

**MANUAL DE INSPEÇÃO
DE PONTES RODOVIÁRIAS**

REVISÃO

Engesur Consultoria e Estudos Técnicos Ltda

EQUIPE TÉCNICA:

Eng° José Luis Mattos de Britto Pereira
(Coordenador)
Eng° Zomar Antonio Trinta
(Supervisor)
Eng° Arnaldo Fainstein
(Consultor)

Tec° Marcus Vinícius de Azevedo Lima
(Técnico em Informática)
Tec° Alexandre Martins Ramos
(Técnico em Informática)
Tec° Reginaldo Santos de Souza
(Técnico em Informática)

COMISSÃO DE SUPERVISÃO:

Eng° Gabriel de Lucena Stuckert
(DNIT / DPP / IPR)
Eng° Mirandir Dias da Silva
(DNIT / DPP / IPR)

Eng° José Carlos Martins Barbosa
(DNIT / DPP / IPR)
Eng° Elias Salomão Nigri
(DNIT / DPP / IPR)

PRIMEIRA EDIÇÃO – Rio de Janeiro, 1980

Eng° Walter Pfeil
(Convênio PG-17/73 – DNER/COPPE/UFRJ)

MT – DNER – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de
Pesquisas Rodoviárias
Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro,
2004.
253p. (IPR, Publicação 709.),
1. Rodovias – Inspeções – Manuais. I. Série
II. Título

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

Publicação IPR - 709

**MANUAL DE INSPEÇÃO
DE PONTES RODOVIÁRIAS**

2ª Edição

Rio de Janeiro
2004

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, Km 163 – Vigário Geral
Cep.: 21240-000 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (0XX21) 3371-5888
Fax.: (0XX21) 3371-8133
e-mail.: dnitipnormas@ig.com.br

TÍTULO: MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS

Primeira Edição: 1980

Revisão: DNIT / Engesur

Contrato: DNIT / Engesur PG – 157/2001-00

Aprovado Pela Diretoria Executiva do DNIT em 14 / 12 / 2004

APRESENTAÇÃO

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, dando prosseguimento ao Programa de Revisão e Atualização de Normas e Manuais Técnicos vem lançar à comunidade rodoviária o seu Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, objeto de revisão do homônimo Manual do DNER de 1980.

Nesta edição buscou-se incorporar o que há de mais atual em técnicas de inspeção de pontes, bem como apresentar uma total reformulação do enfoque em relação ao Manual anterior.

A itemização do presente Manual é bem diferente do editado em 1980; alguns capítulos foram ampliados e tratados com outro enfoque e outros são inteiramente novos. Enquanto que o antigo Manual apoiava-se, basicamente, no Bridge's Inspector Training Manual / 70, a presente revisão segue, principalmente, a orientação de uma vasta bibliografia do FHWA (Federal Highway Administration), e da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), onde pontifica o Bridge's Inspector Training Manual / 90, editado pelo FHWA em julho/1991 e revisado em março /1995.

Por outro lado, espera-se que os técnicos e os profissionais que venham a utilizá-lo, possam usufruir dos benefícios decorrentes e que contribuam para a necessária uniformização dos métodos e procedimentos, enviando suas críticas e sugestões para Rodovia Presidente Dutra, Km 163, Centro Rodoviário, Vigário Geral, Rio de Janeiro, RJ, CEP 21240-000, aos cuidados do Instituto de Pesquisas Rodoviárias ou pelo e-mail dnitipnormas@ig.com.br.

