conhecimento de suas origens, causas e conseqüências, pode ser aprimorada se estiver atrelada a um conjunto de procedimentos estabelecidos em projeto, através

de critérios definidos e através do conhecimento empírico de especialistas que estão além dos previstos em normas técnicas pertinentes ao tema em questão.

### 1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Apesar do montante significativo de obras de arte em concreto armado e protendido existentes no país que necessitam de reforços estruturais, esta dissertação limitar-se-á ao Estado do Paraná.

Nesta pesquisa será somente realizada consulta a especialistas residentes no Município de Curitiba, com apresentação de estudos de caso ocorridos no Estado do Paraná.

### 1.6 MÉTODO DE PESQUISA

A busca de conhecimento junto a profissionais atuantes nas áreas de projetos de obras de arte de engenharia e recuperação de patologias estruturais, somadas à revisão bibliográfica existente sobre o assunto, irá nortear o desenvolvimento do presente trabalho.

Tendo em vista a necessidade de captação de conhecimento junto a um grupo de especialistas, aliada à necessidade de buscar diretrizes consensuais, optou-se por adotar o Método Delphi como principal instrumento de realização desta pesquisa (GIUBLIN, 2002, p. 4).

O Método *Delphi* pretende extrair e maximizar as vantagens que apresentam os métodos baseados em grupos de especialistas e minimizar os seus inconvenientes. Para isso se aproveita a sinergia do debate em grupo evitando-se as interações sociais indesejáveis que existem dentro do próprio grupo. Desta forma, almeja-se obter um consenso o mais fiel possível do grupo de especialistas.

Visando ilustrar experiências ocorridas sobre o tema proposto, serão abordados estudos de caso, “*pós facto*”, em obras de arte de engenharia selecionadas para esta pesquisa.

A revisão bibliográfica, que fundamentou os aspectos abordados nesta pesquisa, baseou-se na caracterização dos elementos que compõe a morfologia estrutural das pontes e viadutos e as forças atuantes sobre estas estruturas.

## 1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 01 estão apresentadas as principais justificativas, bem como o problema de pesquisa, os objetivos e hipóteses associados, as limitações e o método de pesquisa adotado para a realização desta dissertação.

O Capítulo 02 discorre sobre noções básicas fundamentais e definições dos principais componentes das pontes. Apresenta-se também fatores e conhecimentos afins que influenciam no desenvolvimento, implantação e lançamento da estrutura em projetos de pontes e viadutos.

No Capítulo 03 estão apresentadas noções básicas fundamentais sobre patologias em estruturas e um resumo dos principais mecanismos de danos encontrados no concreto armado e protendido, no intuito de proporcionar uma visão geral dos problemas patológicos que podem surgir nas estruturas das pontes.

No Capítulo 04 estão apresentadas considerações quanto à realização de Inspeções como ferramenta de gerenciamento e manutenção de obras, os principais aspectos a serem abordados no momento da realização de inspeções em pontes e viadutos. É exposto também um comparativo entre inspeções em pontes realizadas no Estado do Paraná, sendo ocorridas em épocas distintas, no intuito de abordar os principais problemas encontrados nestas estruturas.

O Capítulo 05 refere-se ao método de pesquisa empregado, contemplando os critérios de seleção dos especialistas e a validação dos resultados.

No Capítulo 06 estão apresentados os resultados obtidos na aplicação do Método Delphi junto aos especialistas e a correspondente análise destes resultados.

O Capítulo 07 apresenta uma proposta de parametrização visando estabelecer critérios que possam aperfeiçoar o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários.

O Capítulo 08 realiza uma descrição geral de um estudo de caso, abordando todos as situações encontradas e os procedimentos adotados para a recuperação

estrutural e alargamento realizados nos Viadutos Tigrinho e São João localizados na Serra da Esperança, BR-277 Estado do Paraná.

No Capítulo 09 estão apresentadas as conclusões finais da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

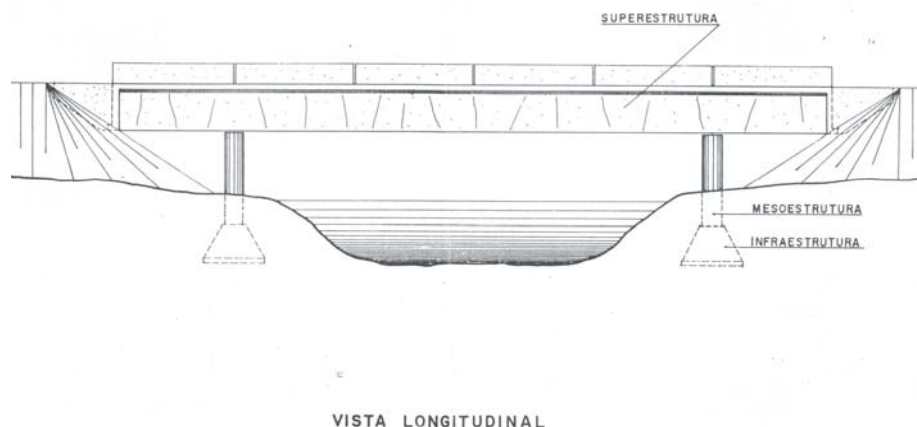
## 2 ELEMENTOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

### 2.1 DEFINIÇÕES

Segundo Pfeil (1979), ponte é a obra designada a estabelecer a continuidade de uma via sobre um obstáculo. Quando os obstáculos são elementos hidrográficos como cursos d'água ou braços de mar diz se que a obra é uma ponte e, quando são vales e outras vias, chamamos comumente de viadutos. Pontilhões são pontes de pequeno vulto.

### 2.2 ELEMENTOS DAS PONTES

Distinguem-se três partes fundamentais, sendo elas: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura.



**FIGURA 1 - VISTA GERAL DE UMA PONTE, MOSTRANDO OS PRINCIPAIS ELEMENTOS CONSTITUINTES**

A infra-estrutura ou fundação é a parte da ponte designada a transmitir ao solo ou rocha os esforços recebidos da mesoestrutura. Constitui-se de: sapatas, blocos, estacas, tubulões, vigas de ligação, caixas de fundação.

A mesoestrutura é constituída pelos pilares, que recebem os esforços da superestrutura e os transmitem à infra-estrutura, somadas a outras forças solicitantes da ponte como vento ações horizontais provenientes de variações térmicas, pressões de vento, empuxos de terreno, pressões de água, forças centrífugas e outros.

A superestrutura, composta em geral de lajes, vigas principais e secundárias e é o elemento de suporte imediato do estrado, que é a parte útil da obra sob o ponto de vista da finalidade.

Outras definições importantes:

*Tabuleiro*: é o conjunto de elementos que recebem diretamente as cargas de utilização.

*Estrado*: é constituído pela superfície de rolamento, pelo leito e pelo suporte da estrada.

*Lajes*: são os suportes da estrada.

O *vigamento* secundário pode ser constituído pelas longarinas e transversinas.

As *transversinas* se apóiam no vigamento principal.

A *estrutura principal* é a parte designada a vencer a distância entre dois apoios consecutivos, recebendo todas as cargas da superestrutura. Pode ser vigamento simples (uma ou duas vigas principais), vigamento múltiplo (grelhas), pórticos, arcos, pênsil, estaiada.

As *cortinas* possuem dupla finalidade, de transversinas extrema e de retenção dos aterros da cabeceira.

Os *contraventamentos* e *travejamentos*, em geral em pontes metálicas e de madeira servem para resistir ações de frenagem e aceleração ou externos.

*Pendurais* e *montantes* transmitem cargas da plataforma à estrutura principal (arco em geral) através tração ou compressão.

*Tímpanos* são elementos de ligação entre o arco e o tabuleiro e transmitem ao arco as cargas da superestrutura.

## 2.3 IMPLANTAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Conforme relata o Manual de Construção de Obras de Arte Especiais (BRASIL, 1995),

“obras de arte especiais são obras de arte tais como pontes, viadutos, passarelas, túneis e outras obras de vulto que, pelas suas proporções e características peculiares, requerem projetos específicos, desenvolvidos por engenheiros qualificados, e construções conduzidas e executadas por profissionais e mão de obra habilitados e experientes, sempre sob a supervisão constante e adequada, em todas as fases da construção”.

## 2.4 ALGUNS FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UMA PONTE (PFEIL, 1979)

*Funcionalidade:* Deve satisfazer ao fim para o qual foi destinada, de modo que as diversas funções sejam desempenhadas sem a mínima perturbação.

Para isso devem ser bem definidas a sua geometria, largura, comprimento, espessura estrutural, etc.

*Segurança:* deve obedecer aos requisitos normais de dimensionamento seja a tensões, deformações, controle de fissuração, coeficiente de majoração das cargas, minoração das resistências dos materiais, cargas de utilização, esforços de coação, etc.

Aspectos referentes à duração prevista da obra, provisória ou definitiva, fadiga dos materiais. Previsão de ampliação, substituições de elementos, de reforços, etc.

*Estética:* Deve possuir aparência tal que não contraste com o meio ambiente onde é implantado. Evitar obstruções visuais ou psicológicas. Deve ter um proporcionamento harmonioso da estrutura, evitando-se ornamentos e elementos supérfluos.

*Economia:* É o requisito mais solicitado nas obras de engenharia. Atendendo rigorosamente aos três fatores anteriores, deve encontrar a solução mais conveniente no ponto de vista econômico.

Cabe ressaltar que os quatro fatores acima são interdependentes.

## 2.5 CONHECIMENTOS AFINS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PONTES

Deve recorrer aos seguintes requisitos:

Resistência dos materiais e métodos de resolução das estruturas: dimensionamento de concreto armado e protendido, estruturas de aço, madeira e outros materiais que permitam a análise estrutural do projeto a determinados esforços solicitantes, deformações e condições de equilíbrio.

Hidráulica: Perturbações que a obra introduz no regime líquido, ou avaliação de máximas vazões.

Mecânica dos Solos: Conhecimento do subsolo de modo a permitir o projeto mais conveniente das fundações.

Materiais de Construção: Permitir o melhor aproveitamento dos materiais empregados.

Aerodinâmica: Ações do vento sobre as estruturas e suas implicações.

Arquitetura: Diz respeito ao aspecto estético da obra.

## 2.6 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA

Preliminarmente deve-se conhecer a finalidade da obra, a fim de poder definir a adequada geometria de utilização e cargas de serviço.

Hoje as pontes rodoviárias se constituem em trecho da estrada com todos os componentes da seção transversal como faixas de tráfego, acostamentos e faixas de segurança.

O lançamento é feito por experiência, comparação, utilização de normas técnicas e fórmulas empíricas, e também por cálculo aproximado.

Ressalta-se que a normalização se constitui em um processo de caráter permanente e contínuo, em face da diversificação e da constante evolução tecnológica. As principais normas técnicas regulamentadas e utilizadas em obras de arte de engenharia no Brasil são as integrantes do acervo documental técnico-normativo do DNER e da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, que se encontram relacionadas nas Referências desta pesquisa. Nos casos de



inexistência de Normas Brasileiras ou quando estas forem omissas, será permitida a utilização de normas estrangeiras, onde em particular, para obras de concreto armado, convencional ou protendido, recomenda-se o CEB-FIP Model Code 1990 e, para pontes metálicas, normas americanas ou a DIN-1045, alemã (BRASIL, 1996).

Seqüência para o lançamento de uma estrutura de ponte: - pontos que deverão ser abordados:

- Estudo de viabilidade técnico-econômica.
- Estudos e coleta de dados preliminares e levantamento de campo. Os estudos básicos neste caso são: topografia, batimetria, hidrologia, sondagens preliminares e projeto de interseção ou gabaritos a obedecer ou a transpor.
- Comprimento mínimo da obra de arte: análise se a travessia é normal ou esconsa, ou se a obra é normal em obstáculo esconso. Deve ser feita também a análise do terreno natural: quando o terreno não apresenta condições satisfatórias quanto à resistência e suporte de cargas, deve ser indicada a sustentação dos aterros, com remoção e substituição de terreno, ou ainda o acréscimo do comprimento da obra.
- Tipologia estrutural e análise dos materiais a empregar: deve-se verificar os aspectos de conveniências ou de dificuldades construtivas, o método construtivo mais adequado em cada caso, levando-se em conta situações como: grandes alturas que inviabilizam cimbramentos convencionais, tráfegos inferiores ou navegação que não podem ser interrompidos, dificuldades na implantação da fundação, entre outras situações. Pode-se optar então por uma entre diversas:
  - pontilhões em laje;
  - pontes convencionais com duas vigas principais isoladas;
  - vigamento múltiplo – grelhas - para uso de elementos pré-moldados;
  - seções mistas de aço e concreto;
  - estrados celulares;
  - estruturas metálicas;
  - balanços sucessivos “*in situ*” ou aduelas pré-moldados.

- Gabaritos: denominam-se gabaritos os conjuntos de espaços livres que deve apresentar o projeto de uma ponte, para atender a diversas finalidades (PFEIL, 1979). Conforme descrito no Manual de Construção de Obras de Arte Especiais (BRASIL, 1995) deverão ser obedecidos todos os gabaritos horizontais e verticais, tanto da via principal quanto da via inferior, conforme descrito a seguir:
  - Da pista de rolamento: a tendência é incorporar na obra de arte todos os elementos da rodovia: faixas de tráfego, faixa de segurança e acostamento, passeios quando necessário e guarda-corpos.
  - Da via inferior:
    - nos gabaritos horizontais o desejável seria, além de incorporar todos os elementos da rodovia, pistas, canteiro central, acostamentos e faixas de segurança, prever ainda folgas mínimas de dois metros até as faces mais próximas dos obstáculos, que podem ser os próprios pilares do viaduto
    - nos gabaritos verticais, que deverão ser observados em toda a largura das pistas e acostamentos, a altura livre, mínima, salvo recomendações especiais, é de seis metros.
  - Cruzamentos com cursos d'água não navegáveis: a folga mínima a ser exigida entre o nível de enchente máxima e a face inferior da superestrutura deverá ser de 1,00 m para condições normais de escoamento, e de 0,50 m para bacia de represamento e de 2,00 m no caso de rios com regime torrencial e com possibilidade de transporte superficial de vegetação densa.
  - Navegação: as pontes construídas sobre vias navegáveis devem atender aos gabaritos de navegação destas vias. Para vias navegáveis a chatas e rebocadores, é comum prever-se a altura livre de 3,50 m a 5,00 m acima do nível máximo a que pode atingir a água. A largura deve atender a, pelo menos, duas vezes a largura máxima das embarcações mais um metro (PFEIL, 1979).
- Verificar necessidade de obras definitivas e provisórias.

- Anteprojeto: Relações usuais nas seções transversais e longitudinais e suas dimensões principais. Estudo de duas ou mais soluções exeqüíveis para que, finalmente, prevaleça o aspecto econômico.
- Sondagens definitivas em pontos particulares.
- Aprovação do anteprojeto.
- Desenvolvimento do Projeto Executivo:
- Memorial de cálculo: fixação das cargas, determinação dos esforços solicitantes, envoltórias, tensões de serviço, dimensionamento, deformações, controle da fadiga, fissuração.
- Elementos para construção: desenhos de execução, detalhes, especificações dos materiais e normas de execução, relação de materiais e serviços, orçamento e cronograma de execução.
- Memoriais descritivo e justificativo.

### 3 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

#### 3.1 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

Segundo Souza (1998), Patologia das Estruturas é o novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa de estudar as origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

O conhecimento sobre estas patologias tem avançado ao longo do tempo e principalmente, nos últimos 20 anos, afirma ainda Souza (1998). Assim sendo, os conceitos de qualidade de construção e de garantia desta qualidade são questões sérias e que precisam de uma análise que deve sempre estar atualizada, em especial para com a segurança das estruturas.

Neste sentido, Fernandez Cánovas (1988) afirma que a patologia da construção está intimamente ligada à qualidade e, com o avanço da mesma e o progresso cada vez maior neste sentido, nota-se que, apesar de uma certa melhoria, os casos patológicos - ao contrário do que se esperava - não diminuíram na mesma proporção deste avanço.

Portanto, a necessidade de reabilitar e manter estruturas construídas anteriormente, com problemas ocasionados por razões diversas está criando uma nova escola no que diz respeito à concepção e ao projeto estrutural, onde a avaliação do existente tornou-se fundamental.

As patologias das estruturas, como um todo, começam a ser mais bem entendidas por situarem-se dentro do contexto global da construção - não mais sendo relevadas apenas a pequenas análises de casos particulares - fazendo assim com que a engenharia de estruturas trabalhe na criação de uma metodologia capaz de avaliar melhor estas questões.

Há que se pensar no estabelecimento de mais adequada sistematização dos conhecimentos nesta área, para que seja alcançado um objetivo básico: a abordagem científica do comportamento estrutural ao longo do tempo, desde a concepção até a manutenção, passando obrigatoriamente por todas as etapas do projeto e da construção.

Os problemas patológicos devem ser classificados como:

- simples: onde o diagnóstico e a profilaxia são evidentes e admitem padronização, podendo ser resolvidos sem a utilização de conhecimentos altamente especializados;
- complexos: não convivem com mecanismos de inspeção convencionais e esquemas rotineiros de manutenção, exigindo assim uma análise individualizada e pormenorizada.

O estabelecimento dos conceitos de segurança começa pela modelação da estrutura, comenta ainda Souza (1998), pois um modelo mal elaborado levará sempre ao desperdício ou a falta de segurança em um projeto. A escolha dos modelos, no campo da engenharia civil, depende mais da sua utilidade do que da sua exatidão. Estes modelos podem ser de três tipos: de coerência lógica, de poder descritivo e de utilidade prática.

Na coerência lógica as teorias relacionam um conjunto de proposições a um conjunto de hipóteses, sempre obedecendo a regras da lógica ou da matemática.

O poder descritivo envolve as correspondências entre as variáveis do modelo e os aspectos da realidade que ele pretende descrever; desta forma o desenvolvimento desta avaliação deve ser feito pela experimentação.

Já a utilidade prática na tomada de decisões deverá ajudar na decisão da estrutura e dos materiais a utilizar.

Desta forma, afirma Souza (1998), a patologia das estruturas está começando a acontecer pelo cadastramento da situação existente e pelo estudo pormenorizado de alguns casos de sintomas patológicos. Para que seu desenvolvimento seja o melhor possível é fundamental a homogeneização de conceitos e métodos, para que os conhecimentos sobre esta área tão ampla, e que ainda é pouco explorada, possam ser aprimorados.

A resistência e a durabilidade de uma estrutura vão depender indiscutivelmente dos cuidados que se tenha com ela, não apenas durante seu projeto, mas também durante sua construção e, posteriormente, durante o resto de sua vida, com a realização da manutenção adequada (FERNANDEZ CÁNOVAS, 1988).

Qualquer obra encontra-se submetida à ação de vários elementos como: calor, umidade, ventos, geada, entre outros, tem que suportar ações do tipo

mecânico, que podem cansá-la e fatigá-la; portanto afirma-se novamente que dos cuidados e fiscalização durante a sua construção dependerá a vida desta obra.

De maneira geral, pode-se afirmar que os acidentes produzidos em estruturas não obedecem a uma só causa - ou enfermidade - agindo isoladamente, mas a uma combinação de várias delas.

A maioria dos casos de defeitos apresentada pelas estruturas é do tipo evolutivo, diz Fernandez Cánovas (1988), fazendo assim com que a estrutura possa chegar a uma situação de perigo. Fazendo uma análise das condições e causas mais prováveis de falhas, pode-se estabelecer a seguinte classificação:

- 1) Uso normal;
- 2) Utilização:
  - Em condições normais;
  - Em condições desfavoráveis;
- 3) Modificação do solo e ação dos lençóis freáticos;
- 4) Influências externas (incêndios, inundações, explosões, acidentes de circulação, entre outros);
- 5) Movimentos sísmicos ou ações similares de tipo oscilatório;
- 6) Utilização inadequada (sobrecargas, entre outros);
- 7) Erros:
  - De projeto;
  - De execução;
- 8) Causas inevitáveis.

As condições 1 e 2 representam fenômenos inevitáveis de degradação, fruto do envelhecimento dos materiais. Indiscutivelmente, o custo da manutenção está na razão inversa da qualidade e, assim, estruturas bem projetadas e construídas vão requerer menos gastos de manutenção e terão mais tempo de vida útil que as estruturas de má qualidade, segundo Fernandez Cánovas (1988).

Ainda segundo o autor, as causas 3, 4 e 5 são totalmente imprevisíveis, alguns efeitos, como recalque de alicerces, ações sísmicas, vibrações, etc., podem ser previstos; assim, pode-se diminuir, e até, eliminar muitos danos, mediante a adoção de determinadas medidas construtivas adequadas.

Nem sempre é possível, nos casos em que se apresentam danos estruturais devido às causas acima referidas, devolver, por meio da técnica de restauração e

reforços, à estrutura as antigas funcionalidade e resistência. Já os danos produzidos em consequência de excessos de carga dependem muito da sua intensidade e duração da ação.

Normalmente, no caso das causas 6 e 7, são produzidos efeitos que costumam anunciar-se; quando aparecem durante a execução da obra, são facilmente corrigíveis, podendo assim ser eliminados antes da estrutura entrar em serviço. Mas quando aparecem depois desta já ter entrado em carga, é necessário agir o mais rápido possível para detectar sua origem e controlar possível progresso, a fim de realizar reparações ou reforços necessários.