Eng° Chequer Jabour Chequer
Coordenador do Instituto de Pesquisas Rodoviárias

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO.....	13
3. ABRANGÊNCIA	15
4. TIPOS DE INSPEÇÃO E PERIODICIDADE.....	17
4.1. Generalidades	19
4.2. Inspeção Cadastral	19
4.3. Inspeção Rotineira	19
4.4. Inspeção Especial	19
4.5. Inspeção Extraordinária.....	20
4.6. Inspeção Intermediária.....	20
5. EVOLUÇÃO DAS PONTES RODOVIÁRIAS DA MALHA FEDERAL.....	21
5.1. Histórico	23
5.2. Pontes Projetadas até 1950	23
5.3. Pontes Projetadas de 1950 a 1960	25
5.4. Pontes Projetadas de 1960 a 1975	27
5.5. Obras Projetadas de 1975 a 1985.....	29
5.6. Obras Projetadas após 1985.....	30
6. FUNDAMENTOS DAS INSPEÇÕES DE PONTES.....	33
6.1. Introdução	35
6.2. Responsabilidades e Deveres do Inspetor de Pontes.....	35
6.3. Planejamento da Inspeção	35
6.4. Procedimentos da Inspeção	37
6.5. Equipamentos da Inspeção.....	40
6.6. Métodos de Acesso	41
6.7. Práticas de Segurança	42
7. QUALIFICAÇÃO DE INSPETORES DE PONTES E AUXILIARES.....	45
7.1. Definição de Atribuições.....	47
7.2. Qualificação dos Inspetores	47
7.3. Qualificação dos Auxiliares Técnicos	47
8. PROPRIEDADES E DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS	49
8.1. Introdução	51
8.2. Concreto.....	51
8.3. Aço	65

8.4.	Considerações e Casos Reais de Patologias em Pontes.....	70
9.	IDENTIFICAÇÃO E FUNÇÃO ESTRUTURAL DOS ELEMENTOS DAS PONTES	97
9.1.	Principais Elementos Componentes das Pontes.....	99
9.2.	Formas Básicas dos Elementos Estruturais.....	103
9.3.	Estruturas Especiais.....	108
10.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ESTRADOS DAS PONTES.....	111
10.1.	Generalidades.....	113
10.2.	Estrados de Concreto.....	114
10.3.	Juntas de Dilatação.....	116
10.4.	Sistemas de Drenagem.....	122
10.5.	Dispositivos de Segurança.....	123
10.6.	Sinalização.....	124
10.7.	Iluminação.....	125
11.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE CONCRETO	127
11.1.	Introdução	129
11.2.	Anomalias Principais	129
11.3.	Inspeção de Superestruturas de Concreto Armado	130
11.4.	Inspeção de Superestruturas de Concreto Protendido.....	139
12.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO	149
12.1.	Considerações	151
12.2.	Vigas Mistas Múltiplas de Perfis Usinados.....	151
12.3.	Vigas Mistas de Chapas Soldadas.....	152
12.4.	Vigas-Caixão.....	154
12.5.	Treliças.....	155
12.6.	Pórticos	161
13.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO	163
13.1.	Características Gerais.....	165
13.2.	Tipos de Aparelho de Apoio	165
13.3.	Procedimentos de Inspeção de Aparelhos de Apoio.....	173
14.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DAS INFRA-ESTRUTURAS.....	177
14.1.	Características Gerais.....	179
14.2.	Encontros	179
14.3.	Apoios Intermediários.....	184
14.4.	Fundações.....	187