Dentro das causas apontadas no item 8 estão contempladas as inevitáveis, como, cálculos incorretos, falta de precisão em resultados, erros acumulativos nos cálculos, entre outros. - geralmente, na falta de coerência entre a teoria e a realidade, diz ainda Fernandez Cánovas (1988).

### 3.2 AUSÊNCIA DE NORMAS

Esta dissertação se limita a obras de arte rodoviárias em concreto armado e protendido. Os problemas patológicos de estrutura de concreto não se encontram atualmente, em nenhum país, cobertos por normas.

Basicamente as Normas e Regulamentações existentes estão voltadas para as etapas de projeto e execução de novas construções, porém o campo de patologia estuda obras já realizadas e/ou concluídas. A extrapolação de tais normas e os estudos de patologia carecem de toda lógica.

Com relação às normas técnicas e regulamentações existentes para a realização de inspeções em pontes e viadutos, as mesmas se encontram relacionadas no capítulo 4, item 4.2 Inspeções em Pontes, desta pesquisa.

### 3.3 OCORRÊNCIAS DE FALHAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO OU PROTENDIDO

Maidana (2002) menciona que os agentes que podem afetar o concreto são muitos, e uma eventual classificação dos mecanismos de danos no concreto em categorias distintas deve ser tratada com cuidado. Em seu estudo Maidana classificou as causas da deterioração do concreto basicamente em três causas intrínsecas: a estrutura do concreto, causas físicas e causas químicas.

Segundo Souza (1998), as principais falhas encontradas em estrutura de concreto armado ou protendido são:

- Deterioração do concreto;
- Corrosão das armaduras;
- Fissuras;
- Deformações excessivas;
- Defeitos causados pelo fogo;
- Falhas de concretagem.

As principais falhas encontradas em estruturas de concreto raramente se devem a causa de um único elemento e sim da combinação de vários aspectos. As ações físicas e químicas estão proximamente ligadas e se reforçam mutuamente, a tal ponto que a separação entre a causa e efeito se tornam difíceis de distinguí-las.

#### **Deterioração do Concreto:**

A deterioração do concreto pode ter sua origem devido as seguintes causas:

- Ataque de águas sulfatadas: os sulfatos de magnésio, sódio e cálcio atacam a pasta de cimento Portland comum, causando a desagregação do concreto.
- Agregados reativos: certos agregados reagem com o cimento, provocando a deterioração do concreto.
- Eflorescência: a percolação de água, através de vazios ou fissuras do concreto, produz dissolução do hidróxido de cálcio e outros compostos, os quais formam eflorescências ou incrustações na superfície.



**Corrosão da Armadura:**

As armaduras situadas no interior do concreto são protegidas contra corrosão pela forte alcalinidade do concreto, porém quando a falhas na concretagem e/ou a espessura de cobrimento do concreto sobre a armadura é pequena, a armadura fica exposta, sofrendo corrosão.

As fissuras também facilitam a corrosão das armaduras. A formação de ferrugem é acompanhada de aumento de volume de armadura, provocando ruptura da camada de cobrimento de concreto.

A corrosão das armaduras é acelerada em presença dos agentes agressivos e em zonas marítimas.

Em cabos de protensão a corrosão deve ser encarada com cuidado, uma vez que pode produzir ruptura brusca dos fios de aço por corrosão sob tensão.

**Fissuras:**

Sob ação de cargas de serviço, normalmente o concreto armado apresenta pequenas fissuras nas zonas tracionadas, com aberturas capilares.

Fissuras maiores, facilmente visíveis, podem indicar um comportamento irregular da estrutura ou um excesso de carga.

A fissuração visível do concreto armado por ter sua origem devido a diversos fatores, sendo estes:

- Retração do concreto, quando a cura for deficiente.
- Efeitos de temperatura, quando as dilatações das vigas forem dificultadas por deficiências dos apoios.
- Ação de cargas em serviço, quando a armadura não estiver disposta adequadamente ou não apresenta boas características de aderência.

As fissuras apresentam as seguintes desvantagens para o concreto armado:

- São desagradáveis do ponto de vista estético e psicológico.
- Diminuem a rigidez da viga.
- Expõem as armaduras as intempéries.

**Deformações Excessivas:**

As deformações excessivas – flechas – de vigas do concreto armado podem ser devidas a falhas de execução (recalques no cimbramento) ou a fluência do concreto comprimido.

**Defeitos Causados pelo Fogo:**

Altas temperaturas provocadas pelo fogo provocam fissurações do concreto, e caso o fogo/incêndio apresentar grande duração, as armaduras convencionais ou protendidas são afetadas, sofrendo deformações plásticas.

**Falhas de Concretagem:**

As falhas de concretagem são defeitos provenientes da época da construção, decorrendo de imperfeições na colocação ou compactação do concreto, podendo deixar as armaduras expostas e sujeitas a corrosão. As falhas podem ser produzidas por diversos fatores, tais como:

- Segregação do concreto, durante o transporte ou lançamento na forma.
- Ausência de espaço para penetração do concreto entre as armaduras.
- Fuga da nata de cimento por abertura na forma.
- Deficiência ou ausência de vibração.

As diretrizes de projeto e execução de reforços estruturais devem considerar todas as providências recomendáveis em consonância com o conhecimento das principais falhas encontradas em estrutura de concreto armado ou protendido, no intuito de proteger as pontes e viadutos da degradação prematura.

Entre as medidas de proteção podem ser citados a escolha da forma estrutural, a composição do concreto, o detalhamento das armaduras, o conhecimento da agressividade do meio ambiente, o cobrimento das armaduras, a limitação da abertura de fissuras e a recomendação de procedimentos especiais de inspeção e manutenção.

## **4 A INSPEÇÃO COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO E MANUTENÇÃO DE OBRAS**

### **4.1 INSPEÇÃO COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO E MANUTENÇÃO DE OBRAS**

Visando oferecer melhores condições e maior segurança às obras, deve-se desenvolver programas específicos de inspeção para seu melhor gerenciamento. Avaliando e classificando os problemas pode-se priorizar os principais pontos a serem considerados, com maior facilidade.

Segundo Souza, a adequada previsão de programas e sistemática de inspeção técnica, deve estar contemplada desde a concepção do projeto, para que a ótica da durabilidade seja garantida. Percebe-se então a necessidade de definir estratégias de manutenção de cada obra em função da confiança e dos cuidados quando da concepção e, principalmente, da construção.

Assim, dois grandes grupos de estratégias de manutenção são classificados:

- casos em que a estrutura terá um só responsável durante toda a sua vida: o que geralmente acontece em grandes estruturas;
- casos em que os responsáveis serão vários: situação mais comum nas obras em geral, como prédio e residências.

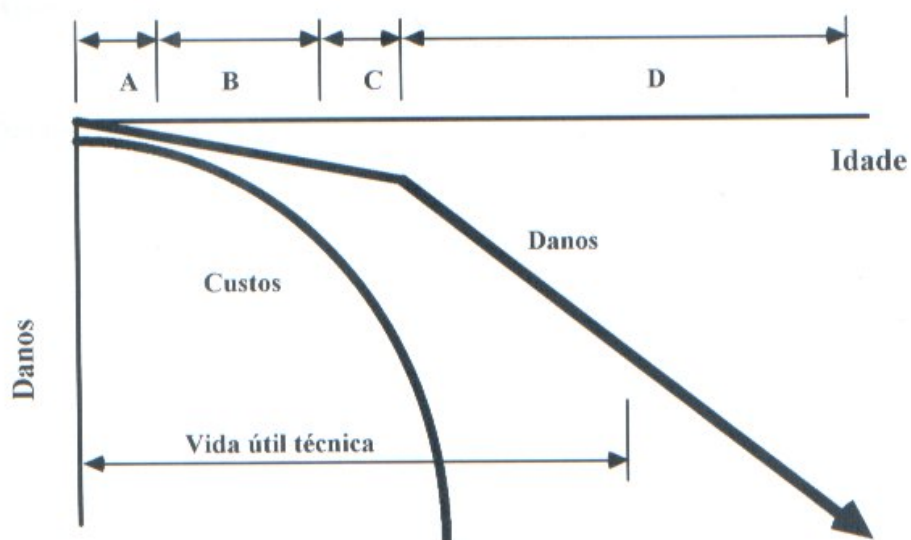
Portanto, para cada caso é preciso definir diferentes tipos de ação, bem como dispor de pessoal capacitado e devidamente instrumentado para realizá-las de acordo com o desejado.

Segundo Santos Filho (2001) uma inspeção regular e sistemática e a implantação de um serviço rotineiro de manutenção são parte integrante das providencias para se garantir que a estrutura atinja os limites de sua vida útil, sendo esta considerada para efeitos legais é de cinquenta anos, apesar de que alguns casos particulares podem exigir valores específicos.

Uma diferença deve ser explicitada: manutenção é o termo usado para manter a estrutura em condições de operação satisfatória de maneira prevista e com orçamentos definidos, já reparo é o termo usado se intervenções saneadoras não previstas são necessárias na estrutura (SANTOS FILHO, 2001).

Com relação à recuperação dos problemas patológicos, Helene (1992) afirma que “as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas”.

A demonstração mais expressiva dessa afirmação é a chamada “lei de Sitter” que mostra os custos de recuperação crescendo segundo uma progressão geométrica. Segundo técnicas disponíveis a vida útil de uma estrutura pode ser dividida em quatro diferentes fases (conforme de Sitter), sendo estas: Fase A: projeto e construção, Fase B: início dos danos, Fase C: início da propagação do dano e Fase D: estado avançado de propagação. Estas fases com uma estimativa de custos estão ilustrados na figura à seguir, a qual ilustra que técnicas de manutenção e inspeção devem ser desenvolvidas e aplicadas para garantir que as estruturas existentes não atinjam as fases C e D.



Boa Execução:	\$ 1
Manutenção Preventiva	\$ 5
Reparo e Manutenção	\$ 25
Restauração e Reforço	\$125

**FIGURA 2 – LEI DE SITTER**

Souza (1998) divide a manutenção em dois grupos:

- manutenção estratégica;
- manutenção esporádica.

A manutenção estratégica é aquela planejada, que tem um caráter preventivo e que visa acompanhar com inspeções periódicas, em espaços regulares de tempo, o que vem acontecendo à obra, possibilitando o acompanhamento da mesma e maior facilidade de ação caso haja algum reparo a ser executado.

Já a manutenção esporádica nasce da necessidade de uma determinada atividade de correção e de reforço quando constatados problemas mais sérios - às vezes em estado avançado na sua gravidade, que acarretam uma manutenção emergencial.

Sabe-se que o trabalho de manutenção não tem o mesmo "charme" que aqueles de projeto ou de construção original, sendo assim muitas vezes vistos pelos responsáveis como improdutivos e desnecessários. Negligenciar com a manutenção, porém, é acumular deficiências e custos que podem tornar-se insuportáveis (SOUZA, 1998).

Dessa forma, pode-se afirmar que a inspeção periódica é elemento indispensável, e, quando bem executada, é a garantia de durabilidade na construção. Sua finalidade é o registro de danos e anomalias, assim como a avaliação da importância que estes devem ter do comportamento e da segurança estrutural. Esta inspeção periódica consiste na programação de uma série de observações de caráter expedito que são relacionadas em formulários adequados a particularidades de cada obra e ao seu ambiente, que permitirão, se necessário, a tomada imediata de providências. Todos os danos e anomalias verificadas neste tipo de inspeção devem ser registradas em planilhas que devem ser enviadas para o responsável que analisará e tomará providências cabíveis.

A periodicidade das inspeções varia de acordo com a idade, a importância e a vulnerabilidade da estrutura ou dos elementos dela.

A análise da planilha poderá apresentar as seguintes situações:

- danos desprezíveis ou a inexistência de danos: nenhuma atitude a tomar;
- pequenos danos: originam pequenos trabalhos e passam a condicionar as inspeções de rotina;

- danos importantes: trabalhos de maior envergadura, sob a supervisão de um engenheiro com conhecimento em trabalhos de recuperação.
- danos emergenciais: casos de grande perigo a segurança da obra;
- alarme: casos de ruína iminente, quando deverão ser tomadas as medidas necessárias.

A seguir serão relacionados alguns pontos críticos, assim como anomalias mais comuns que deverão ser considerados nas planilhas para compor uma base mínima de observações, quando das inspeções:

- fissuras;
- alinhamentos e verticalidades;
- vestígios de corrosão do concreto e do aço;
- estado geral do concreto;
- recalques de fundações;
- deformações permanentes;
- vibrações e deformações excessivas que conduzem a desconfortos;
- juntas de dilatação;
- aparelhos de apoio;
- articulações;
- drenagem e escoamento de água.

As inspeções condicionadas devem ser realizadas todas as vezes que as inspeções periódicas indicarem a existência de situações anômalas em determinadas peças estruturais, ou em casos de danos emergenciais ou alarme (SOUZA, 1998). Durante a realização de inspeções especiais deverá ser feito um cuidadoso mapeamento das anomalias existentes, ou seja, a representação lógica do quadro patológico da estrutura, a qual servirá de base para a definição das causas das manifestações patológicas. Para o projeto, deverão ser feitas especificações e a quantificação dos serviços de recuperação e de reforço da estrutura.

## 4.2 INSPEÇÕES EM PONTES

As inspeções em pontes devem ser conduzidas de modo sistemático e organizado, e deve conter um documento com imagens fotográficas ou digitalizadas com, no mínimo, seis fotos, com vista superior, inferior, vistas laterais e detalhes de apoios, articulações e juntas. Eventuais defeitos encontrados devem ser minuciosamente examinados e registrados, para permitir a avaliação de suas causas. Deve-se verificar também itens como trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos. Havendo possibilidade, a ponte deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas para análise das vibrações ou deformações excessivas. Na inspeção, de acordo com as características da obra, devem constar também as seguintes questões:

- geometria e condições viárias;
- acessos;
- cursos d'água;
- encontros e fundações;
- apoios intermediários;
- aparelhos de apoio;
- superestrutura:
  - em vigas e em lajes maciças;
  - de caixão;
  - pista de rolamento;
- juntas de dilatação;
- barreiras e guarda-corpos;
- sinalização;
- instalações de utilidade pública.

Quanto à frequência das inspeções, toda ponte deve ser verificada em intervalos regulares - não maiores do que dois anos - por técnicos qualificados. Estes intervalos, porém, são justificados de acordo com cada situação - como o tipo da ponte, resultados de relatórios anteriores, histórico do comportamento estrutural ou pela análise da estrutura. Nas pontes os tipos de inspeção a serem realizadas, de acordo com a necessidade, são:

- inspeção rotineira;
- inspeção extraordinária: não programada, solicitada para avaliar um dano estrutural excepcional, causado pelo homem ou pela natureza;
- inspeção especial: é aquela realizada com inspeções visuais pormenorizadas coordenadas por técnico sênior, podendo ainda ser complementadas por medidas de deformações lineares e/ou angulares;
- inspeção intermediária: recomendada para monitoramento de uma deficiência suspeitada ou já detectada.

Dentre os aspectos a serem observados nas inspeções, segundo Jairo Campos, no Curso de Obras de Arte Especiais - MÓDULO IV - DNER, podemos mencionar os seguintes aspectos relativos (BRASIL, 1996):

- ao traçado em planta e perfil;
- à infra-estrutura;
- a mesoestrutura;
- a superestruturas;
- aos acabamentos;
- às obras metálicas.

A seguir será detalhado o conjunto de aspectos que deve ser observado no momento da realização de inspeções:

- 1) Aspectos relativos ao traçado em planta e perfil:
  - verificar, em casos de obras em curva, se a superelevação é compatível com o raio da curva.
  - verificar, em casos de obras com forte curvatura, se existe superlargura e se a mesma é adequada.
- 2) Aspectos relativos a infra-estrutura:
  - inspecionar as tubulações de drenagem alojadas no interior de vigas caixão, de modo a detectar possíveis vazamentos, principalmente nas conexões;
  - verificar se existem drenos na laje inferior das vigas caixão e se os mesmos encontram-se localizados nos pontos mais baixos;



- verificar se os espaços destinados aos alojamentos de redes de serviço público encontram-se convenientemente drenados. No caso de tubulação de água e esgoto, verificar se não existem vazamentos;
- verificar se a trajetória da projeção da água dos drenos não atinge a estrutura;
- para pontes com greide inclinado, verificar se existe sistema de captação das águas na cabeceira mais elevada, de modo a impedir que os drenos da obra sejam sobrecarregados pela água retirada na pista fora da ponte;
- identificar o tipo de junta de dilatação utilizado;
- verificar se existem fissuras ou rupturas do concreto nas quinas da junta;
- verificar se as juntas estão garantindo a estanqueidade;
- verificar se os dispositivos de fixação das juntas encontram-se perfeitos;
- verificar se não existe abertura excessiva das juntas;
- verificar se existem sinais de rasgamento ou deterioração da borracha sintética das juntas;
- para obras antigas, com junta com lâmina de vedação, verificar se existe acúmulo de terra ou outro material sólido sobre a mesma;
- verificar se as juntas encontram-se alinhadas, possibilitando liberdade de movimento da estrutura;
- verificar se as placas de base de fixação de postes ou pórticos de sinalização encontram-se em perfeito estado e não apresentam corrosão;
- verificar se as defensas são adequadas e encontram-se em perfeito estado;
- verificar se existem fissuras verticais nos guarda-rodas, e, em caso afirmativo, certificar-se de que foram previstas juntas de dilatação e com que espaçamento;
- verificar a existência de guarda-corpos destruídos por choque de veículos;

- verificar se o sistema de iluminação encontra-se perfeito, e registrar os problemas;
- verificar se existe placa de sinalização com indicação do nome, comprimento e classe da obra;
- no caso de fundações com estacas metálicas, verificar se existe processo de corrosão instalado e em que nível este compromete a seção transversal da estaca;
- verificar a ocorrência de recalque nas fundações, observando a geometria da estrutura e a posição relativa fundação/ terreno circundante;
- verificar a existência de inclinações previstas nas estacas e tubulões;
- verificar a existência de fissuras nas estruturas de fundação e, em caso afirmativo, mapeá-las e medi-las com fissurômetro;
- verificar a atividade das fissuras por meio de sensores de gesso, vidro, etc;
- verificar se foram realizadas obras de reforço nas fundações;
- em caso de recalque de fundação, verificar se já foi feito algum controle do mesmo;
- verificar se existem sinais de choques de embarcações e de veículos.
- verificar, em fundações construídas por estacas de madeira, o comprometimento delas por ataque de microorganismos.

3) Aspectos relativos à mesoestrutura:

- inspecionar as tubulações de drenagem alojadas no interior de vigas caixão, de modo a detectar possíveis vazamentos, principalmente nas conexões;
- identificar e confrontar com o projeto o tipo de aparelho de apoio;
- verificar o estado de conservação dos aparelhos de apoio;
- verificar se já houve troca dos aparelhos de apoio;
- nos aparelhos de apoio em borracha de neoprene fretada, verificar se existem fissuras, distorções excessivas, corrosão nas placas de fretagem, esmagamento da borracha e rotação excessiva do aparelho;

- verificar se foram previstas, nas obras em rampa ou curvas, cunhas de regularização para garantir o paralelismo das faces superior e inferior dos aparelhos de apoio;
- nas articulações de concreto verificar a existência de fissuras, esmagamento ou deterioração do concreto;
- nos aparelhos de deslizamento ou rolamento verificar se existem retenções;
- nos aparelhos de apoio metálico verificar se existe corrosão;
- nos aparelhos de apoio em placas de chumbo, verificar se está havendo expulsão do mesmo pela movimentação da estrutura;
- nos aparelhos em pêndulo de concreto, verificar a inclinação dos mesmos e se existem sinais de esmagamento do concreto;
- verificar o posicionamento dos aparelhos de apoio de modo a certificar-se que não existem excentricidades imprevistas impostas aos pilares;
- verificar se existem fissuras no concreto em contato com o aparelho de apoio por deficiência de armadura de fretagem;
- verificar, no caso de obras curvas ou esconsas providas de apoio de deslizamento unidirecionais, se a movimentação destes se deu segundo direção imprevista;
- verificar se a transmissão de cargas verticais pelo aparelho de apoio está sendo feita de maneira uniforme em toda a sua superfície;
- verificar se existe infiltração de água atingindo os aparelhos de apoio;
- identificar e confrontar com o projeto os tipos de pilares existentes;
- verificar a integridade do concreto dos pilares, e identificar a presença de brocas, ninhos, esfolhamentos e esmagamentos;
- verificar se o cobrimento das armações é suficiente para a proteção das mesmas;
- verificar se existe desaprumo nos pilares;
- verificar a existência de fissuras horizontais na base dos pilares e, em caso afirmativo, mapeá-las;
- verificar a existência de armaduras expostas e avaliar o seu grau de comprometimento por efeito da corrosão;

- verificar o risco de flambagem das barras ou armaduras longitudinais por ação da corrosão nos estribos;
- verificar se houve rompimento das quinas da face superior dos pilares por proximidade excessiva entre os aparelhos de apoio e bordas da seção;
- verificar a existência de fissuras verticais nos pilares;
- em obras providas de travessas de apoio sobre os pilares, verificar a integridade do concreto e a existência de fissuras;
- verificar a atividade das fissuras existentes por meio de sensores.