15.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA.....	189
15.1.	Características Gerais.....	191
15.2.	Tipos de Cursos D'água.....	191
15.3.	Alterações nos Cursos D'águas: Instabilidade e Colapso de Pontes.....	193
15.4.	Solapamento de Elementos Estruturais.....	195
15.5.	Procedimentos de Inspeção.....	195
16.	TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO.....	197
16.1.	Generalidades.....	199
16.2.	Concreto.....	200
16.3.	Aço.....	202
16.4.	Instrumentação.....	204
17.	INSPEÇÕES SUBMERSAS.....	205
17.1.	Considerações.....	207
17.2.	Crítérios de Seleção de Pontes.....	207
17.3.	Métodos de Inspeção de Pontes.....	208
17.4.	Níveis de Intensidade das Inspeções Submersas.....	209
17.5.	Tipos de Inspeção.....	210
17.6.	Planejamento de Inspeções Submersas.....	212
17.7.	Elementos e Unidades das Infra-Estruturas.....	213
17.8.	Investigações de Erosões.....	214
17.9.	Inspeções Submersas e Avaliação de Anomalias.....	215
17.10.	Equipamentos de Inspeção Submersa.....	217
17.11.	Considerações Especiais.....	219
18.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PONTES SUJEITOS À RUPTURA FRÁGIL.....	221
18.1.	Características da Ruptura Frágil.....	223
18.2.	Causas Principais da Ruptura.....	223
18.3.	Colapsos em Estruturas de Concreto.....	224
18.4.	Colapsos em Estruturas de Aço.....	225
18.5.	Recomendações de Inspeção de Elementos Sujeitos à Ruptura Frágil.....	227
19.	RELATÓRIOS E FICHAS DE INSPEÇÃO.....	229
20.	BIBLIOGRAFIA.....	239
21.	GLOSSÁRIO.....	243



DUAS PONTES PARALELAS SOBRE O RIO DOCE, BR101/ES
PONTE ANTIGA, EM ARCOS TRI-ARTICULADOS, DESATIVADA
PONTE NOVA, EM VIGAS MISTAS, 660,00 X 13,00m

1 - INTRODUÇÃO



DUAS PONTES PARALELAS SOBRE O RIO POTI, BR-343/PI
PONTE ANTIGA, EM ARCOS, COM 598,50 X 9,70m, DESATIVADA
PONTE NOVA, EM BALANÇOS SUCESSIVOS, COM 426,90 X 14,80m

1 INTRODUÇÃO

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, editado em 1980 pelo MT/DNER/IPR, obra pioneira e de indiscutível valor técnico, necessitava, após todos estes anos, de revisão, de ampliação e de atualização.

Enquanto que o antigo Manual apoiava-se, basicamente, no Bridge's Inspector Training Manual / 70 , a presente revisão segue, principalmente, a orientação de uma vasta bibliografia do FHWA, Federal Highway Administration, e da AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, onde pontifica o Bridge's Inspector Training Manual / 90, editado pelo FHWA em Julho/1991 e revisado em Março/1995.

A itemização do presente Manual é bem diferente do editado em 1980; algumas seções foram ampliadas e tratadas com outro enfoque e outras são inteiramente novas.

Na seção 4, Tipos de Inspeção e Periodicidade, aos três tipos de Inspeção já consagrados, Cadastral, Rotineira e Especial, foram acrescentados dois outros tipos, as Inspeções Extraordinária e Intermediária; a primeira é uma Inspeção não programada, para avaliar um dano estrutural excepcional causada pelo homem ou pela natureza e, a segunda, é uma Inspeção recomendada para monitorar uma deficiência suspeitada ou já detectada

A seção 5, Evolução das Pontes Rodoviárias da Malha Federal, procura resguardar a Memória do DNER, com um resumo das características geométricas e das Normas Brasileiras vigentes na época dos projetos; são quatro grandes e principais grupos de pontes, balisados pelos anos de vigência de novas Normas Brasileiras ou de novas características das seções transversais, todas referentes a obras de pista simples e sem passeios para pedestres.

A seção 6, Fundamentos das Inspeções de Pontes, aborda itens importantes, tais como Responsabilidades e Deveres do Inspetor de Pontes, Planejamento da Inspeção, Procedimentos na Inspeção, Equipamentos da Inspeção, Métodos de Acesso e Práticas de Segurança.

A seção 7, Qualificação do Inspetor de Pontes, aponta, com mais precisão, as qualificações mínimas do Inspetor.

A seção 8, Propriedades e Deterioração dos Materiais, descreve as propriedades dos principais materiais, alvenaria de pedra, aço e concreto, com que são construídas as pontes e seus processos de deterioração; um conjunto de fotografias, cedidas pelo SGO, ilustra, com exemplos reais, as principais patologias que ocorrem em pontes.

A seção 9, Identificação e Função Estrutural dos Elementos Componentes das Pontes, tem uma função essencialmente didática, de treinamento.

As seções 10, 11, 12, 13 14 e 15 tratam, respectivamente, de Inspeção e Avaliação dos Estrados das Pontes, de Superestruturas de Concreto, de Estruturas de Aço, de Aparelhos de Apoio, de Infra-estruturas e dos Cursos D'Água.

A seção 16, Técnicas Avançadas de Inspeção, apresenta uma descrição sucinta de várias técnicas de inspeção avançada, que complementam, quando necessário, a inspeção visual; para cada tipo de material, são indicados testes destrutivos e não destrutivos.

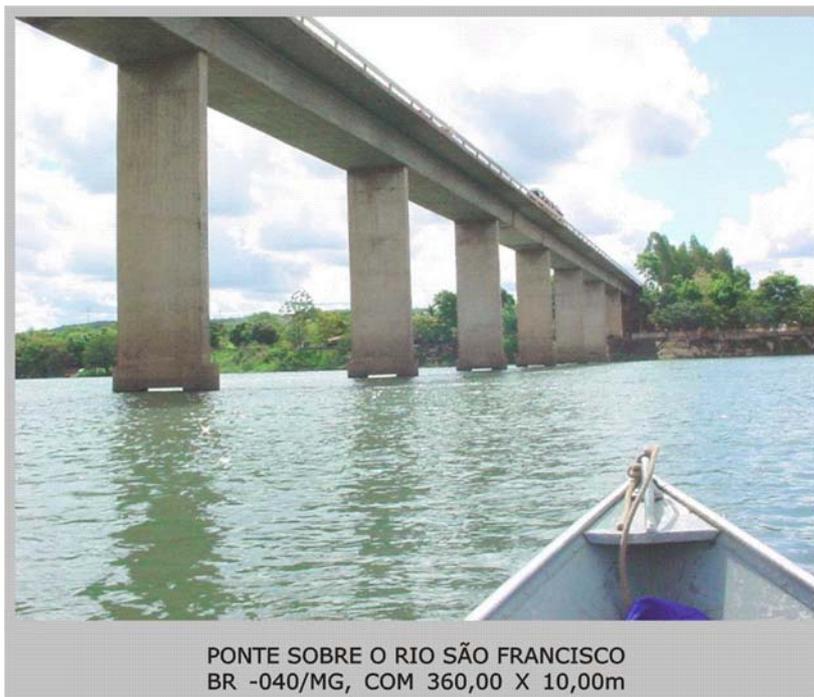
A seção 17, Inspeções Submersas, tem a finalidade de ressaltar a importância e a necessidade de recomendar inspeções submersas em algumas travessias; essas inspeções são realizadas por empresas especializadas.

A seção 18, Inspeção e Avaliação de Pontes Sujeitas à Ruptura Frágil, mais dirigido para estruturas de aço, resalta a importância de serem minuciosamente inspecionados os elementos tracionados cuja ruptura resultaria no colapso de parte ou de toda ponte.

A seção 19 trata de relatórios e registros das Inspeções Cadastral e Rotineira; houve a preocupação de padronizar as fichas de inspeção, adotando-se fichas idênticas no Manual, no DNIT 010-2004-PRO e no SGO.

Finalmente encerram o Manual as seções 20, Bibliografia e 21 Glossário, que procura definir os termos técnicos mais importantes.