4) Aspectos relativos à superestrutura:

- verificar se existem fissuras nas peças componentes da superestrutura e, em caso afirmativo, mapeá-las rigorosamente;
- o mapeamento e identificação da fissura devem abranger cada um dos planos estruturais em que ela se envolve. Deverão constar do mapa as seguintes informações: posicionamento, intensidade, dimensão de abertura, desenvolvimento, angulação e extensão das fissuras;
- em estruturas providas de revestimento, a sua retirada é recomendável, de modo a permitir a perfeita observação;
- identificar as principais fissuras por meio de tinta e colocar sensores de gesso para acompanhamento da atividade das mesmas;
- verificar a integridade do concreto, assinalando a presença de brocas, ninhos, esfolhamentos e esmagamentos;
- verificar se o cobrimento das armações é o suficiente para a proteção das mesmas;
- verificar se existem deformações excessivas, determinando se estas foram provenientes de defeitos de execução ou da aplicação dos carregamentos;
- verificar se existem armaduras expostas e avaliara o grau de comprometimento delas por efeito da corrosão;
- verificar a existência de fissuras e esmagamento do concreto nas regiões de contato das vigas ou transversinas com os aparelhos de apoio;

- verificar a existência de fissuras nas ligações das peças estruturais;
- nas obras com superestrutura protendida examinar rigorosamente as regiões de implantação da protensão, para verificar se existem fissuras, esmagamento de concreto ou infiltrações;
- nas obras com superestrutura protendida que possuam cabos ancorados em pontos intermediários, verificar se existem fissuras na parte anterior a estas ancoragens;
- nas obras com superestrutura protendida verificar se existe uma única fissura de flexão com grande abertura no meio do vão;
- verificar se existe fluxo de água nas fissuras da laje provocando estalactites e manchas;
- verificar se já houve reforço nas peças da superestrutura, e em caso afirmativo, caracterizá-lo;
- verificar se existem sinais de choque na parte inferior do vigamento provocado por veículos altos ou embarcações;

5) Aspectos relativos aos acabamentos:

- verificar se existem drenos nos tabuleiros e, em caso afirmativo, certificar-se que estes são suficientes, que encontram-se desobstruídos e que apresentam funcionamento adequado;
- verificar se existem pingadeiras na parte inferior das bordas das lajes em balanço, e avaliar se elas apresentam funcionamento adequado, evitando-se assim manchas de umidade na parte inferior da laje e na face lateral da viga;
- verificar se existe declividade transversal no pavimento de modo a permitir a condução da água para os drenos e evitar represamento sobre a pista;
- verificar, no caso de pavimentação asfáltica, a sua regularidade e a existência de ondulações e desgastes;
- verificar ou registrar o posicionamento e as dimensões de buracos na pavimentação, que produzem infiltrações e impactos indesejáveis na estrutura;
- verificar, no caso de pavimentação de concreto, a existência de fissuras, desagregações do concreto e ruptura localizadas;

- verificar, no caso de pavimentação de concreto, se foram previstas juntas de dilatação regularmente espaçadas, e se as mesmas encontram-se preenchidas com material elástico para impedir a infiltração da água.

6) Aspectos relativos a obras metálicas:

- verificar se existem fissuras nas diversas peças do tabuleiro e, em caso afirmativo, mapeá-las;
- verificar se existe processo de corrosão instalado, procurando avaliar o grau e o comprometimento das peças afetadas;
- verificar se existem imperfeições geométricas nas peças estruturais, tais como: dobramentos, empenamentos, flambagem, amassamentos, etc;
- verificar se existem deformações excessivas na estrutura;
- verificar se os contraventos estão funcionando adequadamente, impedindo instabilidades e deformações nas peças por eles contraventadas;
- verificar, nas ligações soldadas, a uniformidade do cordão de solda e a presença de fissuras no mesmo ou próximo a ele;
- caso haja suspeita sobre a qualidade das ligações soldadas, executar teste do líquido penetrante nas mesmas;
- verificar, no caso de ligações aparafusadas, se existe processo de corrosão instalado nos parafusos, porcas, contra-porcas, arruelas, etc;
- verificar, no caso de ligações aparafusadas, se o aperto dos parafusos está conferindo rigidez suficiente para evitar vibrações excessivas quando da passagem de veículos.

Para maiores detalhes, bem como para os modelos de formulários a serem utilizados nas inspeções, indica-se as seguintes normas técnicas e regulamentações:

- NBR 9452 – Agosto/1986 – Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto;
- DNER\_PRO 123/87 – Fevereiro de 1987 – Inspeções e Vistorias em Pontes e Viadutos de Concreto armado e Protendido – Norma Rodoviária;

- DER – Outubro/1990 – Manual Técnico – Sistema de Cadastramento Técnico de Obras de Arte Especiais – Inspeção de Pontes e Viadutos;
- ATEP 1992 – H.P.7-92 – Manual Técnico – Recomendações para a Conservação de Pontes Protendidas;
- AASHTO 1994 – Manual for Condition Evaluation of Bridges;
- AASHTO 1993 – Guidelines for Bridge Management Systems;
- Norma DNIT 010/2002- PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (BRASIL, 2002).

#### 4.3 COMPARATIVO DE INSPEÇÕES EM PONTES REALIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ

Maidana (2002), realizou um estudo de caso que consistiu na comparação de duas inspeções rotineiras realizadas em 29 (vinte e nove) pontes rodoviárias de concreto armado e protendido do Estado do Paraná. Este estudo se baseou na comparação das inspeções realizadas pelo Departamento de Estradas e Rodagens do Paraná (DERPR), sendo a primeira no ano de 1989 e a segunda no ano de 1999.

As conclusões apontadas por Maidana foram as seguintes:

1. Dados incompletos quanto ao tipo de material: fundação (96%), encontros (70,5%).
2. Dados incompletos quanto algum tipo de elemento: fundação (93%), vigas (52%) e aparelhos de apoio (38%).
3. Diminuição da qualidade da inspeção: laje do tabuleiro (69%) e vigas (66%).
4. Tendência em piorar a aparência externa do elemento: laje do tabuleiro (31%), vigas (14%) e transversinas (14%).
5. Aparição de novas anomalias ou falhas: em torno de 10% nas vigas, transversinas, tabuleiro, pontos de apoio, pilares e encontros.
6. Elementos que mantiveram as anomalias ou aumentaram as mesmas: tabuleiro (38%), vigas (24%), transversinas e aparelhos de apoio (10%).

7. Incoerências no desaparecimento de anomalias: vigas e aparelhos de apoio (21%), transversinas (14%).

O estudo realizado por Maidana (2002) não teve como objetivo determinar as causas das patologias, mas sim em apontar as falhas diagnosticadas nas inspeções.

Cabe ressaltar que os aspectos abordados referentes as inspeções servem como base na busca de dados necessários para o real conhecimento da situação em que se encontram as pontes, bem como fornecer diretrizes para os procedimentos subseqüentes para a elaboração de projetos e procedimentos para a execução de recuperações necessárias em obras de arte rodoviárias.



## 5 MÉTODO DE PESQUISA

### 5.1 CONTEXTO

O presente capítulo apresenta o método de pesquisa, iniciando pela caracterização do problema, a explicação do método de pesquisa utilizado, a estratégia de análise e os procedimentos adotados para a validação dos resultados.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

É de suma importância que os engenheiros conheçam os diversos agentes e mecanismos que influenciam na redução da vida útil prevista para as obras de arte de engenharia, pois, a partir destes conhecimentos, devem ser tomadas decisões e considerados procedimentos para a recuperação com êxito destas obras.

Segundo Jairo Campos, a patologia das estruturas já se constitui em um novo ramo do conhecimento estrutural e encontra-se em grande desenvolvimento pela conscientização da importância da durabilidade das construções, englobando desta forma o estudo das formas de manifestação, das causas e dos efeitos das “doenças” ou defeitos estruturais.

A recuperação de patologias ocorridas em pontes e viadutos, além dos fatores referentes ao conhecimento de suas origens, causas e conseqüências, pode ser aprimorada se estiver atrelada a um conjunto de procedimentos estabelecidos em projeto, através de critérios definidos e através do conhecimento empírico de especialistas que estão além dos previstos em normas técnicas pertinentes ao tema em questão.

O levantamento de conhecimento junto a especialistas já é uma prática razoavelmente dominada no campo da Tecnologia da Informação e Comunicação (GIUBLIN, 2002). No caso desta pesquisa o propósito foi de estruturar uma primeira proposta de diretrizes, a qual poderá ser aprimorada em pesquisas subseqüentes, com o intuito de responder a questão: Quais são os critérios que podem aperfeiçoar

o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários?

### 5.3 MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO

A busca de conhecimento junto a profissionais atuantes nas áreas de projetos de obras de arte de engenharia e recuperação de patologias estruturais, somadas à revisão bibliográfica existente sobre o assunto em questão, nortearam o desenvolvimento da presente pesquisa.

Tendo em vista a necessidade de captação de conhecimento junto a um grupo de especialistas, aliada à necessidade de buscar diretrizes consensuais, optou-se por adotar o *Método Delphi* como principal instrumento de realização desta pesquisa (GIUBLIN, 2002).

### 5.4 MÉTODO DELPHI

O *Método Delphi*, resultado de estudos realizados pela *RAND Corporation* na Califórnia, EUA, iniciados em 1944, foi utilizado inicialmente como instrumento de previsão qualitativa, cuja área de aplicação mais freqüente foi a de previsões tecnológicas (MASSAUD, 2002).

O *Método Delphi* pretende extrair e maximizar as vantagens que apresentam os métodos baseados em grupos de especialistas e minimizar os seus inconvenientes. Para isso se aproveita a sinergia do debate em grupo evitando-se as interações sociais indesejáveis que existem dentro do próprio grupo. Desta forma, almeja-se obter um consenso o mais fiel possível do grupo de especialistas.

Este método possui três características fundamentais:

- Anonimato: durante o método, nenhum especialista conhece a identidade dos demais que compõe o grupo de debate. O anonimato gera os seguintes aspectos positivos:

- impede a possibilidade de que um integrante do grupo seja influenciado pela reputação de um outro membro, bem como de se opor a maioria. A única influência possível está na congruência dos argumentos;
- permite que um membro possa trocar suas opiniões sem que isso possa interferir na sua imagem e posição social;
- o especialista pode defender seus argumentos com tranqüilidade, pois em casos de erros e equívocos, os demais componentes do grupo de debate não saberão quem o fez.
- Interação e realimentação controlada: a interação se consegue ao se apresentar várias vezes o mesmo questionário. Assim que vão se apresentando os resultados obtidos com os questionários anteriores, consegue-se que os especialistas acabem conhecendo quais são os pontos de vista distintos e possam ir modificando sua opinião, verificando quais são os argumentos apresentados mais apropriados.
- Respostas do grupo sob forma estatística: a informação apresentada pelos especialistas não é somente o ponto de vista da maioria, mas sim um entendimento sobre o tema comum a todos.

A realização do Método *Delphi* possui uma terminologia própria, na qual se inclui:

- Circulação/Rodadas: cada um dos sucessivos questionários apresentado ao grupo de especialistas;
- Questionário: é o documento encaminhado aos especialistas. Não é somente um documento que contém uma lista de perguntas, mas sim o documento de interação com os especialistas.
- Painel: conjunto de especialistas integrantes do Método.
- Moderador: função do pesquisador neste processo, sendo a pessoa responsável em recolher e analisar as respostas do painel e preparar os questionários.

Antes de início da realização do Método *Delphi*, deve ser realizado uma série de tarefas prévias, como por exemplo:

- Delimitar o contexto e o horizonte temporal em que se deseja realizar a previsão sobre o tema em estudo.

- Selecionar os especialistas e conseguir um compromisso de colaboração. As pessoas escolhidas devem ser grandes conhecedores sobre o tema de estudo.
- Explicar aos especialistas escolhidos no que consiste o Método. Com isso pretende-se conseguir a obtenção de informações confiáveis, pois os especialistas irão conhecer em todo momento qual é o objetivo de cada uma das fases que a metodologia utilizada requer.

## 5.5 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DOS ESPECIALISTAS

Apesar do montante significativo de obras de arte em concreto armado e protendido existentes no país que necessitam de Reforços Estruturais, esta dissertação limitar-se-á ao Estado do Paraná.

Nesta pesquisa será somente realizada consulta a especialistas residentes no Município de Curitiba, com apresentação de estudos de caso ocorridos no Estado do Paraná.

A população de especialistas em projetos estruturais de obras de arte rodoviárias em concreto armado e protendido é pequena quando comparada a outras especialidades/áreas da Engenharia Civil. Sendo assim, o grupo de especialistas que foi utilizado nesta pesquisa (5) foi considerado amostra suficiente para os propósitos desta dissertação.

## 5.6 NÚMERO DE RODADAS REALIZADAS

A definição do montante de rodadas a serem desenvolvidas no presente trabalho, dependia da obtenção de um nível de consenso aceitável para o propósito da pesquisa (GIUBLIN, 2002). Neste trabalho foi realizada somente uma rodada do Método Delphi, face ao alcance de consenso das respostas dos cinco especialistas consultados, em cerca de 97% dos itens investigados.

O questionário desenvolvido teve a sua formulação baseada nos:

- Estudos de Caso do projeto e execução de reforço estrutural e alargamento dos Viadutos São João e Tigrinho. Estes estudos encontram-se apresentados no capítulo 8 desta pesquisa,e;
- Principais normas e manuais técnicos regulamentados e utilizados em obras de arte de engenharia no Brasil, integrantes do acervo documental técnico-normativo do DNIT/DNER e da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, referentes às etapas de concepção, desenvolvimento e execução de projetos pontes e viadutos, bem como nos procedimento a serem adotados para a realização de inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

## 5.7 QUESTIONAMENTOS AOS ESPECIALISTAS

O questionário encaminhado aos especialistas, o qual engloba dez perguntas, apresentou o seguinte conteúdo:

1. Quais as principais causas/motivos que tem levado a necessidade de execução de reforços estruturais em obras de arte de engenharia – pontes e viadutos.
2. Na sua experiência profissional, quais são as patologias mais freqüentemente encontradas nas pontes e viadutos rodoviários, no que se refere a:
  - infraestrutura;
  - mesoestrutura;
  - superestrutura.
3. Quais são as normas, especificações, recomendações técnicas e balizamento utilizados para a execução de reforços estruturais em pontes de concreto armado e protendido.
4. Para reciclagem de obras de arte de engenharia que englobam acréscimo de largura, recuperação de patologias, alteração dos carregamentos normatizados (NBR 7188 e NBR 7189), quais os enfoques / critérios mais relevantes que deverão ser abordados a partir dos carregamentos atuais, futuros e novas solicitações acidentais no que se refere a:

- Esforços de utilização – serviço;
  - Dimensionamento de estado limite ultimo – verificações de tensões, ruptura.
5. Qual a seqüência de atividades a serem adotadas para a realização de re-analise de projetos e obra de arte de engenharia que necessitam intervenções de reforço estrutural.
  6. Caso ocorra a inexistência do projeto estrutural inicial, quais são os procedimentos usualmente tomados para a análise da situação em que se encontra a estrutura, bem como os procedimentos a serem adotados para a elaboração de projetos de reforço estrutural.
  7. Quais os critérios a serem obedecidos nas interfaces entre a estrutura existente e a nova estrutura de concreto armado e/ou protendido (reforço) no que se refere a retração e deformação lenta.
  8. Na sua experiência profissional, quais são as soluções mais usuais no que se refere a utilização de protensão para a execução de reforços estruturais de obras de arte de engenharia – pontes e viadutos.
  9. Quais são as recomendações para o aumento de impermeabilização para a proteção de elementos estruturais contra agentes localizados em meio agressivo (exemplos: meio marítimo, lajes sujeitas a vazamentos de óleo/graxa, outros agentes químicos derramados sobre a estrutura).
  10. Até que ponto as limitações executivas devidas ao trafego, localização das patologias e dos equipamentos a serem empregados na execução dos reforços estruturais necessários influenciam e direcionam a solução de projeto a ser tomada.

## 6 RESULTADOS E ANÁLISE

### 6.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos das respostas do questionário fornecida pelos cinco especialistas consultados, através da aplicação do Método Delphi, sendo estas as diretrizes para a obtenção de critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no Estado do Paraná, conforme estabelecido nos objetivos desta pesquisa.

### 6.2 PRINCIPAIS CAUSAS/MOTIVOS QUE TEM LEVADO A NECESSIDADE DE EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS EM OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA – PONTES E VIADUTOS

Os reforços estruturais em pontes e viadutos têm sido necessários por diversas razões entre as quais as mais importantes são:

#### **Alargamento de Pontes:**

O alargamento do tabuleiro altera a distribuição transversal das cargas móveis sobrecarregando as vigas longitudinais.

#### **Aumento da Capacidade de Carga das Pontes**

A necessidade do aumento da capacidade de carga das pontes ocorre normalmente em duas situações:

1. Em pontes antigas que foram projetadas para cargas móveis inferiores às prescrições atuais.
2. Em pontes que são utilizadas para circulação de cargas excepcionais, normalmente equipamentos para usinas hidrelétricas.

### **Erros de Projeto e/ou Execução:**

Várias obras apresentam problemas durante sua utilização, problemas estes causados por erros de projeto e/ou execução, não tendo capacidade de resistir aos carregamentos previstos quando de sua concepção.

Tais problemas são muito freqüentes e entre eles podemos citar:

**Pontes curtas:** As obras muito curtas, muitas vezes, apresentam problemas de erosão nas encostas e/ou pilares extremos, expondo as fundações e comprometendo os aterros.

**Falta de gabarito vertical em pontes e viadutos:** As estruturas podem ser atingidas pelas enchentes, no caso de pontes, e por veículos, nos viadutos.

Neste caso, muitas vezes, o concreto e as armaduras inferiores das vigas são danificados.

**Falha de projeto e/ou execução das fundações:** ocasionando recalques ou expondo estacas, geram esforços não previstos originalmente.

**Erros de dimensionamento de esforços e armaduras:**

Esforços “mal avaliados” como, por exemplo:

- modelo matemático de análise não compatível com o real comportamento da estrutura.
- escolha de elementos estruturais principais e/ou secundários incompatíveis com o funcionamento da estrutura.
- especificação inapropriada de materiais, com características de resistência e durabilidade inadequadas.
- cargas permanentes e acidentais insuficientemente quantificadas.
- carregamentos acidentais excepcionais com valores maiores que os adotados em projeto de acordo com as normas então vigentes.
- esforços hiperestáticos causados por deformação lenta, variações térmicas ao longo dos elementos e principalmente as variações diferenciais nas seções transversais como a incidência não uniforme de raios solares .
- dimensionamento com quantitativos de armaduras limítrofes com envoltórias mal avaliadas, elementos considerados isolados quando na verdade pertencem a um conjunto, como exemplo lajes dos passeios nas



pontes que se apresentam fissuradas transversalmente à ponte na maioria esmagadora das obras do tipo.

- armaduras mal colocadas, com cavaletes e outros como, por exemplo, em transversinas que exigem principalmente armaduras horizontais bem ancoradas.
- desobediência ao conceito de armaduras mínimas necessárias inclusive normalizadas. O concreto quando armado pressupõe composição mínima de aço com concreto.
- fadiga do aço em consequência da variação de tensão.

Erros de concretagem: oxidação de armaduras por falta de cobertura das armaduras e “bicheiras” que comprometem a qualidade da obra e permitem o ataque e corrosão do aço, reduzindo a vida útil da obra, bem como sua capacidade de carga a médio prazo. Outro ponto a ser abordado é quanto a desconsideração inclusive do meio ambiente que pode ser mais ou menos agressivo.

#### **Ausência ou Inadequada Manutenção.**

### 6.3 PATOLOGIAS MAIS FREQUENTEMENTE ENCONTRADAS NAS PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS

#### **Infraestrutura**

- Erosão sob as fundações diretas assentadas em cotas superficiais, como, por exemplo, sobre arenito bastante distribuído/encontrado na configuração geológica do Estado do Paraná e constatadas em obras/pontes na PR 151, na Rodovia do Café e na BR-277 (Serra da Esperança).
- Rochas como basalto fissurado que desprendem fragmentos pela ação contínua da corrente e acabam descalçando as fundações.
- Recalques diferenciais causados ou por reações mal avaliadas ou por implantações indevidas em solos não igualmente resistentes.
- Deterioração de estacas por falta de proteção principalmente nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade como, por exemplo, entre as cotas de variação de maré e/ou enchentes.