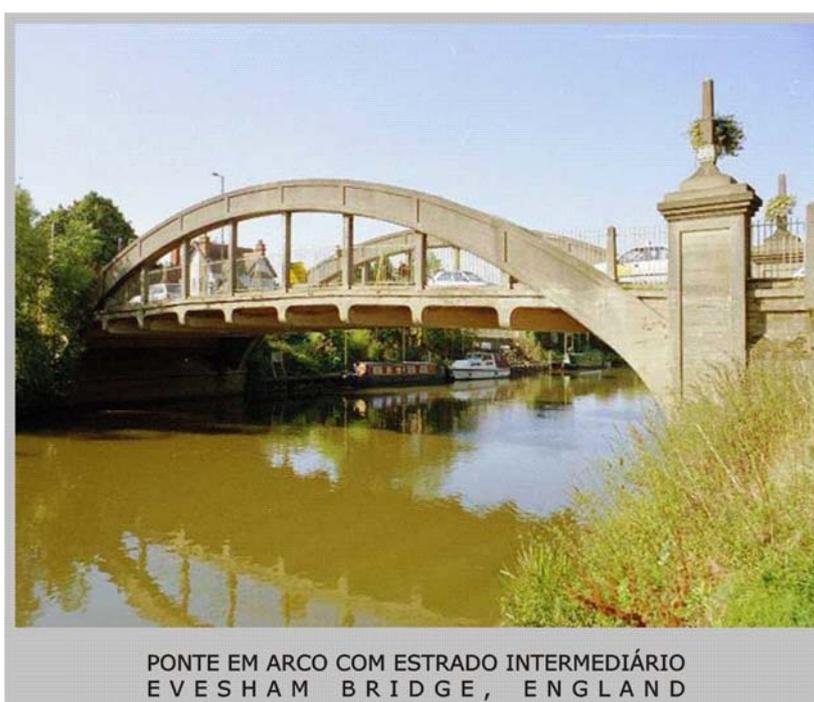
2 OBJETIVO



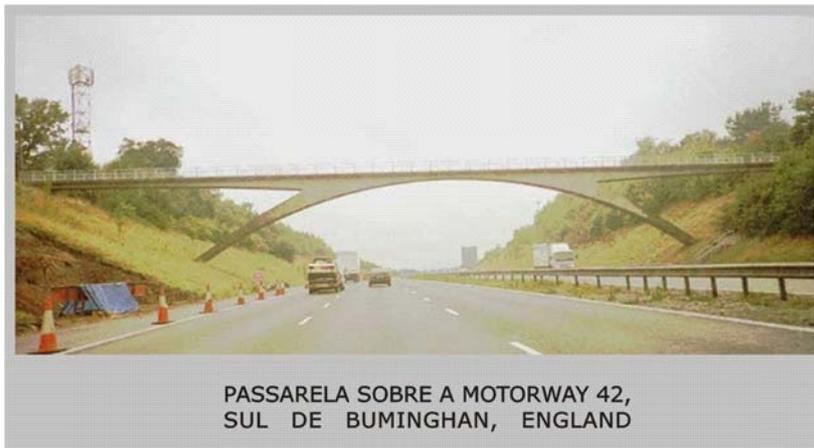
O presente Manual tem dois objetivos principais:

- a) treinar engenheiros e profissionais de nível médio para inspeções cadastrais e rotineiras de pontes rodoviárias;
- b) servir de padrão de uniformização de procedimentos e práticas para determinar as condições de estabilidade, as necessidades de manutenção e a capacidade de carga das pontes rodoviárias.

Para atender a este objetivo, o Manual, através de vinte capítulos, aborda os principais itens pertinentes ao assunto e já detalhados no Capítulo 1.