- Fundações em pilares de cabeceira de pontes sujeitas a ações horizontais intensas de empuxo que chegam a deslocá-las, rompendo inclusive elementos estruturais causando danos a toda estrutura.
- Deslocamentos horizontais de camadas de terreno com baixa resistência devido a cargas de aterro das cabeceiras que deslocam as estacas horizontalmente quando mal dimensionadas.
- Recalques de estacas pré-moldadas causadas por emendas mal projetadas e por deficiência de concretagem em estacas moldadas no local, defeitos estes que irão aparecer apenas posteriormente com os carregamentos.
- Corrosão das armaduras na face inferior de blocos de fundação, por falta de cobrimento. As armaduras, quando da concretagem, são apoiadas nas formas de fundo, ficando expostas ou com pequeno cobrimento.
- Corrosão em armaduras de estacas, fuste de tubulões, blocos de fundação e pilares e encontros por falta de cobrimento do aço.

**Mesoestrutura:**

- Ações de cisalhamento causadas por insuficiência de seções e por esforços não previstos.
- Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.
- Ausência de estribos em largos espaços que podem ocasionar até flambagem das barras com rompimento do concreto.
- Falta de costura nas regiões de emendas das barras, excesso de armaduras concentradas e deficiências de concretagem e aderência.
- Danos causados pelo impacto de materiais carregados pelos cursos d'água.
- Fissuras causadas por esforços hiperestáticos não previstos nas zonas de engastamentos elásticos entre os diversos elementos tanto da infra quanto da superestrutura, como também os oriundos dos recalques de fundação.

**Superestrutura:**

- a) Lajes de passeio fissuradas transversalmente à obra.

- b) Fissuras de cisalhamento devido a não consideração inclusive de esforços combinados como força cortante, torção e flexão vertical de engastamento elástico das lajes.
- c) Fissuras de retração localizadas, devido ausência de armadura adequada de pele.
- d) Fissuras nos cantos das lajes causadas pelas flexões características destas regiões.
- e) Fissuras transversais inferiores nas vigas caixão causadas por ações hiperestáticas de protensão, de deformação lenta, de variação térmica diferencial que chegam a ultrapassar os esforços causados pelas cargas acidentais de utilização.
- f) Rompimento dos guarda corpos, modelos antigos que não tinham função e/ou não foram dimensionados para resistir impactos horizontais ocasionados por colisões de veículos sobre estes.
- g) Fissuras nas longarinas hiperestáticas causadas por recalques nos apoios.
- h) Oxidação de armaduras devido à insuficiência de cobrimentos e a defeitos de concretagem.
- i) Colapsos nos aparelhos de apoio, por ações horizontais, por falta de manutenção, por defeito de qualidade do material empregado, etc.
- j) Juntas de dilatação deterioradas ou inexistentes.
- k) Pavimentos irregulares, placas descoladas.
- l) Sistemas de Drenagem obstruídos pela deposição de detritos e pavimentos com inclinações inadequadas para a vazão das águas pluviais.

#### 6.4 RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E BALIZAMENTO UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

É indispensável a realização de inspeções locais para o conhecimento dos eventuais problemas com análise prévia como se fora um pré-estudo para avaliar

possíveis soluções inclusive e principalmente construtivas para a recuperação das patologias.

Medir os elementos estruturais nos casos de ausência do projeto original para recompor pelo menos os desenhos de forma da estrutura para posterior cálculo de esforços. Deverão ser utilizados equipamentos óticos a laser para a realização de levantamentos nos casos de difíceis acessos, como também aparelhos óticos de aproximação para observações de possíveis defeitos, fissuras, etc.

Deverá ser observado nos locais das obras, conveniências técnicas e construtivas para ampliações simétricas ou não a fim de contribuir para a melhor solução técnica e econômica em cada intervenção.

Deve-se ter sempre em mente que no caso dos reforços, as cargas permanentes já atuam sobre a estrutura original.

No caso de reforço por aumento de seção e acréscimos de armaduras, o peso próprio destes materiais, dos andaimes e das estruturas provisórias vão somar-se às cargas permanentes durante a execução da obra.

O reforço, quando entrar em serviço, não atuará sobre cargas permanentes e, portanto, deverá, normalmente, trabalhar com tensões mais baixas já que quando o reforço atingir uma tensão  $\sigma_m$  a estrutura original adjacente poderá trabalhar a uma tensão substancialmente superior, ou seja:  $\sigma_T = \sigma_m + \sigma_g$ , onde:  $\sigma_g$  é a tensão devida a carga permanente mais parte do peso do reforço.

Nas obras reforçadas por protensão, o reforço pode, e deve absorver parte da carga permanente.

Nos reforços protendidos, um ponto delicado é a proteção das cordoalhas especialmente nas ancoragens e mudanças de direção já que o aço das cordoalhas é muito suscetível à corrosão.

Outro ponto importante a se levar em conta é que, usualmente, o tráfego sobre a obra não é interrompido durante os trabalhos de reforço e que as fases intermediárias do reforço, muitas vezes, exigem a execução de serviços que diminuem, momentaneamente, a segurança da obra. Assim, o projeto deve levar em conta todas as fases intermediárias de serviço já que durante a execução do reforço alguns trechos da estrutura estarão submetidos a picos de esforços.

As limitações devidas ao tráfego, patologias e dos equipamentos a serem empregados na execução da obra são, e devem ser, normalmente, os fatores

condicionantes na definição do projeto, pois nem sempre a solução mais conveniente, rápida e econômica no ponto de vista restrito da obra, pode ser adotada. O custo final dos serviços, englobando também o custo da manutenção diluído ao longo da vida útil da obra, será ditado diretamente pela solução adotada.

As patologias são geralmente menos condicionantes já que, podem ser corrigidas antes da execução do reforço, lembrando-se, no entanto, que estas podem ser indicativas de problemas de concepção e/o execução da obra e devem ter suas causas investigadas.

Devemos lembrar que a circulação de veículos, mesmo restrita, causa tensões, deformações e vibrações que devem ser levadas em conta na verificação de cada fase da execução da obra.

Desta forma o projetista necessariamente deverá adotar soluções compatíveis com este fato com previsão de todo o universo de ocorrências. A seqüência construtiva, as variações de carregamentos, os equipamentos a utilizar, as proteções contra acidentes, cuidados quanto aos volumes de cortes e furos simultâneos na estrutura, as recomendações quanto às emendas de concretagem, a preservação de dimensões mínimas para a preservação da integridade da obra durante a construção simultânea com a utilização é de suma importância para o projeto e construção.

Quanto aos equipamentos, dois fatores devem ser levados em conta:

- suas dimensões e espaço necessário para seu funcionamento e
- seu peso

Já que estes podem ser condicionantes em um projeto.

Nos casos de obras reforçadas por protensão outra recomendação técnica importante é que as protensões sejam executadas de forma gradual e gradativa de modo a não introduzir cargas intempestivas à estrutura. O procedimento usual é executar as protensões em quatro ou cinco etapas.

## 6.5 ENFOQUES E CRITÉRIOS MAIS RELEVANTES QUE DEVERÃO SER ABORDADOS EM OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA SUBMETIDAS A ACRÉSCIMO DE LARGURA, RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS, ALTERAÇÃO DOS CARREGAMENTOS NORMATIZADOS

Para a adaptação de pontes a novas necessidades de tráfego, distinguem-se as seguintes possibilidades:

- a) ampliação de passeios com manutenção da pista de rolamento;
- b) ampliação da pista de rolamento ocupando a área dos passeios, ou deslocando lateralmente os passeios ampliando assim a largura do tabuleiro;
- c) alteração do trem-tipo para uma classe superior, ou carregamentos excepcionais “off road”.

No primeiro caso, em algumas situações à exceção das estruturas dos passeios, não haverá necessidade de reforços estruturais.

No segundo caso, a probabilidade de reforços é grande, tanto na estrutura principal como nos elementos estruturais secundários, e raramente na meso e infraestrutura.

O terceiro caso é aleatório pois as cargas móveis de cálculo, previstas e fixadas nas normas, não coincidem com as cargas reais que circulam nas estradas brasileiras. Por outro lado, principalmente nas pontes projetadas antes da era da informática, os modelos de cálculo eram bastante simplistas, deixando de lado o comportamento global e tridimensional da estrutura.

O aspecto fundamental no ponto de vista técnico e econômico é o conhecimento do estado atual da estrutura, suas dimensões, seções, resistências, estado de integridade, fissurações, tipos de aço empregado e suas quantidades e disposições nas seções principais, etc.

O conhecimento da estrutura é mais importante que a classe ou norma vigente quando de seu projeto original, uma vez que não há igualdade entre projetos mesmo que sujeitos às mesmas normas.

Uma vez conhecida a obra, sua capacidade portante, etc, são definidas as novas dimensões e os novos esforços inclusive considerando as normas a serem

atendidas no projeto de reciclagem, havendo a possibilidade de alguns elementos estruturais serem mantidos sem sofrer alterações e/ou intervenções.

O dimensionamento conduzirá a necessidade de reforços em outras seções, onde os esforços de utilização, serviço, em última análise, orientarão os passos e medidas a serem adotados. O projetista deverá julgar os coeficientes de segurança existentes e os mínimos necessários uma vez que já analisou a capacidade portante atual.

A verificação de tensões nestes casos é apenas informativa para a realização da pesquisa das armaduras existentes quanto a resistência as trações e os níveis de compressão atingidos em relação aos obtidos nos ensaios de corpos de prova extraídos da própria obra.

As tensões são em geral calculadas com as características geométricas no estádio I para seções não fissuradas, daí serem informação, principalmente convivendo com parte da estrutura já existente a ser acoplada à ampliações, a capacidade portante na ruptura fornece maior garantia de estabilidade, inclusive abrindo o leque de julgamento e aceitação por parte do próprio projetista.

O dimensionamento no estado limite último é fundamental e indispensável. Na verificação das tensões e de ruptura de elementos estruturais é muito importante levar-se em conta que a estrutura original já sofreu deformações e está submetida a tensões devidas ao peso próprio mais parte ou totalidade do peso do reforço, e que o reforço, na maioria dos casos, vai atuar somente para a ação das cargas móveis, variações de temperatura, etc.

Outro ponto a ser abordado é quanto aos seguintes Esforços de utilização:

- Fissuração excessiva:

A verificação da abertura de fissuras deve englobar todas as fases de execução bem como a situação final.

- Vibrações:

A limitação das vibrações na obra é muito importante na fase executiva, principalmente durante as etapas de concretagem e protensões.

Durante a concretagem e cura inicial das concretagens de reforço, as vibrações podem ser extremamente prejudiciais à qualidade do concreto.

Nas protensões, especialmente quando os pontos de ancoragem situam-se em áreas sujeitas a vibrações e deslocamentos, o funcionamento dos macacos e a eficiência de cravação das ancoragens podem ser prejudicadas.

Nestes casos, muitas vezes, medidas de restrição de velocidade e/ou interrupção de tráfego são necessárias quando da execução dos serviços.

## 6.6 SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES A SEREM ADOTADAS PARA A REALIZAÇÃO DE RE-ANÁLISE DE PROJETOS E OBRA DE ARTE DE ENGENHARIA QUE NECESSITAM INTERVENÇÕES DE REFORÇO ESTRUTURAL

A seqüência de atividades na realização de projetos de reforço estrutural pode ser:

### **Pesquisa da existência ou não de projeto original:**

- Analisar como a estrutura foi inicialmente concebida.

### **Inspeção de campo:**

- Verificação do estado de conservação da obra.
- Levantamento de anomalias.
- Levantamento de dimensões da obra no caso de não existir projeto original ou conferência do projeto existente com as reais dimensões da obra.
- Retirada de corpos de prova, normalmente com  $\varnothing 4"$ , para avaliação da resistência real do concreto.
- Pesquisa de armaduras e seu cobrimento com abertura de ranhuras e "janelas".
- Pesquisa das fundações.

### **Análise estrutural da obra para a nova geometria e/ou carregamento.**

### **Definição da solução de reforço:**

Neste item temos duas situações possíveis:

- Adoção de reforço por aumento de seções e acréscimo de armaduras sem alteração do sistema estrutural original com conseqüente diminuição de tensões máximas e deformações.



- Reforço com alteração do sistema estrutural original por protensão, introdução de novos apoios, transformação em viga armada, etc.

É importante destacar que nesta fase o processo executivo deve ser levado em conta na análise da viabilidade da solução (temos constatado que certos projetos, ainda que tecnicamente viáveis em sua situação final, apresentam restrições de carga e/ou dificuldades técnicas nas fases intermediárias que tornam sua execução inviável).

### **Cálculo estrutural da solução adotada**

Nesta fase deverão ser estudadas não só a situação final de cada obra concluída, mas, também, as fases intermediárias de execução (que muitas vezes são as críticas).

- Verificar a disponibilidade de equipamentos, mão de obra e técnicas para a realização dos serviços de recuperação e reforço;
- escolher os modelos matemáticos de cálculo que melhor se adaptam ao comportamento da estrutura como um todo, ou a cada elemento estrutural em particular;
- definir corretamente as ações permanentes e acidentais que irão solicitar a estrutura ou elemento estrutural;
- especificar materiais e técnicas adequadas ao reforço ou recuperação a ser realizado;
- calcular os esforços solicitantes, tensões, deformações, bem como verificar os estados limites de utilização de fissuração e fadiga;
- providenciar um detalhamento correto, simples e preciso de todos os serviços a serem realizados.

## **6.7 INEXISTÊNCIA DO PROJETO ESTRUTURAL INICIAL - QUAIS SÃO OS PROCEDIMENTOS USUALMENTE TOMADOS PARA A ANÁLISE DA SITUAÇÃO EM QUE SE ENCONTRA A ESTRUTURA**

Qualquer que seja a situação, é imprescindível a inspeção acurada da obra por profissional habilitado e competente, com especialização em estruturas e

experiência profissional no projeto, análise e implantação de pontes, auxiliado, se for o caso, por técnicos de nível médio.

A existência de projeto, principalmente quando acompanhado de “as built”, facilita e reduz bastante o tempo e custo dos projetos de reforço e/ou reabilitação das pontes.

Como na nossa sociedade não se leva a sério a importância da história e de arquivos, é freqüente a ausência de projeto.

Neste caso, procede-se a um levantamento cadastral metuculoso da obra, aproveitando-se para se anotar possíveis aspectos patológicos. Dependendo do porte do empreendimento, deverão ser empregados equipamentos de inspeção e detecção de armaduras e os graus de oxidação destas.

Na ausência de tais facilidades e equipamentos, a inspeção visual deverá ser apoiada por um mínimo de equipamento fotográfico e ótico.

Neste caso, duas soluções são adotadas:

Reconstituição do projeto original no campo com levantamento das dimensões da obra e verificação das armaduras mediante utilização de equipamentos eletrônicos de determinação de armaduras e/ou abertura de ranhuras e “janelas” nos diversos elementos estruturais.

Esta alternativa exige, normalmente, a montagem de andaimes e plataformas de trabalho e pode ser bastante onerosa.

Levantamentos no campo das dimensões dos elementos estruturais sem determinação das armaduras. Neste caso a ponte é calculada para as cargas móveis e Normas Técnicas vigentes na época de sua construção determinando-se as armaduras que deveriam ser utilizadas.

Estas armaduras, ou uma área reduzida (em 10% ou 20%) delas, são adotadas como as armaduras existentes calculando-se o reforço a partir desta situação.

É óbvio que durante os levantamentos de campo serão observados defeitos e/ou patologias que possam indicar falta de armadura ou mau posicionamento destas.

É conveniente, em ambos os casos, a retirada de corpos de prova para avaliar a resistência do concreto.

Para a determinação ou previsão das quantidades de armaduras existentes, pode ser adotada a técnica da reversão.

A técnica da reversão consiste em se re-analisar a estrutura conforme inicialmente concebida e construída. Os esforços solicitantes permanentes são calculados levando-se em conta as dimensões inicialmente previstas, e os esforços acidentais são determinados utilizando-se o carregamento móvel previsto pelas normas e regulamentações em vigor na época em que a ponte foi projetada. Para a determinação desses esforços solicitantes são empregados preferencialmente os mesmos métodos de análise disponíveis na época.

As taxas de armaduras nos diferentes elementos estruturais são determinadas utilizando-se as características mecânicas dos materiais então empregados, e de acordo com as técnicas de dimensionamento e detalhamento da época. Em função da experiência do profissional e o maior ou menor grau de confiabilidade quanto aos materiais, métodos e carregamentos empregados por ocasião do projeto inicial, adota-se uma porcentagem das taxas de armaduras calculadas por este método como sendo a eventualmente existente no elemento estrutural em estudo.

#### 6.8 CRITÉRIOS A SEREM OBEDECIDOS NAS INTERFACES ENTRE A ESTRUTURA EXISTENTE E A NOVA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E/OU PROTENDIDO NO QUE SE REFERE A RETRAÇÃO E DEFORMAÇÃO LENTA

Deve-se obedecer às boas técnicas recomendadas para o preparo da superfície de concreto. O concreto danificado deverá ser totalmente removido e a superfície deverá ter uma rugosidade tal que a aderência com o material de reparo seja garantida. Todo o material solto, bem como oxidação das armaduras, material de baixa resistência ou mal aderido, restos de pintura, ou qualquer outra substância que venha a se interpor entre o substrato e o material de reparo, prejudicando assim a aderência, deve ser removido da superfície antes do lançamento do material de reparo, com ausência total de impurezas que venham inibir a aderência entre o novo e antigo concreto, apicoamento das superfícies quando não forem suficientemente

rugosas, umedecer as partes existentes a fim de que não absorvam parcela d'água do novo concreto.

A aderência pode ser aprimorada com a adoção de chumbadores fixados a base de epóxi que irão servir inclusive para transmissão de esforços.

Quanto à retração é necessário programar as áreas e volumes a serem concretados para melhor distribuir as fissuras de retração reduzindo suas dimensões.

Nos casos de cintamentos de longarinas, por exemplo as armaduras de pele adotadas são suficientes para minimizar os efeitos de retração.

Por outro lado, paredes de concreto sobre grandes blocos já concretados, necessitam de armações específicas para resistir os esforços de tração gerados pela retração sob pena de surgirem fissuras de grandes dimensões. As forças são definidas pela teoria das estruturas a partir de reduções térmicas equivalentes e a lei de Hooke.

Nos casos de envoltimentos de elementos existentes com grandes dimensões pode-se adotar expansores de cura para evitar separações entre os concretos novo e existente causados pelas reduções de volume devido à retração.

Quanto à deformação lenta os cuidados construtivos de conexão entre o novo e o existente são idênticos aos anteriores.

Os cuidados com a deformação lenta são importantes em estruturas hiperestáticas com a geometria variando com as seções de reforços introduzidas e as deformações passam a ser função do módulo de deformação estabilizado existente, o módulo de deformação imediato do concreto novo e sua evolução de acordo com a fluência do concreto. Os esforços, portanto terão parcela de redistribuição com o tempo e devem ser determinados.

## 6.9 SOLUÇÕES MAIS USUAIS NO QUE SE REFERE A UTILIZAÇÃO DE PROTENSÃO PARA A EXECUÇÃO DE REFORÇOS ESTRUTURAIS DE OBRAS DE ARTE DE ENGENHARIA – PONTES E VIADUTOS

Pode-se afirmar que existem três faixas de utilização do concreto armado e ou protendido. Existem elementos estruturais onde sem dúvida e mais conveniente,

prático e econômico o uso de concreto armado e/ou concreto protendido, cabendo ao projetista realizar estudos técnicos e econômicos nos casos onde existam dúvidas para esta ou aquela solução.

A protensão externa é, muitas vezes, uma maneira simples e prática de se realizar o reforço ou recuperação de elementos estruturais. A protensão externa, por exemplo, é altamente conveniente à flexão principalmente quando as seções existentes são suficientes para o cisalhamento.

Nesta forma de protensão, os cabos podem apresentar comprimentos praticamente sem limites e os desvios quando necessários são obtidos facilmente por blocos ou outros mecanismos mecânicos, com grande vantagem de não aumentar o peso próprio da estrutura. Nas situações em que se faz necessário o acréscimo de seção aos cortantes os cabos podem ser projetados como se fossem semi extremos com aderência em cordões de proteção das bainhas.

Entre outros, podemos citar os seguintes casos em que a protensão externa é bastante vantajosa:

- redução de fissuração excessiva através da introdução de um estado de compressão;
- redução ou eliminação de deformações excessivas;
- aumento da rigidez transversal;
- aumento da capacidade resistente da estrutura ou de elementos estruturais individuais;
- redistribuição de esforços ao longo da estrutura;
- promoção da conexão entre elementos pré-fabricados.

Em reforços de pontes, com tráfego sem interrupções, os cintamentos em concreto armado convencional podem ser mais convenientes.

É habitual projetar-se reforço com solução mista de protensão para ações permanentes e parcela dos acidentais o que também é um limitador de deformações e o restante da armação em aço convencional em função do necessário para o estado limite último.

### 6.9.1 Reforço por Protensão – Materiais Empregados:

O reforço por protensão utiliza, normalmente, três materiais:

- Barras rígidas de aço de alta resistência.
- Cordoalhas engraxadas e encapadas em aço de alta resistência.
- Cordoalhas nuas em aço de alta resistência.

#### **Barras rígidas:**

As barras rígidas são do tipo Dywidag e encontradas no Brasil com diâmetros de  $\varnothing$  16 mm e  $\varnothing$  32 mm.

São muito utilizadas com barras retas e têm como vantagem o fato de suas ancoragens serem bastante simples, já que são ancoradas por porcas, apresentando as barras ranhuras que funcionam como rosca.

As emendas são realizadas com luvas metálicas.

#### **Cordoalhas engraxadas e encapadas**

Sua utilização tem crescido muito nos últimos tempos. São encontradas em aço CP-190-RB, nos diâmetros de  $\varnothing$  5/8" e  $\varnothing$  1/2".

Apresenta como vantagem a proteção contra as intempéries e agentes agressivos fornecida pela capa.

Cuidados especiais devem ser tomados quando do corte e remoção de bainhas de proteção nas extremidades, já que se cortada muito curta será esmagada pela ancoragem durante a protensão e se cortada muito longa deixará um trecho da cordoalha, junto à ancoragem, desencapada e desprotegida.

Uma desvantagem desta cordoalha é que sua incorporação à estrutura original ao longo da obra é difícil e as forças de protensão atuam permanentemente nas ancoragens.

Estas ancoragens deverão ser projetadas e executadas com muito cuidado já que as vibrações e deformações decorrentes da utilização da ponte podem ocasionar o "escorregamento" do cabo com conseqüente perda de protensão.

#### **Cordoalhas nuas**

Muito utilizadas nos diâmetros de  $\varnothing$  1/2" e  $\varnothing$  5/8" com aço CP 190-RB.

Apresentam a vantagem de serem facilmente incorporadas à estrutura original ao longo da obra. Para tanto, são colocados "grampos" em forma de U ao

longo dos cabos, instalada armadura de pele e executada “vigüeta” com argamassa de concreto adicionada com produto de alto poder impermeabilizante ou argamassa tipo “grout”.

Tem como vantagem o fato de, ao ser incorporado ao longo da estrutura, aliviar as ancoragens, eliminando o risco de “escorregamento” das cordoalhas.

### **Ancoragens**

Dois tipos de ancoragens são usualmente empregadas:

Ancoragens metálicas: são as mais usuais e são fixadas ao concreto por chumbadores metálicos e/ou barras passantes de aço. Normalmente é aplicada na interface aço-concreto cola epoxídica que, além de promover a aderência entre a ancoragem e o concreto, regulariza a superfície e permite o perfeito contato na interface.

Ancoragens em concreto: semelhantes às ancoragens utilizadas em obras novas e fixadas ao concreto velho por conectores e barras de aço.

## **6.10 RECOMENDAÇÕES PARA O AUMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS CONTRA AGENTES LOCALIZADOS EM MEIO AGRESSIVO**

Para uma proteção efetiva de elementos estruturais em contato com agentes agressivos, podemos citar as seguintes recomendações:

- dimensionamento e detalhamento adequado dos elementos estruturais;
- especificação de concreto adequado para as condições de agressividade existentes, inclusive o fator água/cimento, consumo mínimo de cimento e características de permeabilidade;
- utilização de espessuras de cobrimento das armaduras compatíveis com as condições de agressividade do meio ambiente;
- adensamento e cura adequada do concreto;
- execução de uma superfície/interface de impermeabilização entre o elemento estrutural e a pavimentação;
- proteção da superfície através de camadas de revestimento ou pinturas de proteção ou de impermeabilização, caso necessário.

Para melhorar a impermeabilização adotam-se, via de regra, as seguintes medidas:

- Mínimo de 400 kgf/m<sup>3</sup> de cimento para o concreto.
- Adição de micro-sílica no concreto, acompanhada de fluidificante para melhorar a trabalhabilidade do concreto.
- Adoção de cobrimento mínimo de 4 cm para as armaduras.
- Proteção das armaduras com tinta rica em zinco.

Uma das maiores alterações da nova NBR-6118/2003 foi a introdução de maiores cobrimentos relativamente aos então vigentes, o controle de fissuração com fixação de tensões nas armaduras para limitar aberturas, a qualidade e resistência dos concretos, possibilitando assim conforme a finalidade e o ambiente em que for construída a obra serão adotados os cobrimentos, tensões, resistências necessárias.

Nos casos de pilares, blocos, sujeitos a impactos de corpos em suspensão arrastados por correntezas deve-se prever formas, proteções e cobrimentos para evitar danos estruturais. Deve-se lembrar também que a inclinação do pavimento para a vazão das águas é sempre desejável para a proteção estrutural.

## 6.11 EMBASAMENTO TEÓRICO

As normas e especificações utilizadas no cálculo de reforços estruturais apontadas pelos especialistas são em grande parte as mesmas utilizadas para cálculo de obras novas, sendo estas:

1. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 5 – Protective systems against hazards. 1999.
2. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 9 – Guidance for good bridge design. July, 2000.
3. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 14 – Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. March, 2001.
4. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 15 – Durability of post tensioning tendons. November, 2001.
5. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 17 – Management, maintenance and strengthening of concrete structures. April, 2002.



6. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 22 – Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. March, 2003.
7. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 24 – Seismic assesement and retrofit of reinforced concrete buildings. May, 2003.
8. Fédération Internationale du Béton (FIB). Bulletin 3 – Structure concrete, vol. 3, cap. 8. December, 1999.
9. PFEIL, W. Manual de inspeção de pontes rodoviárias. DNER/IPR. 1980.
10. CARDOSO, J. L.; REGO, M. J. Roteiro para vistoria de obras de arte. Revista Estrutura, n. 103, 1983.
11. ABNT. NBR 9452:1986 – Vistoria de pontes e viadutos de concreto.
12. ABNT. NBR 6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto.
13. ABNT. NBR 5674:1999 – Manutenção de edificações.
14. ABNT. NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações.
15. ABNT. NBR 8681: 2003 – Ações e segurança nas estruturas.
16. ABNT. NBR 9062:2001 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.
17. ABNT. NBR 14931:2003 – Execução de estruturas de concreto.
18. ABNT. NBR 7187:2003 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido.
19. DNER/IPR. Inspeções de pontes e viadutos de concreto armado e protendido. PRO-123/88.
20. GHEUR, W. P. Metodologia para avaliação da resistência e recuperação de OAE. 1990.
21. BRINCKERHOFF, P. Bridge inspection and rehabilitation. J. Wiley. 1992.
22. FIB. Repair and strengthening of concrete structures. Thomas Telford. 1991.
23. CUNHA, A. J. R. e outros. Acidentes estruturais na construção civil. 2 vols. Pini. 1998/2001.
24. SOUZA, V. C. M. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. Pini. 1998.
25. VERÇOZA, E. J. Patologia das edificações. 1991.
26. FERNANDEZ CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto armado. Pini. 1988.
27. BLÉVOT, J. Pathologie des constructions en béton armé. Eyrolles. 1975.

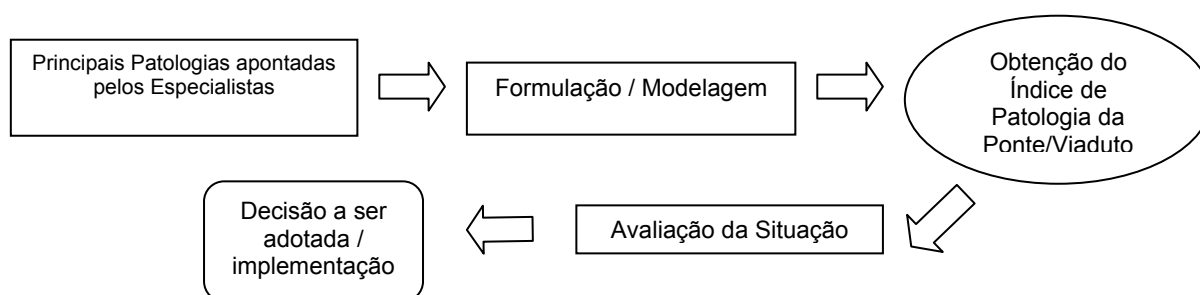
28. HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Pini. 1992.
29. SCHECHY, C. Accidents de fondations. DUNOT. 1966.
30. RUSSO, C. Lesiones de los edificios. SALVAT. 1951.
31. UFRGS. Patologia das edificações – prevenção e recuperação. 1989.
32. HELENE, P. R. Corrosão em armaduras para concreto armado. Pini. 1986.
33. PIMENTEL, C. D. Considerações sobre recuperação de estruturas. Ibracon. 1986.
34. BAUER, F. Estruturas de concreto – patologia. Ibracon. 1986.
35. LE COLLAGE structural et le reinforcement par résines de la construction. Annales ITBTP. 1978.
36. BRESSON, J. Nouvelles recherches et applications concernant l'utilisation des collages dans les structures Beton Plaque. Annales ITBTP. 1971.
37. BUFFARA, V. Inspeção ferroviária – bueiros, pontes, viadutos. DAST-UFPR. 1971.
38. WAICHEL, B. e Costa, W. Recuperação estrutural do viaduto Obirici. Porto Alegre. EPT.
39. LICHTENSTEIN, N. Patologia das construções. Boletim Técnico, EPUSP. 1986.
40. SILVA, P. F. Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. Pini. 1995.
41. BICZÓK, I. La corrosion del hormigon y su proteccion. Ed. Urmo. 1972.
42. SILVA, V. P. Estruturas de aço em situação de incêndio. Ed. Zigurate. 2001.
43. RELATÓRIO: recuperação emergencial da ponte Colombo Machado Salles – Florianópolis, SC. TEC. 2003.
44. GHEUR, W. Considerações sobre carga de serviço nas pontes rodoviárias brasileiras. Projeth. 2002.

## 7 PATOLOGIAS - PARAMETRIZAÇÃO ATRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO

O objetivo deste capítulo é apresentar uma proposta de parametrização através de modelo matemático visando estabelecer critérios que possam aperfeiçoar o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários. A base para a realização deste modelo foram os resultados obtidos na aplicação do Método Delphi junto aos especialistas e a correspondente análise destes resultados.

A simulação mediante modelos matemáticos permite a análise do comportamento ou respostas de diferentes configurações possíveis ante uma variedade de patologias ocorridas em pontes e viadutos. Seu intuito é poder alcançar desta forma soluções tendentes ao ótimo dentro do planejamento, desenvolvimento de projetos e execução de soluções estruturais necessárias face às patologias diagnosticadas.

Para formular matematicamente um problema, por vezes complexo, é necessário começar através de uma representação - a mais simples possível - tendo sempre em mente que a simplificação do modelo deverá corresponder à realidade, de tal forma que as soluções e diagnósticos obtidos através do modelo matemático proposto possam realmente ser aplicadas na prática.



**FIGURA 3 – SIMPLIFICAÇÃO MODELO MATEMÁTICO**

O Modelo proposto apresenta as patologias divididas em sete grandes itens/áreas chamadas de *Fatores de Patologia*, sendo que a divisão foi realizada em

função das respostas apresentadas pelos especialistas consultados e de acordo com a área de abrangência e de influência destas sobre os elementos estruturais que compõem as pontes e viadutos. Para cada fator de patologia foi atribuído um coeficiente de importância/peso em relação aos demais fatores.

Na maioria dos casos, cada fator de patologia foi dividido em subfatores, face às características pertinentes e situações possíveis de serem encontrados em cada grande item. Dentro de cada um dos sete fatores de patologia, foi atribuído um coeficiente de importância/peso para cada um dos subfatores integrantes destes.

Ressalta-se que os coeficientes atribuídos para os fatores e subfatores de patologia foram arbitrados de maneira expedita. Sugere-se que tanto estes coeficientes quanto o modelo proposto sejam objeto de estudos futuros, no intuito de aprimorá-los e/ou consolidá-los. Este aprimoramento pode repetir-se até o momento em que o modelo desenvolvido e as suas soluções representem, o mais fielmente possível, a complexidade das patologias em estudo, e que as soluções implementadas satisfaçam integralmente aos objetivos traçados.

Outro item importante do modelo proposto diz respeito à avaliação a que cada subfator de patologia diagnosticado deverá ser submetido, no intuito de subsidiar parâmetros visando à obtenção do *Índice Parcial de Patologia* para cada *Fator de Patologia*. O somatório destes *Índices Parciais de Patologia* resultará no ***Índice de Patologia*** da ponte ou do viaduto analisado: resultados obtidos próximos ao número 1 (um) indicam que a situação é satisfatória; no caso oposto (índices próximos a zero) a situação é crítica.

O Modelo Matemático proposto apresenta o seguinte formulário:

$$IP = \sum_{i=1}^7 IPP_i \quad , \text{ onde} \quad \mathbf{1}$$

$IP$  = índice de patologia da ponte ou viaduto;

$i$  = número de fatores de patologia, onde  $i=1, \dots, NF$ , com

$NF$  = número de fatores de patologia (valor igual a 7 no nosso exemplo);

$IPP_i$  = índice parcial de patologia, dado por

$$IPP_i = \sum_{j=1}^{NF} \gamma_{FP_j} \cdot FP_j \quad , \text{ onde}$$

$\gamma_{FP_i}$  = coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) para cada  $FP_i$ , sendo que

$$\sum_{i=1}^{NF} \gamma_{FP_i} = 1$$

$FP_i$  = fator de patologia  $i$ , dado por

$$FP_i = \sum_{j=1}^{NSFi} \alpha_{i,j} \cdot SF_{i,j}, \quad \text{onde}$$

$NSFi$  = número de sub-fatores de patologia para cada  $i$ , com  $j=1 \dots NSFi$ , onde  $j$  é o número do sub-fator de patologia;

$SFi,j$  = sub-fator de patologia do sub-item  $j$  (variando entre 0 e 1), sendo os extremos  $SFi,j = 0$  para a situação crítica e  $SFi,j = 1$  para a situação ideal;

= coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) de cada sub-fator  $j$  para cada

fator  $i$ , sendo que  $\sum_{j=1}^{NSFi} \alpha_{i,j} = 1$

A partir do exposto, a equação 1 fica assim representada:

$$IP = \sum_{i=1}^{NF} [\gamma_{FP_i} \left( \sum_{j=1}^{NSFi} \alpha_{i,j} \cdot SF_{i,j} \right)]$$

As diretrizes para a parametrização proposta, abaixo representada base para a realização deste modelo, foram os resultados obtidos na aplicação do Método Delphi junto aos especialistas.

### QUADRO 1 - PARAMETRIZAÇÃO

nº de fatores de patologia	fator de patologia	$\gamma_{FPi}$ = coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) para cada	Subfatores de patologia	nº sub fatores patologia	Coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) de cada sub-fator j para cada fator i
i				j	$a_{i,j}$
1	Quanto a Forma	0,10	Alargamento de pontes	1	0,40
			Pontes curtas	2	0,40
			Falta de gabarito vertical	3	0,20
			$Sa_{1,j} =$		1,00
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,10	cargas móveis inferiores às prescrições atuais.	1	0,60
			circulação de cargas excepcionais	2	0,40
			$Sa_{1,j} =$		1,00
3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05		1	1,00
			$Sa_{1,j} =$		1,00
4	Erros de dimensionamento de esforços e armaduras	0,20	modelo matemático de análise não compatível com o real comportamento da estrutura.	1	0,10
			elementos estruturais principais e/ou secundários incompatíveis com o funcionamento da estrutura	2	0,15
			especificação inapropriada de materiais, com características de resistência e durabilidade inadequadas.	3	0,05
			Cargas permanentes e acidentais insuficientemente quantificadas.	4	0,10
			Carregamentos acidentais excepcionais com valores maiores que os adotados em projeto de acordo com as normas então vigentes.	5	0,10
			Esforços hiperestáticos causados por deformação lenta, variações térmicas ao longo dos elementos e principalmente as variações diferenciais	6	0,10
			Dimensionamento com quantitativos de armaduras limitrofes com envoltórias mal avaliadas	7	0,10
			Armaduras mal colocadas/dispostas	8	0,05
			Desobediência ao conceito de armaduras mínimas necessárias inclusive normalizadas	9	0,15
			Fadiga do aço em consequência da variação de tensão.	10	0,10
$Sa_{1,j} =$		1,00			

continua

nº de fatores de patologia	fator de patologia	$\gamma_{FPI}$ = coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) para cada	Sub fatores de patologia		nº sub fatores patologia	coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) de cada sub-fator j para cada fator i
i	$g_i$				j	$a_{i,j}$
5	Infraestrutura	0,20	erosão e/ou fragmentação de rochas	Erosão sob as fundações diretas assentadas em cotas superficiais. (exemplo: sobre arenito)	1	0,10
				Rochas como basalto fissurado que desprendem fragmentos pela ação contínua da corrente e acabam descalçando as fundações	2	0,10
			recalques	diferenciais causados ou por reações mal avaliadas ou por implantações indevidas em solos não igualmente resistentes	3	0,15
				de estacas pré-moldadas causadas por emendas mal projetadas e por deficiência de concretagem em estacas moldadas no local	4	0,10
			erros de concretagem	Deterioração de estacas por falta de proteção principalmente nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade	5	0,10
				Corrosão das armaduras na face inferior de blocos de fundação, de estacas, fuste de tubulões, blocos de fundação e pilares e encontros por falta de cobrimento de armaduras.	6	0,15
			cabeceiras de pontes	Deslocamentos horizontais de camadas de terreno com baixa resistência devido a cargas de aterro das cabeceiras que deslocam as estacas horizontalmente quando mal dimensionadas	7	0,10
				Fundações em pilares de cabeceira de pontes sujeitas a ações horizontais intensas de empuxo que chegam a deslocá-las, rompendo inclusive elementos estruturais causando danos a toda estrutura.	8	0,20
					$\sum a_{i,j} =$	1,00

continua

nº de fatores de patologia	fator de patologia	$\gamma_{FPI}$ = coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) para cada	Sub fatores de patologia		nº sub fatores patologia	coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) de cada sub-fator j para cada fator i
i	g <sub>i</sub>				j	a <sub>i,j</sub>
6	Mesoestrutura	0,10	esforços	ações causadas por insuficiência de seções e por esforços não previstos.	1	0,15
				Ausência de estribos em largos espaços que podem ocasionar até flambagem das barras com rompimento do concreto.	2	0,15
			armaduras	Falta de costura nas regiões de emendas das barras, excesso de armaduras concentradas	3	0,15
				Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	4	0,10
			erros de concretagem	deficiências de concretagem e aderência.	5	0,05
			fissuras	Fissuras causadas por esforços hiperestáticos não previstos nas zonas de engastamentos elásticos entre os diversos elementos tanto da infra quanto da superestrutura, como também os oriundos dos recalques de fundação.	6	0,15
			impacto de materiais	Danos causados pelo impacto de materiais carregados pelos cursos d'água.	7	0,25
					Sa <sub>1,j</sub> =	1,00
i	g <sub>i</sub>				j	a <sub>i,j</sub>
7	Superestrutura	0,25	fissuras	Lajes de passeio fissuradas transversalmente à obra.	1	0,05
				de cisalhamento devido a não consideração inclusive de esforços combinados como força cortante, torção e flexão vertical de engastamento elástico das lajes.	2	0,10
				de retração localizadas, devido ausência de armadura adequada de pele.	3	0,05
				nos cantos das lajes causadas pelas flexões características destas regiões.	4	0,05

continua



nº de fatores de patologia	fator de patologia	$\gamma_{FPi}$ = coeficiente de influência (variando entre 0 e 1) para cada	Sub fatores de patologia		nº sub fatores patologia	conclusão
						Coefficiente de influência (variando entre 0 e 1) de cada sub-fator j para cada fator i
7	Superestrutura	0,25	fissuras	transversais inferiores nas vigas caixão causadas por ações hiperestáticas de protensão, de deformação lenta, de variação térmica diferencial que chegam a ultrapassar os esforços causados pelas cargas acidentais de utilização.	5	0,10
				nas longarinas hiperestáticas causadas por recalques nos apoios.	6	0,10
			revestimentos	Pavimentos irregulares, placas descoladas	7	0,10
			Sistemas de Drenagem	obstruídos pela deposição de detritos e pavimentos com inclinações inadequadas para a vazão das águas pluviais.	8	0,10
			guarda corpos	Rompimento, modelos antigos que não tinham função e/ou não foram dimensionados para resistir impactos horizontais ocasionados por colisões de veículos sobre estes.	9	0,05
			aparelhos de apoio	colapso por ações horizontais, por falta de manutenção, por defeito de qualidade do material empregado.	10	0,10
			Juntas de dilatação	deterioradas ou inexistentes	11	0,05
			erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras. deficiências de concretagem e aderência.	12 13	0,05 0,10
					$\sum a_{i,j} =$	1,00

Fonte: O autor (2004).

No modelo proposto a obtenção do índice de patologia IP deverá estar enquadrada nas condições abaixo descritas, sendo que este critério de avaliação adotado, está baseado no que consta do *Coding Guide Bridge Inspection Reporting System*, conforme descreve a Norma DNIT 010/2002- PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (BRASIL, 2002).

## QUADRO 2 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ADOTADOS PARA ÍNDICE DE PATOLOGIA

<i>IP</i> = índice de patologia da ponte ou viaduto	Descrição	Situação/Comentário
1	Estado excelente	Ponte ideal
0,9	Muito bom estado	Nenhum problema observado
0,8	Bom estado	Alguns problemas de pouca importância
0,7	Estado Satisfatório	Alguns elementos estruturais apresentam início de deterioração
0,6	Estado Razoável	Todos os elementos principais estão em boas condições, mas podem estar com pequenas perdas de seção e desagregação, apresentar fissuras, erosões, etc.
0,5	Mau Estado	Perda pronunciada, deterioração, desagregação
0,4	Estado Sério	Componentes estruturais afetados seriamente
0,3	Estado Crítico	Deterioração avançada dos elementos estruturais, presença de trincas. A menos que a ponte seja permanentemente monitorada, pode ser nesta situação interromper o tráfego, até que medidas corretivas tenham sido adotadas.
0,2	Estado de colapso iminente	Forte deterioração ou perda de seção em componentes estruturais primários ou sensíveis movimentações, vertical e horizontal, afetando a estabilidade da estrutura. A ponte já deverá estar interdita ao tráfego, mas medidas corretivas podem, ainda colocar a obra em serviço para cargas menores e limitadas
0	Estado de falência	Ponte fora de serviço e praticamente irre recuperável.

Fonte: O autor (2004).

### 7.1 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Visando a obtenção de índices que possam mensurar o grau de comprometimento estrutural face às patologias encontradas para o estabelecimento de critérios que possam aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários, o modelo proposto foi aplicado, nos estudos de caso apresentados no capítulo 9, sendo estes os viadutos sobre os rios Tigrinho e São João, localizados na Serra da Esperança, BR 277 entre os quilômetros 305 e 306, Estado do Paraná.

A aplicação do modelo proposto resultou nos seguintes dados:

**TABELA 1 – APLICAÇÃO MODELO PROPOSTO VIADUTO SÃO JOÃO**

nº de fatores de patologia		Situação Ideal		Viaduto São João		
		índice parcial de patologia		índice parcial de patologia resultado	situação real - diagnóstico	
i	FPi	IPPideal	% ideal	IPPsãojoão	% (IPPsãojoão/IPPideal)	devasagem diferença ( % ideal-% IPPideal- IPPsãojoão)
1	Quanto a Forma	0,1	100,00%	0	0,00%	100,00%
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,1	100,00%	0,034	34,00%	66,00%
3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05	100,00%	0	0,00%	100,00%
4	Erros de dimensionamento de esforços e armaduras	0,2	100,00%	0,111	55,50%	44,50%
5	Infraestrutura	0,2	100,00%	0,021	10,50%	89,50%
6	Mesoestrutura	0,1	100,00%	0,0425	42,50%	57,50%
7	Superestrutura	0,25	100,00%	0,04875	19,50%	80,50%
<b>IP = índice de patologia da ponte ou viaduto</b>		<b>1,000</b>	100,00%	<b>0,257</b>	25,73%	74,28%

Fonte: O autor (2004).

TABELA 2 – APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO VIADUTO TIGRINHO

nº de fatores de patologia fator de patologia		Situação Ideal		Viaduto Tigrinho		
		índice parcial de patologia		índice parcial de patologia resultado	situação real - diagnostico	
i	FPi	IPPideal	%ideal	IPPtigrinho	% (IPPtigrinho/IPPideal)	devasagem diferença (%ideal-% IPPideal-IPPsão)
1	Quanto a Forma	0,1	100,00%	0	0,00%	100,00%
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,1	100,00%	0,034	34,00%	66,00%
3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05	100,00%	0	0,00%	100,00%
4	Erros de dimensionamento de esforços e amaduras	0,2	100,00%	0,11	55,00%	45,00%
5	Infraestrutura	0,2	100,00%	0,071	35,50%	64,50%
6	Mesoestrutura	0,1	100,00%	0,0575	57,50%	42,50%
7	Superestrutura	0,25	100,00%	0,07375	29,50%	70,50%
<b>IP = índice de patologia da ponte ou viaduto</b>		<b>1,000</b>	100,00%	<b>0,346</b>	34,63%	65,38%

Fonte: O autor (2004).

Conforme resultados encontrados e critérios de avaliação propostos, verificamos que estes viadutos antes das intervenções realizadas referentes à execução do projeto de reforço e alargamento dos mesmos, se encontravam nos seguintes Estados:

- O Viaduto São João apresenta um IP igual a 0,257, encontrava-se em Estado de Colapso Iminente.
- O Viaduto Tigrinho apresenta um IP igual a 0,346, encontrava-se em Estado Critico.

As planilhas contendo o detalhamento da parametrização e do modelo matemático aplicado nestes viadutos se encontram nos anexos desta pesquisa.

## 7.2 OBSERVAÇÕES

Sugere-se que o Modelo Matemático proposto com seus respectivos coeficientes sejam objeto de estudos futuros, no intuito de aprimorá-los e/ou consolidá-los. Este aprimoramento deverá ser realizado através da utilização deste modelo em outras pontes e viadutos, repetindo-se a aplicação até o momento em que o modelo desenvolvido e as suas soluções representem, o mais fielmente possível, a complexidade das patologias em estudo, e que as soluções implementadas satisfaçam integralmente aos objetivos traçados.

Deverá ser abordado com cautela e se possível realizar estudos específicos para os projetos referentes a alargamento de pontes e viadutos, uma vez que em função da solução estrutural proposta para a realização deste acréscimo de dimensionamento e da aferição das condições da ponte a ser remodelada/alargada através da realização de inspeções e demais procedimentos necessários, é possível verificar situações em que:

- apesar das interferências previstas oriundas do novo dimensionamento a ponte existente a ser remodelada não apresenta patologias significativas que venham comprometer a estabilidade estrutural integral da ponte como um todo, contemplando inclusive a sua ampliação.

## 8 ESTUDO DE CASO - VIADUTOS SÃO JOÃO E TIGRINHO

### 8.1 INTRODUÇÃO

O projeto de reforço e alargamento dos Viadutos São João e Tigrinho, foi baseado em carregamento segundo as Normas Brasileiras com trem tipo classe 45, ou seja veículo com carga total de 45 tf e carga de multidão de 500 kgf/m<sup>2</sup>.

Na verificação estrutural efetuada foi estimada a armadura existente na estrutura original, visto a inexistência dos referidos projetos para os Viadutos São João e Tigrinho e ainda a existência de protensão externa e reforço em concreto armado executado em 1976, para suportar o carregamento especial proveniente de veículos que transitaram durante a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

### 8.2 LOCALIZAÇÃO DOS VIADUTOS

Os viadutos sobre os rios Tigrinho e São João, na Serra da Esperança, ligam diretamente os Municípios de Prudentópolis e Guarapuava e atendem ao corredor do Mercosul, por estarem em um trecho que liga o Porto de Paranaguá à Argentina e Paraguai. Estão localizados na BR 277 entre os quilômetros 305 e 306 em uma região de relevo irregular e grande sinuosidade.

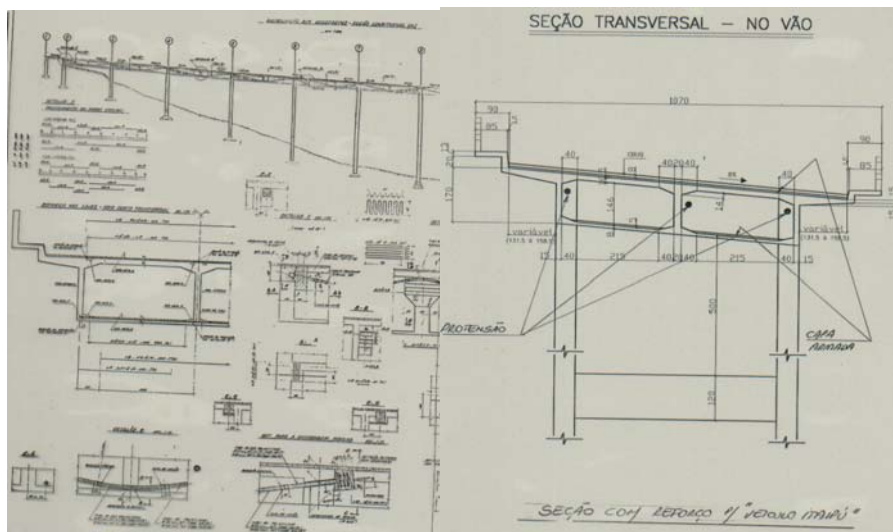
A responsável pelo trecho onde estes viadutos estão localizados e a Concessionária Caminhos do Paraná, que administra o lote 04 do Anel de Integração do Paraná composto pela BR 277, BR 373 e PR 438, a que corresponde a 322 quilômetros.



**FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO**

### 8.3 HISTÓRICO DA OBRA

- Década de 50: elaboração dos projetos estruturais originais com pista de 8,80 metros com passeios laterais de 90 cm.
- 1976: realização de reforço estrutural com protensão externa nas longarinas e transversinas e execução de capeamento das lajes para suportar o carregamento especial proveniente de veículos que transitaram durante a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu.



**FIGURA 5 - REFORÇO ESTRUTURAL COM PROTENSÃO EXTERNA NAS LONGARINAS E TRANSVERSINAS DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO PROVENIENTE DE VEÍCULOS QUE TRANSITARAM DURANTE A CONSTRUÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU**

- A partir de 1977: monitoramento da obra indicando a necessidade de reforço estrutural.
- Década de 80: execução de novo capeamento na laje da pista.
- 1995: execução de projeto de reforço e alargamento para largura total de 14,00 metros com balanços laterais de 3,80 metros, não construídos.
- 2000: Elaboração e execução de projeto e obras de reforço e alargamento dos Viadutos São João e Tigrinho para 10,90 metros de largura.

#### 8.4 DESCRIÇÃO DA OBRA – CARACTERÍSTICAS ORIGINAIS

- Viadutos em curva e em rampa.
- Comprimento total de 152 metros no Viaduto Tigrinho e de 203 metros no Viaduto São João.
- Vãos livres de 13,50; 15,00 e 17,00 metros.
- Estruturas hiperestática – pórticos.



- A seção transversal possuía uma largura de 8,80 metros de pista de rolamento e dois passeios laterais com largura de 95 cm totalizando uma largura total de 10,70 metros.

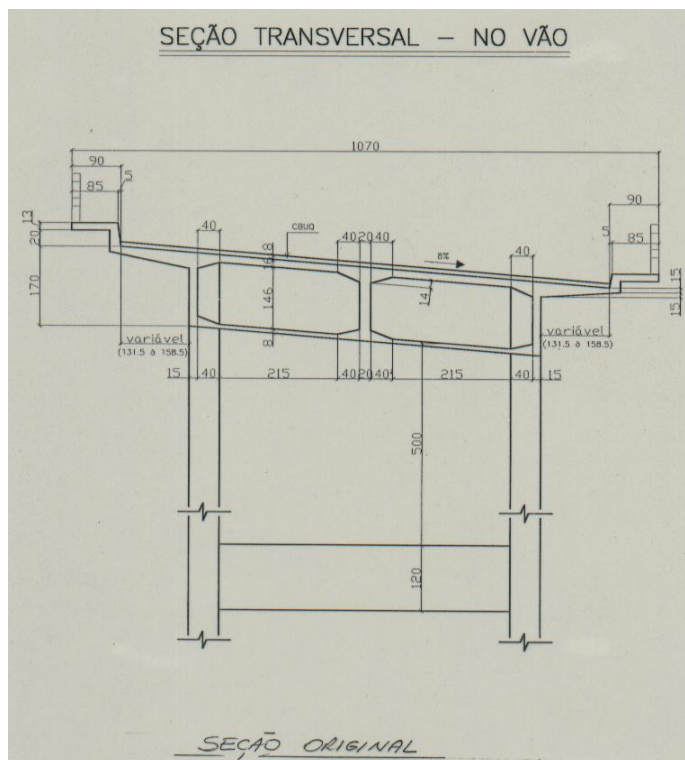


FIGURA 6 - SEÇÃO TRANSVERSAL ORIGINAL NO VÃO DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO

- Seção transversal em caixão com três longarinas.
- Uma junta central (GERBER) e encontros nas extremidades.
- Pilares com seção transversal de 60 x 60 a 90 x 90 cm<sup>2</sup>, com alturas variando entre 10 e 23 metros, ligados por vigas travessas.
- Fundação em sapatas (fundação rasa) assentada sobre rocha e/ou alteração de rocha.
- Laje da pista apresentava originalmente uma espessura de 16,00 cm na sua parte central. Espessuras variando entre 15,00 a 30,00 cm nos balanços.
- Laje inferior do caixão com espessura de 8,00 cm, com mísulas laterais.

- Por ocasião do reforço protendido efetuado na obra, foi executado um capeamento na laje da pista e na laje inferior do caixão, com espessura de 5,00 cm, além da protensão externa nas longarinas.
- Existia na obra um segundo capeamento na laje da pista com espessura de 7,00 cm sem armadura, que foi executado posteriormente ao primeiro capeamento. Este capeamento secundário sem armadura não estava perfeitamente aderido à estrutura existente, e se encontrava completamente solto e fragmentado em diversos pontos - portanto sem qualquer contribuição no acréscimo de resistência à estrutura.
- Presença de fissuras na laje da pista nas regiões onde foram executadas aberturas para acesso às células por ocasião do reforço em protensão das longarinas. Estas aberturas foram posteriormente fechadas com deficiência, o que causou o aparecimento de fissuras nestes locais.
- Projeto elaborado e executado com carregamento segundo as Normas Brasileiras com trem tipo classe 24, ou seja, veículo com carga total de 24 tf.



**FIGURA 7 - VISTA GERAL DOS VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO ANTES DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL E ALARGAMENTO DAS PISTAS**

## 8.5 VERIFICAÇÕES “IN LOCO”

Com o objetivo de verificar dimensões e armaduras existentes nos viadutos foram efetuadas aberturas na laje da pista na região do balanço e do vão.

Estas aberturas quantificaram principalmente as bitolas e espaçamentos das armaduras existentes na laje das pistas.

## 8.6 PATOLOGIAS ENCONTRADAS/DIAGNOSTICADAS

- Fissuras nas lajes e longarinas.
- Movimentação das juntas.
- Fissuras em vigas traves.
- Falhas de concretagem no topo dos pilares.
- Recalque no pilar P50 no viaduto São João.
- Rachaduras no encontro no viaduto São João.



**FIGURA 8 - FOTO PATOLOGIA LIGAÇÃO PILAR CAIXÃO**



**FIGURA 9 - FOTO RACHADURAS NOS ENCONTROS**



**FIGURA 10 - FOTO FALHAS DE CONCRETAGEM**



**FIGURA 11 - FOTO ARMADURAS EXPOSTAS NOS PILARES**



**FIGURA 12 - FOTO VISTA INFERIOR DAS JUNTAS GERBER**



**FIGURA 13 - FOTO FISSURAS NAS TRAVESSAS**

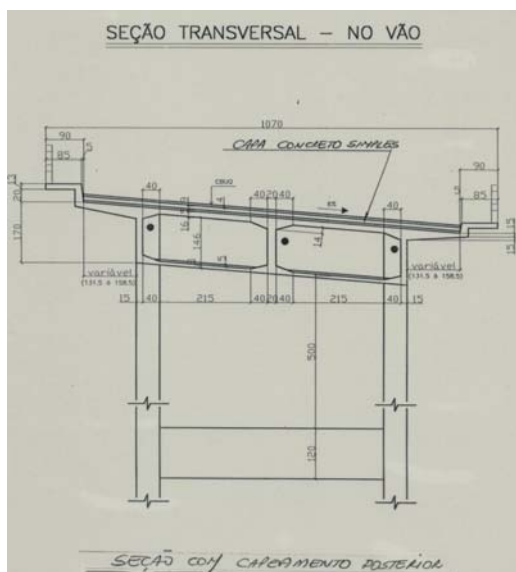
## 8.7 NOVA SEÇÃO TRANSVERSAL

A nova seção transversal visou não somente a recuperação estrutural mas promover uma maior segurança e conforto aos usuários da rodovia.

A nova seção transversal proposta apresenta sua largura total aumentada para 10,90 metros, a qual é constituída por duas pistas de rolamento com 3,50 metros de largura cada, um acostamento com 2,50 metros, uma faixa de segurança lateral de 60,00 cm, além de duas defensas com 40 cm de largura. Esta nova seção transversal provocou um acréscimo considerável no balanço da laje da pista.

O projeto de reforço e alargamento dos Viadutos São João e Tigrinho foi baseado em carregamento segundo a classe 45 da NBR 7188, ou seja, veículo com carga total de 45 tf e carga de multidão de 500 kgf/m<sup>2</sup>.





**FIGURA 14 - FOTO SEÇÃO TRANSVERSAL ATUAL COM CAPEAMENTO POSTERIOR NO VÃO VIADUTOS TIGRINHO E SÃO JOÃO**

## 8.8 VERIFICAÇÕES EFETUADAS

Em uma primeira etapa procurou-se reconstituir a situação inicial do projeto determinando os esforços para os quais o mesmo foi projetado, ou seja, a seção transversal original com carregamento móvel classe 24 (veículo de 24 tf). Esta etapa fez com que se estimasse as armaduras longitudinais e transversais das longarinas necessárias à determinação dos reforços necessários.

Na segunda etapa foram determinados os esforços oriundos da protensão externa executada na longarinas por ocasião do tráfego dos veículos que transportavam peças para a Usina Hidrelétrica de Itaipu. As longarinas foram, nesta ocasião, protendidas com cabos constituídos de 12 cordoalhas de 12,70 polegada poligonais ancorados nas extremidades dos diversos vãos e desviados na parte inferior das transversinas de vãos.

Nos estudos realizados foram verificados a eficiência destes cabos, pois eles apresentaram capacidade de suporte de veículo com carga total de 45 tf localizado no centro de cada vão. No cálculo da contribuição deste reforço na estrutura dos viadutos foi considerado uma perda de protensão na ordem de 20%.

Na última etapa foi então considerada a nova seção transversal com os novos carregamentos e determinados os novos esforços atuantes.

Da análise destes novos esforços e das armaduras de protensão existentes conclui-se que a estrutura se comportava de um modo aceitável no que diz respeito às longarinas.

Com relação às lajes das pistas foi constatada a deficiência no suporte do carregamento móvel previsto, sendo necessário a execução de reforço das mesmas.

Os balanços laterais da seção transversal que foram ampliados possuíam deficiência de armadura inferior no sentido longitudinal da obra, conforme constatação “in loco” das trincas generalizadas presentes nesta área. Este defeito foi corrigido durante a execução do acréscimo dos balanços e da execução das defensas laterais que foram parcialmente utilizadas como vigas longitudinais convenientemente armadas para absorver estes esforços anteriormente desprezados.

## 8.9 REFORÇOS NA LAJE DA PISTA

Na análise dos reforços da laje da pista (entre as longarinas) verificou-se a insuficiência de armadura para resistir aos esforços de tração existentes. Nesta verificação foi desprezada integralmente o capeamento de 7,00 cm existente.

A solução adotada no projeto teve como princípio básico a menor interrupção do tráfego sobre os viadutos, e foi realizada através da execução de novas transversinas no intuito de provocar redução das dimensões dos painéis da laje das pistas.

Projetou-se vigas metálicas igualmente espaçadas em número de duas entre as transversinas existentes, resultando em painéis de lajes com largura de aproximadamente 2,80 metros que conduzem a esforços compatíveis com as armaduras existentes.

As vigas metálicas, projetadas com 300 mm de altura foram apoiadas nas longarinas através de perfis metálicos verticais convenientemente chumbados nas longarinas. Para a confecção das vigas metálicas foi empregado aço não corrossivo, sendo que estas vigas resultaram em um acréscimo mínimo no peso próprio da

superestrutura dos viadutos resultando em uma composição estrutural mista com mesa de concreto de alma de aço.

As vigas metálicas foram providas de uma armadura fixada na sua mesa superior. Esta armadura se encontra localizada entre a mesa superior da viga metálica e a face inferior da laje da pista, de modo a solidarizar estas duas peças. O enchimento do espaço entre as vigas metálicas e a laje foi executado com argamassa expansiva injetada.

Foram colocados um montante total de 176 vigas metálicas, sendo que no Viaduto Tigrinho foram utilizadas 76 vigas e no Viaduto São João 100 vigas. Cabe ressaltar que em função da geometria dos caixões dos Viadutos e da disposição dos cabos de protensão existentes colocados devido ao carregamento especial proveniente de veículos que transitaram durante a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, todas as vigas metálicas colocadas apresentam geometria e dimensionamento diferenciado uma das outras.



**FIGURA 15 - FOTO VIGAS METÁLICAS E ARMADURA DE REFORÇO DAS LONGARINAS – DETALHE PROTENSÃO EXTERNA DEVIDO AO VEÍCULO DE ITAIPU**



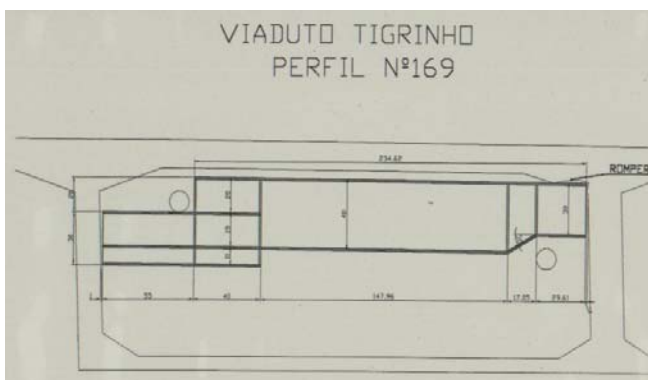
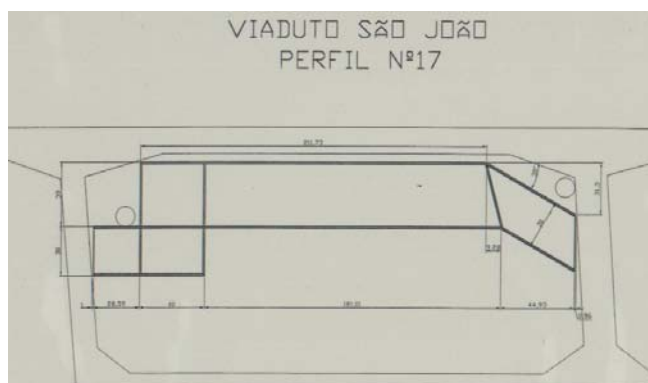
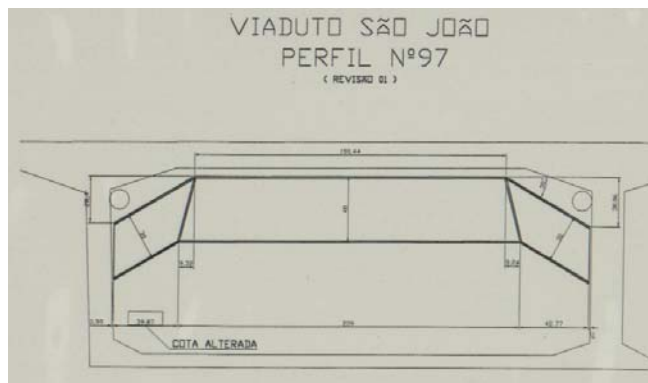
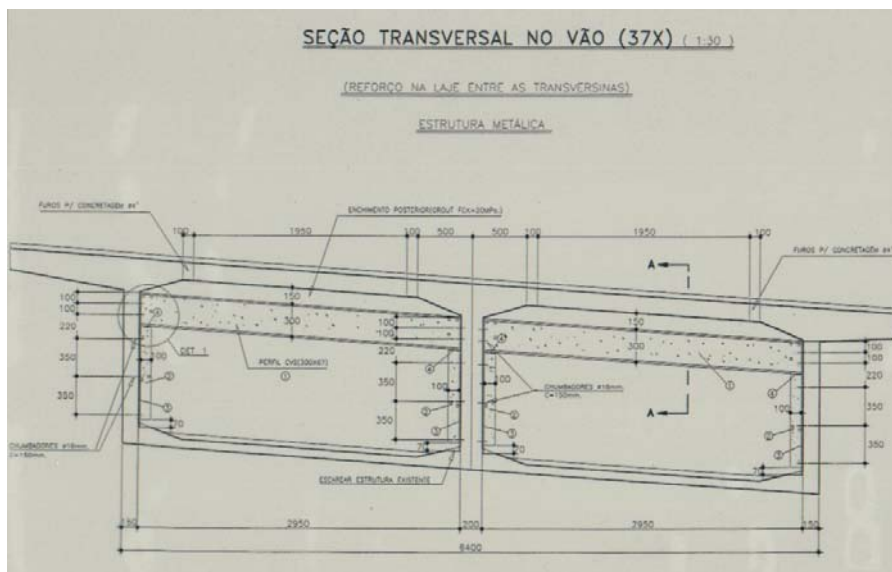
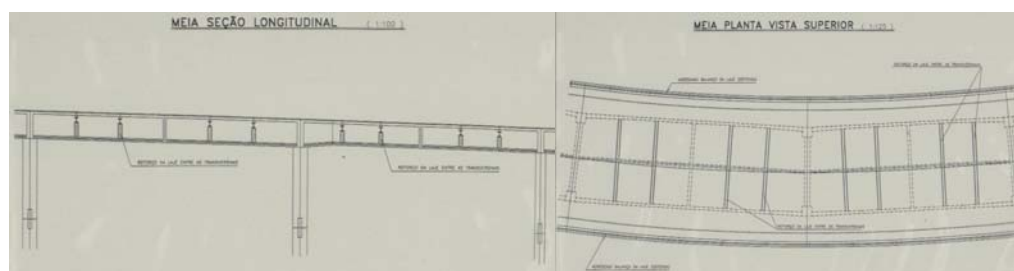


FIGURA 16 - FOTO PROJETO DE VIGAS METÁLICAS EMPREGADAS



**FIGURA 17 - FOTO SEÇÃO TRANSVERSAL NO VÃO – REFORÇO NA LAJE ENTRE AS TRANSVERSINAS**



**FIGURA 18 - FOTO MEIA SEÇÃO LONGITUDINAL E MEIA PLANTA VISTA SUPERIOR**

### 8.10 REFORÇOS NA LAJE DA PISTA (FISSURAS EXISTENTES)

Foram constatados alguns pontos de fissuras na face inferior da laje da pista. Estas fissuras estavam localizadas nas regiões onde foram efetuadas aberturas para o acesso dentro das células do caixão por ocasião da execução do reforço com protensão para suportar o carregamento especial proveniente de veículos que transitaram durante a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Os fechamentos destas aberturas foram executados de um modo deficiente, sem que houvesse uma ancoragem entre as barras seccionadas e as barras

adicionadas no fechamento. A má ancoragem fez com que as armaduras nas bordas da abertura se desprendessem do concreto, ocasionando fissuras na laje.

Esta deficiência foi corrigida através da demolição do fechamento inadequado, ancorando-se convenientemente as barras do fechamento por transpasse e solda e reconstituindo-se o concreto da pista. A reconstituição da armadura foi feita através de uma malha superior e inferior com barras de 12,5 mm a cada 15,00 centímetros.

### 8.11 REFORÇOS NAS LONGARINAS

Os esforços de flexão introduzidos no caixão pelo balanço da laje da pista provocaram flexões laterais nas almas das longarinas. A existência de uma deficiência de armadura para resistir a estes esforços provocou a necessidade da execução de reforços nas faces internas das longarinas.

Foram instaladas barras verticais convenientemente ancoradas através de materiais adesivos nas lajes das pistas e do fundo do caixão. Barras horizontais também foram adicionadas junto a esta armadura da mesma forma que foi incluído um cordão de tração nas longarinas. A concretagem lateral dentro do caixão foi realizada através de concreto projetado, de modo a incorporar além das armaduras o cabo de protensão já existente no caixão.

Antes da realização da concretagem desta camada na face lateral das longarinas foi realizado minuciosa inspeção junto às passagens dos cabos junto às transversinas, no intuito de corrigir as falhas de concretagem localizadas nestes pontos.

A solução criou, para as longarinas, condições estáticas altamente favoráveis de resistência aos esforços nas mesmas, principalmente no que tange aos limites últimos.

## 8.12 SISTEMA DE FIXAÇÃO

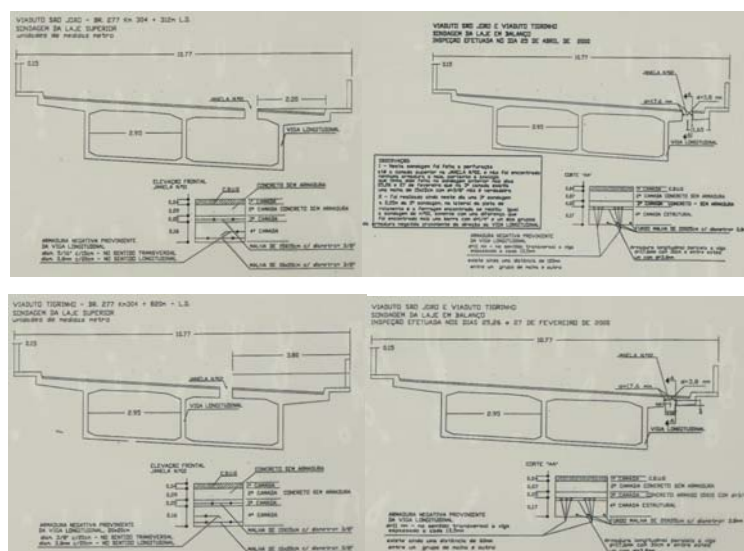
Todo o sistema de fixação das chapas metálicas e barras de aço no concreto foi executado com auxílio de ancoragem adesiva à base de epóxi. As fixações ocorridas foram feitas de um modo convencional, ou seja através da execução de furos (em torno de 10 a 15 cm), com preenchimento de material adesivo e colocação do elemento a ser fixado no concreto (barras rosqueadas ou vergalhões de aço).

## 8.13 DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS

Inexistindo o projeto original dos viadutos algumas sondagens foram necessárias para a detecção do posicionamento e quantidade das armaduras.



**FIGURA 19 - FOTO SONDAEM REALIZADAS**



**FIGURA 20 - FOTO LOCAIS ESCOLHIDOS DAS SONDAGENS**

Quando da demolição de parte da laje com o guarda-corpo para alargamento da plataforma e execução das barreiras new jersey foi constatada insuficiência de armaduras e posicionamento destas abaixo da cota esperada. Tal fato gerou contratempos, com sérios impactos em termos de seqüência construtiva o que exigiu um redimensionamento da estrutura com acréscimo na espessura da laje e armaduras.

Um dos pilares (P-50), localizado no viaduto São João, apresentou oscilação vertical significativa quando solicitado por carga móvel de grande porte, como carretas carregadas que poderiam levar a obra a um colapso de conseqüências catastróficas. Após a constatação do problema os projetistas vistoriaram a situação e decidiram pela elaboração de um projeto específico para restabelecimento das condições de segurança sem que durante sua execução fosse interrompido o tráfego.

A solução apontada foi através da execução de 8 estacas raiz com capacidade de 40 toneladas cada, bloco de coroamento que consumiu 12,00 m<sup>3</sup> de concreto 22 MPA. Foi realizada a transferência de carga do pilar antigo para o novo bloco por meio de dispositivos metálicos e macacos hidráulicos. Após a transferência

da carga deu-se início ao processo de reforço da longarina com a colocação de uma nova armadura em 32,00 m de seção, bem como no novo pilar P-50, que encamisará o antigo.

Cumpridas estas etapas foi realizada novamente a transferência de carga para nova estrutura totalmente remodelada e reforçada.



**FIGURA 21 - FOTO RACHADURAS JUNTO AO PILAR P-50 EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS E LONGARINA**

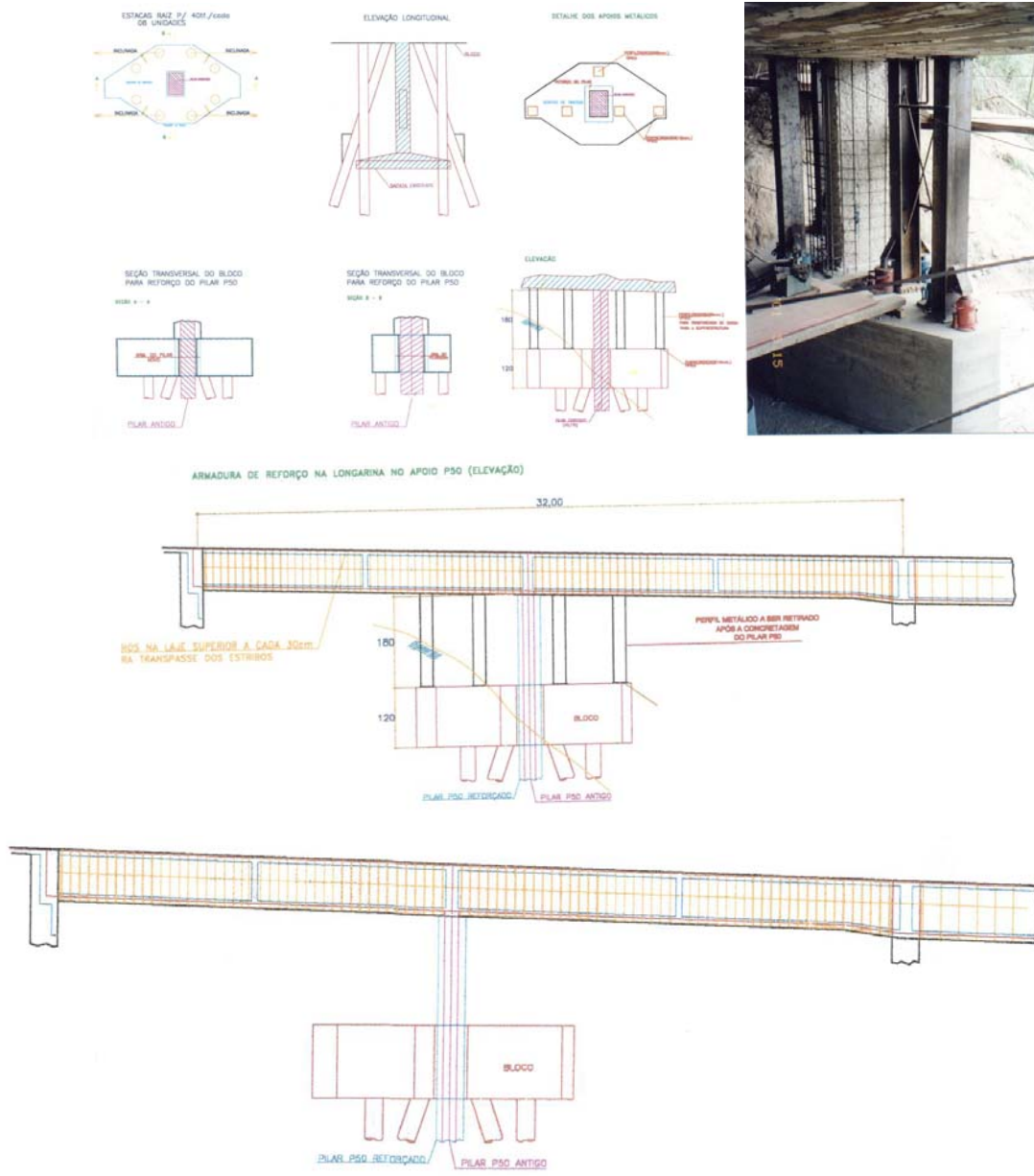


FIGURA 22 - FOTO PROJETO E EXECUÇÃO DOS REFORÇOS P-50



#### 8.14 REMOÇÃO DA SOBRELAJE E NOVA PAVIMENTAÇÃO

Em razão da sobrelaje de concreto executada para cobrimento aos cabos de protensão encontrar-se totalmente comprometida por conta de fissuras e trincamentos, foi necessária sua completa remoção.

Após a retirada da capa de rolamento, com espessura de 5,00 cm e da sobrelaje com espessura de 9,00 cm, foi colocada uma nova camada de concreto betuminoso usinado a quente com 10,00 cm de espessura, com isso aliviando a sobrecarga em cada viaduto em 180 t.

#### 8.15 CUIDADOS GERAIS TOMADOS DURANTE A OBRA

Durante toda a execução das recuperações e/ou acréscimos do comprimento dos balanços o tráfego foi restringido, bem como a limitação da velocidade dos veículos, de modo a diminuir ao máximo as vibrações.

Durante as demolições ocorridas foram tomados cuidados extremos no sentido de não danificar as armaduras existentes, que foram unidas com as novas armaduras de reforço e ou suas complementações.

As faces do concreto demolido ficaram rugosas e em um plano inclinado, de modo a possibilitar uma perfeita ligação entre o concreto novo e o existente.

As formas necessárias foram executadas de forma rígida e devidamente ancoradas na estrutura existente, de modo a impossibilitar movimentos e oscilações durante a execução das concretagens.

Antes das concretagens as superfícies de concreto existente foram saturadas, e foi executado uma ponte de adesivo para a perfeita ligação entre os concretos novo e existente.

Foi utilizado concreto de alta resistência inicial para a execução destes serviços, de modo a possibilitar a execução dos serviços em um menor prazo, bem como a ocorrência da liberação do tráfego normal com antecedência.

A cura do concreto foi realizada em um período mínimo de quatro dias, mantendo-se o concreto coberto com lona plástica e areia a fim de assegurar a umidade do mesmo.



A liberação das etapas de trabalho realizadas foram feitas através da confirmação por ensaio de laboratório de que as resistências do concreto eram superiores ou compatíveis às estabelecidas em projeto.



**FIGURA 23 - FOTO SEQÜÊNCIA CONSTRUTIVA DEFENSAS**

## 9 CONCLUSÕES

A história das construções das pontes está estreitamente vinculada à evolução das civilizações, pois, através destas, obstáculos naturais e fronteiras políticas existentes são superadas, beneficiando desta forma toda a comunidade envolvida. É de suma importância que os engenheiros conheçam os diversos agentes e mecanismos que influenciam na redução da vida útil prevista para as obras de arte de engenharia, pois, a partir destes conhecimentos, devem ser tomadas decisões e considerados procedimentos para a recuperação com êxito destas obras.

Há necessidade de reabilitar e manter estruturas construídas, está criando uma nova escola no que diz respeito à concepção e ao projeto estrutural, onde a avaliação do existente tornou-se fundamental.

As patologias das estruturas, como um todo, começam a ser mais bem entendidas por situarem-se dentro do contexto global da construção - não mais sendo relevadas apenas a pequenas análises de casos particulares - fazendo assim com que a engenharia de estruturas trabalhe na criação de uma metodologia capaz de avaliar melhor estas questões.

Há que se pensar no estabelecimento da mais adequada sistematização dos conhecimentos nesta área, para que seja alcançado um objetivo básico: a abordagem científica do comportamento estrutural ao longo do tempo, desde a concepção até a manutenção, passando obrigatoriamente por todas as etapas do projeto e da construção.

Inspeções e Manutenções preventivas freqüentes são justamente pontos críticos em pontes e viadutos, devido ao fato que normalmente as administrações públicas federais, estaduais e municipais não possuem recursos técnicos e financeiros para a realização destes procedimentos, fazendo com que muitas estruturas sejam utilizadas até o seu limite, mesmo sem condições mínimas de segurança e servicibilidade.

Há pontes e viadutos que apresentam patologias que se encontram estabilizadas, porém em outras, estas patologias são progressivas. A estabilização ou avanço destas falhas e dos sistemas de degradação das estruturas irá condicionar a urgência e os procedimentos a serem tomados no desenvolvimento,

planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos. Ressalta-se que além da segurança da estrutura, quando forem realizadas recuperações estruturais, deve-se levar em conta o fator econômico também.

Através da revisão bibliográfica sobre o assunto, estudos de caso e a busca do conhecimento junto a especialistas da área, esta dissertação se propões a responder o seguinte problema de pesquisa: Quais são os critérios que podem aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários?

As diretrizes desenvolvidas nesta dissertação resultaram na apresentação de uma proposta de parametrização através de modelo matemático, descrita no sétimo capítulo desta pesquisa, visando estabelecer critérios que possam aperfeiçoar o planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários. A base para a realização deste, foram os resultados obtidos na aplicação do Método Delphi junto aos especialistas e a correspondente análise destes resultados. Ressalta-se que existe é um significativo volume de conhecimento tácito, presente entre os especialistas consultados, sem formalização em documentos.

## 9.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir da revisão bibliográfica, da pesquisa realizada através da aplicação do Método Delphi e das análises e resultados desenvolvidos nesta dissertação, pode-se indicar uma série de sugestões para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área, visando o aperfeiçoamento, planejamento e execução de Recuperações Estruturais em Pontes e Viadutos Rodoviários. Segue algumas sugestões:

- *Modelo Matemático proposto com seus respectivos coeficientes:* sejam objeto de estudos futuros, no intuito de aprimorá-los e/ou consolidá-los. Este aprimoramento pode repetir-se até o momento em que o modelo desenvolvido e as suas soluções representem, o mais fielmente possível, a complexidade das patologias em estudo, e que as soluções implementadas satisfaçam integralmente aos objetivos traçados.

- Desenvolvimento e aprimoramento de pesquisas realizadas, através da busca de conhecimento junto a profissionais atuantes nas áreas de projetos de obras de arte de engenharia e recuperação de patologias estruturais.
- Estudos sobre o planejamento de recuperação de patologias estruturais em pontes e viadutos sob os pontos de vista financeiro e de segurança aos usuários.
- Aplicação da parametrização proposta em um sistema de gerenciamento de pontes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto e execução de pontes e concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ES 329/97**: Obras de arte especiais. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 329/97**: Obras de arte especiais - serviços preliminares. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 330/97**: Obras de arte especiais – concretos e argamassa. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 331/97**: Obras de arte especiais – armaduras para concreto armado. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 332/97**: Obras de arte especiais – armaduras para concreto protendido. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 333/97**: Obras de arte especiais - formas. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 334/97**: Obras de arte especiais - fundações. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 335/97**: Obras de arte especiais – estruturas de concreto armado. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 336/97**: Obras de arte especiais - estruturas de concreto protendido. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER-ES 337/97**: Obras de arte especiais - escoramentos. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 010/2002- PRO. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido**: procedimento. Brasília, 2002.

FERNANDEZ CÁNOVAS, M. **Patologia e terapia do concreto**. São Paulo: Pinni, 1988.

GIUBLIN, C. R. **Diretrizes para o desenvolvimento de canteiros de obra de pavimentação de concreto**. Curitiba: UFPR, 2002.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

\_\_\_\_\_. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MAIDANA, E. G M. **Analisis critico de los métodos de evaluación de puentes en lãs inspecciones rutinarias**. Curitiba: UFPR, 2002.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

MASSAUD, C. **Metodologia “Delphi”**. Disponível em: <<http://clovis.massaud.nom.br/prospec.htm>>. Acesso em: 20 maio 2003.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

SANTOS FILHO, M.L. **Patologia das estruturas**: notas de aula. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2001.

SILVA, G. R. da. **Prática do concreto protendido**. Rio de Janeiro: Arte & Indústria Editora, 1974.

SOUZA, V. C. de. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pinni, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. **Normas para apresentação de documentos científicos**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007.

**ANEXOS**

ANEXO 1 - PARAMETRIZAÇÃO CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ADOTADOS PARA ÍNDICE DE PATOLOGIA - EXEMPLO PONTE IDEAL

Parametrização

Nº de fatores de patologia	Fator de patologia	Coeficiente fator de patologia	Subfatores de patologia	Nº subfatores patologia	Coeficiente para cada sub fator de patologia	Fator de patologia do sub item (avaliação)	Fator de patologia	Índice parcial de patologia
i		$\gamma_i$		j	$\alpha_{i,j}$	SF <sub>i,j</sub>	$\alpha_{i,j} \times SF_{i,j}$	IPP <sub>i</sub>

1	Quanto a Forma	0,10	Alargamento de pontes		1	0,40	1	0,4	0,1
			Pontes curtas		2	0,40	1	0,4	
			Falta de gabarito vertical		3	0,20	1	0,2	
					$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	FP <sub>1</sub> =	1	
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,10	cargas móveis inferiores às prescrições atuais.		1	0,60	1	0,6	0,1
			circulação de cargas excepcionais		2	0,40	1	0,4	
					$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	FP <sub>2</sub> =	1	

continua



3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05			1	1,00	1	1	0,05
					$\Sigma\alpha_{1j} =$	1,00	$FP_3 =$	1	

4	Erros de dimensionamento de esforços e armaduras	0,20	modelo matemático de análise não compatível com o real comportamento da estrutura.		1	0,10	1	0,1	0,2
			elementos estruturais principais e/ou secundários incompatíveis com o funcionamento da estrutura		2	0,15	1	0,15	
			especificação inapropriada de materiais, com características de resistência e durabilidade inadequadas.		3	0,05	1	0,05	

continua

			Cargas permanentes e acidentais insuficientemente quantificadas.		4	0,10	1	0,1	
			Carregamentos acidentais excepcionais com valores maiores que os adotados em projeto de acordo com as normas então vigentes.		5	0,10	1	0,1	
			Esforços hiperestáticos causados por deformação lenta, variações térmicas ao longo dos elementos e principalmente as variações diferenciais		6	0,10	1	0,1	

			Dimensionamento com quantitativos de armaduras limítrofes com envoltórias mal avaliadas		7	0,10	1	0,1	<b>continua</b>
			Armaduras mal colocadas/dispostas		8	0,05	1	0,05	
			Desobediência ao conceito de armaduras mínimas necessárias inclusive normalizadas		9	0,15	1	0,15	
			Fadiga do aço em conseqüência da variação de tensão.		10	0,10	1	0,1	
					$\Sigma\alpha_{1j} =$	1,00	FP4 =	1	

5	Infraestrutura	0,20		Erosão sob as fundações diretas assentadas em cotas superficiais. (exemplo: sobre arenito)	1	0,10	1	0,1	0,2	
			erosão e/ou fragmentação de rochas	Rochas como basalto fissurado que desprendem fragmentos pela ação contínua da corrente e acabam descalçando as fundações	2	0,10	1	0,1		continua
				diferenciais causados ou por reações mal avaliadas ou por implantações indevidas em solos não igualmente resistentes	3	0,15	1	0,15		

			recalques	de estacas pré-moldadas causadas por emendas mal projetadas e por deficiência de concretagem em estacas moldadas no local	4	0,10	1	0,1	continua
				Deterioração de estacas por falta de proteção principalmente nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade	5	0,10	1	0,1	

			erros de concretagem	Corrosão das armaduras na face inferior de blocos de fundação, de estacas, fuste de tubulões, blocos de fundação e pilares e encontros por falta de cobrimento de armaduras.	6	0,15	1	0,15	
				Deslocamentos horizontais de camadas de terreno com baixa resistência devido a cargas de aterro das cabeceiras que deslocam as estacas horizontalmente quando mal dimensionadas	7	0,10	1	0,1	<b>continua</b>

			cabeceiras de pontes	Fundações em pilares de cabeceira de pontes sujeitas a ações horizontais intensas de empuxo que chegam a deslocá-las, rompendo inclusive elementos estruturais causando danos a toda estrutura.	8	0,20	1	0,2	
					$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	$FP_5 =$	1	
									continua

6	Mesoestrutura	0,10	esforços	ações causadas por insuficiência de seções e por esforços não previstos.	1	0,15	1	0,15	0,1
---	---------------	------	----------	--	---	------	---	------	-----

			armaduras	Ausência de estribos em largos espaços que podem ocasionar até flambagem das barras com rompimento do concreto.	2	0,15	1	0,15	
				Falta de costura nas regiões de emendas das barras, excesso de armaduras concentradas	3	0,15	1	0,15	
			erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	4	0,10	1	0,1	
				deficiências de concretagem e aderência.	5	0,05	1	0,05	

**continua**



			fissuras	Fissuras causadas por esforços hiperestáticos não previstos nas zonas de engastamentos elásticos entre os diversos elementos tanto da infra quanto da superestrutura, como também os oriundos dos recalques de fundação.	6	0,15	1	0,15	continua
			impacto de materiais	Danos causados pelo impacto de materiais carregados pelos cursos d'água.	7	0,25	1	0,25	
					$\Sigma\alpha_{1j} =$	1,00	FP6 =	1	

7	Superestrutura	0,25	fissuras	Lajes de passeio fissuradas transversalmente à obra.	1	0,05	1	0,05	0,25
				de cisalhamento devido a não consideração inclusive de esforços combinados como força cortante, torção e flexão vertical de engastamento elástico das lajes.	2	0,10	1	0,1	
				de retração localizadas, devido ausência de armadura adequada de pele.	3	0,05	1	0,05	continua

--	--	--

nos cantos das lajes causadas pelas flexões características destas regiões.	4	0,05	1	0,05	<b>continua</b>
transversais inferiores nas vigas caixa causadas por ações hiperestáticas de protensão, de deformação lenta, de variação térmica diferencial que chegam a ultrapassar os esforços causados pelas cargas acidentais de utilização.	5	0,10	1	0,1	

			nas longarinas hiperestáticas causadas por recalques nos apoios.	6	0,10	1	0,1	
		revestimentos	Pavimentos irregulares, placas descoladas	7	0,10	1	0,1	
		Sistemas de Drenagem	obstruídos pela deposição de detritos e pavimentos com inclinações inadequadas para a vazão das águas pluviais.	8	0,10	1	0,1	

continua

			guarda corpos	Rompimento, modelos antigos que não tinham função e/ou não foram dimensionados para resistir impactos horizontais ocasionados por colisões de veículos sobre estes.	9	0,05	1	0,05	
			aparelhos de apoio	colapso por ações horizontais, por falta de manutenção, por defeito de qualidade do material empregado.	10	0,10	1	0,1	
			Juntas de dilatação	deterioradas ou inexistentes	11	0,05	1	0,05	

			erros de concretagem	Falta de cobertura com oxidação das armaduras.	12	0,05	1	0,05	continua
				deficiências de concretagem e aderência.	13	0,10	1	0,1	
					$\Sigma\alpha_{1j} =$	1,00	$FP_7 =$		1

$$\Sigma\gamma_i = 1,00$$

$$IP = 1,000$$

## ANEXO 2 - VIADUTO SÃO JOÃO

Nº de fatores de patologia	Fator de patologia	Coefficiente fator de patologia	Subfatores de patologia	Nº subfatores patologia	Coefficiente para cada subfator de patologia	Fator de patologia do sub item (avaliação)	Fator de patologia	Índice parcial de patologia
i		$\gamma_i$		j	$\alpha_{i,j}$	SF <sub>i,j</sub>	$\alpha_{i,j} \times SF_{i,j}$	IPP <sub>i</sub>
1	Quanto a Forma	0,10	Alargamento de pontes	1	0,40	0	0	0
			Pontes curtas	2	0,40		0	
			Falta de gabarito vertical	3	0,20		0	
			$\Sigma\alpha_{1,j} =$		1,00	$FP_1 =$		
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,10	Cargas móveis inferiores às prescrições atuais.	1	0,60	0,3	0,18	0,034
			Circulação de cargas excepcionais	2	0,40	0,4	0,16	
			$\Sigma\alpha_{1,j} =$		1,00	$FP_2 =$		
3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05		1	1,00	0	0	0

continua

			$\Sigma\alpha_{1,j} = 1,00$	FP <sub>3</sub> = 0	
4	0,20	modelo matemático de análise não compatível com o real comportamento da estrutura.	1 0,10	1 0,1	0,111
		elementos estruturais principais e/ou secundários incompatíveis com o funcionamento da estrutura	2 0,15	1 0,15	
		especificação inapropriada de materiais, com características de resistência e durabilidade inadequadas.	3 0,05	1 0,05	
		Cargas permanentes e acidentais insuficientemente quantificadas.	4 0,10	1 0,1	
Erros de dimensionamento de esforços e armaduras		Carregamentos acidentais excepcionais com valores maiores que os adotados em projeto de acordo com as normas então vigentes.	5 0,10	0,3 0,03	
		Esforços hiperestáticos causados por deformação lenta, variações térmicas ao longo dos elementos e principalmente as variações diferenciais	6 0,10	0,3 0,03	
		Dimensionamento com quantitativos de armaduras limítrofes com envoltórias mal avaliadas	7 0,10	0,3 0,03	
		Armaduras mal colocadas/dispostas	8 0,05	0,4 0,02	
		Desobediência ao conceito de armaduras mínimas necessárias inclusive normalizadas	9 0,15	0,3 0,045	
		Fadiga do aço em consequência da variação de tensão.	10 0,10	0	
			$\Sigma\alpha_1, \varphi = 1,00$	FP <sub>4</sub> = 0,555	

continua



5	Infraestrutura	0,20	erosão e/ou fragmentação de rochas	Erosão sob as fundações diretas assentadas em cotas superficiais. (exemplo: sobre arenito)	1	0,10	0	0	0,021
				Rochas como basalto fissurado que desprendem fragmentos pela ação contínua da corrente e acabam descalçando as fundações	2	0,10		0	
			recalques	Diferenciais causados ou por reações mal avaliadas ou por implantações indevidas em solos não igualmente resistentes	3	0,15	0	0	
				De estacas pré-moldadas causadas por emendas mal projetadas e por deficiência de concretagem em estacas moldadas no local	4	0,10		0	
			erros de concretagem	Deterioração de estacas por falta de proteção principalmente nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade	5	0,10		0	
				Corrosão das armaduras na face inferior de blocos de fundação, de estacas, fuste de tubulões, blocos de fundação e pilares e encontros por falta de cobrimento de armaduras.	6	0,15	0,5	0,075	
			cabeceiras de pontes	Deslocamentos horizontais de camadas de terreno com baixa resistência devido a cargas de aterro das cabeceiras que deslocam as estacas horizontalmente quando mal dimensionadas	7	0,10	0,3	0,03	
				Fundações em pilares de cabeceira de pontes sujeitas a ações horizontais intensas de empuxo que chegam a deslocá-las, rompendo inclusive elementos estruturais causando danos a toda estrutura.	8	0,20		0	
								$\Sigma\alpha_{1,j}$	
					=		=		

continua

6	Mesoestrutura	0,10	esforços	ações causadas por insuficiência de seções e por esforços não previstos.	1	0,15	0	0	0,0425
			armaduras	Ausência de estribos em largos espaços que podem ocasionar até flambagem das barras com rompimento do concreto.	2	0,15	1	0,15	
				Falta de costura nas regiões de emendas das barras, excesso de armaduras concentradas	3	0,15	1	0,15	
			erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	4	0,10	0,3	0,03	
				deficiências de concretagem e aderência.	5	0,05	1	0,05	
			fissuras	Fissuras causadas por esforços hiperestáticos não previstos nas zonas de engastamentos elásticos entre os diversos elementos tanto da infra quanto da superestrutura, como também os oriundos dos recalques de fundação.	6	0,15	0,3	0,045	
			impacto de materiais	Danos causados pelo impacto de materiais carregados pelos cursos d'água.	7	0,25		0	
					$\Sigma\alpha_{1,j}$ =	1,00	FP6 =	0,425	

continua

7	Superestrutura	0,25	fissuras	Lajes de passeio fissuradas transversalmente à obra.	1	0,05	0	0	0,04875
				de cisalhamento devido a não consideração inclusive de esforços combinados como força cortante, torção e flexão vertical de engastamento elástico das lajes.	2	0,10	0	0	
				de retração localizadas, devido ausência de armadura adequada de pele.	3	0,05	0	0	
				nos cantos das lajes causadas pelas flexões características destas regiões.	4	0,05	0,7	0,035	
				transversais inferiores nas vigas caixão causadas por ações hiperestáticas de protensão, de deformação lenta, de variação térmica diferencial que chegam a ultrapassar os esforços causados pelas cargas acidentais de utilização.	5	0,10	0	0	
				nas longarinas hiperestáticas causadas por recalques nos apoios.	6	0,10	0	0	
		revestimentos	Pavimentos irregulares, placas descoladas	7	0,10	0	0		
		Sistemas de Drenagem	obstruídos pela deposição de detritos e pavimentos com inclinações inadequadas para a vazão das águas pluviais.	8	0,10	0,5	0,05		
		guarda corpos	Rompimento, modelos antigos que não tinham função e/ou não foram dimensionados para resistir impactos horizontais ocasionados por colisões de veículos sobre estes.	9	0,05	0	0		
		aparelhos de apoio	colapso por ações horizontais, por falta de manutenção, por defeito de qualidade do material empregado.	10	0,10	0,8	0,08		
		Juntas de dilatação	deterioradas ou inexistentes	11	0,05	0	0		
		erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	12	0,05	0	0		
			deficiências de concretagem e aderência.	13	0,10	0,3	0,03		
						$\Sigma\alpha_{1,j}$	1,00	FP <sub>7</sub>	0,195
						=	=	=	=

$$\Sigma\gamma_i = 1,00$$

$$IP = 0,257$$

### ANEXO 3 - VIADUTO TIGRINHO

nº de fatores de patologia	fator de patologia	coeficiente fator de patologia	Sub fatores de patologia	nº sub fatores patologia	coeficiente para cada sub fator de patologia	fator de patologia do sub item (avaliação)	fator de patologia	indice parcial de patologia
i		$\gamma_i$		j	$\alpha_{i,j}$	$SF_{i,j}$	$\alpha_{i,j} \times SF_{i,j}$	$IPP_i$
1	Quanto a Forma	0,10	Alargamento de pontes	1	0,40	0	0	0
			Pontes curtas	2	0,40		0	
			Falta de gabarito vertical	3	0,20		0	
				$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	$FP_1 =$	0	
2	Aumento da capacidade de carga das pontes	0,10	cargas móveis inferiores às prescrições atuais.	1	0,60	0,3	0,18	0,034
			circulação de cargas excepcionais	2	0,40	0,4	0,16	
				$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	$FP_2 =$	0,34	
3	Ausência ou inadequada manutenção	0,05		1	1,00	0	0	0
				$\Sigma\alpha_{1,j} =$	1,00	$FP_3 =$	0	
4		0,20	modelo matemático de análise não compatível com o real comportamento da estrutura.	1	0,10	1	0,1	0,11
			elementos estruturais principais e/ou secundários incompatíveis com o funcionamento da estrutura	2	0,15	1	0,15	

continua

especificação inapropriada de materiais, com características de resistência e durabilidade inadequadas.	3	0,05	1	0,05	
	Cargas permanentes e acidentais insuficientemente quantificadas.	4	0,10	1	0,1
Erros de dimensionamento de esforços e armaduras	Carregamentos acidentais excepcionais com valores maiores que os adotados em projeto de acordo com as normas então vigentes.	5	0,10	0,3	0,03
	Esforços hiperestáticos causados por deformação lenta, variações térmicas ao longo dos elementos e principalmente as variações diferenciais	6	0,10	0,3	0,03
	Dimensionamento com quantitativos de armaduras limítrofes com envoltórias mal avaliadas	7	0,10	0,3	0,03
	Armaduras mal colocadas/dispostas	8	0,05	0,3	0,015
	Desobediência ao conceito de armaduras mínimas necessárias inclusive normalizadas	9	0,15	0,3	0,045
	Fadiga do aço em consequência da variação de tensão.	10	0,10		0
		$\Sigma\alpha_{1,j}$ =	1,00	FP4 =	0,55

continua

5	Infraestrutura	0,20	erosão e/ou fragmentação de rochas	Erosão sob as fundações diretas assentadas em cotas superficiais. (exemplo: sobre arenito)	1	0,10	1	0,1	0,071
				Rochas como basalto fissurado que desprendem fragmentos pela ação contínua da corrente e acabam descalçando as fundações	2	0,10		0	
			recalques	diferenciais causados ou por reações mal avaliadas ou por implantações indevidas em solos não igualmente resistentes	3	0,15	1	0,15	
				de estacas pré-moldadas causadas por emendas mal projetadas e por deficiência de concretagem em estacas moldadas no local	4	0,10		0	
			erros de concretagem	Deterioração de estacas por falta de proteção principalmente nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade	5	0,10		0	
				Corrosão das armaduras na face inferior de blocos de fundação, de estacas, fuste de tubulões, blocos de fundação e pilares e encontros por falta de cobrimento de armaduras.	6	0,15	0,5	0,075	
			cabeceiras de pontes	Deslocamentos horizontais de camadas de terreno com baixa resistência devido a cargas de aterro das cabeceiras que deslocam as estacas horizontalmente quando mal dimensionadas	7	0,10	0,3	0,03	
				Fundações em pilares de cabeceira de pontes sujeitas a ações horizontais intensas de empuxo que chegam a deslocá-las, rompendo inclusive elementos estruturais causando danos a toda estrutura.	8	0,20		0	
					$\Sigma\alpha_{1,j} = 1,00$	$FP_5 = 0,355$			

continua

6	Mesoestrutura	0,10	esforços	ações causadas por insuficiência de seções e por esforços não previstos.	1	0,15	1	0,15	0,0575
			armaduras	Ausência de estribos em largos espaços que podem ocasionar até flambagem das barras com rompimento do concreto.	2	0,15	1	0,15	
				Falta de costura nas regiões de emendas das barras, excesso de armaduras concentradas	3	0,15	1	0,15	
			erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	4	0,10	0,3	0,03	
				deficiências de concretagem e aderência.	5	0,05	1	0,05	
			fissuras	Fissuras causadas por esforços hiperestáticos não previstos nas zonas de engastamentos elásticos entre os diversos elementos tanto da infra quanto da superestrutura, como também os oriundos dos recalques de fundação.	6	0,15	0,3	0,045	
			impacto de materiais	Danos causados pelo impacto de materiais carregados pelos cursos d'água.	7	0,25		0	
								$\Sigma\alpha_{1,j}$ = 1,00	

continua

7	Superestrutura	0,25	fissuras	Lajes de passeio fissuradas transversalmente à obra.	1	0,05	0	0	0,07375
				de cisalhamento devido a não consideração inclusive de esforços combinados como força cortante, torção e flexão vertical de engastamento elástico das lajes.	2	0,10	0	0	
				de retração localizadas, devido ausência de armadura adequada de pele.	3	0,05	0	0	
				nos cantos das lajes causadas pelas flexões características destas regiões.	4	0,05	0,7	0,035	
				transversais inferiores nas vigas caixão causadas por ações hiperestáticas de protensão, de deformação lenta, de variação térmica diferencial que chegam a ultrapassar os esforços causados pelas cargas acidentais de utilização.	5	0,10	0	0	
				nas longarinas hiperestáticas causadas por recalques nos apoios.	6	0,10	1	0,1	
			revestimentos	Pavimentos irregulares, placas descoladas	7	0,10	0	0	
			Sistemas de Drenagem	obstruídos pela deposição de detritos e pavimentos com inclinações inadequadas para a vazão das águas pluviais.	8	0,10	0,5	0,05	
			guarda corpos	Rompimento, modelos antigos que não tinham função e/ou não foram dimensionados para resistir impactos horizontais ocasionados por colisões de veículos sobre estes.	9	0,05	0	0	
			aparelhos de apoio	colapso por ações horizontais, por falta de manutenção, por defeito de qualidade do material empregado.	10	0,10	0,8	0,08	
			Juntas de dilatação	deterioradas ou inexistentes	11	0,05	0	0	
			erros de concretagem	Falta de cobrimento com oxidação das armaduras.	12	0,05	0	0	
				deficiências de concretagem e aderência.	13	0,10	0,3	0,03	
						$\Sigma\alpha_{1,j} = 1,00$	$FP_7 = 0,295$		

$$\Sigma\gamma_i = 1,00$$

$$IP = 0,346$$