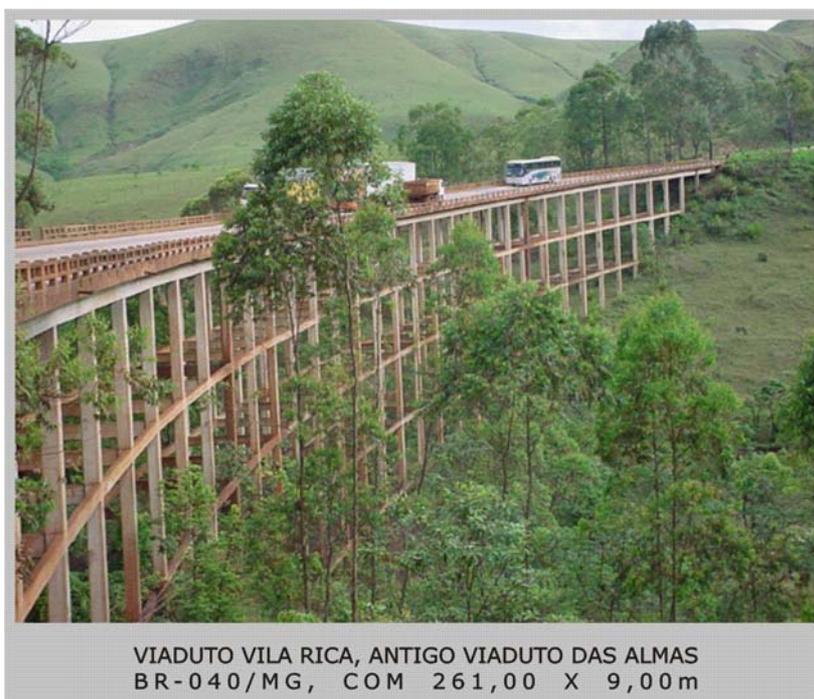


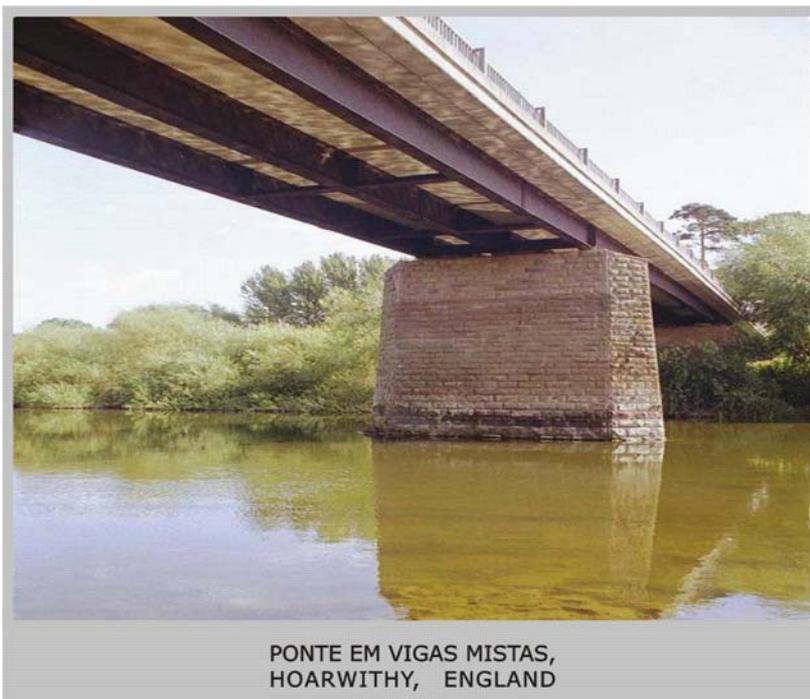
3 ABRANGÊNCIA



As pontes rodoviárias objeto deste Manual poderão ser de alvenaria de pedra, de concreto armado, de concreto protendido e de aço.

Pontes especiais, tais como pontes flutuantes, pontes móveis, pontes pênsis, pontes estaiadas e pontes de mais de duzentos metros de vão não serão objeto deste Manual.





4 - TIPOS DE INSPEÇÃO E PERIODICIDADE



4 TIPOS DE INSPEÇÃO E PERIODICIDADE

4.1 GENERALIDADES

Coerentemente com a bibliografia adotada, este Manual acrescenta dois outros tipos de inspeção às três já conhecidas e tradicionais; além das Inspeções Cadastral, Rotineira e Especial, mais duas outras passam a integrar o conjunto de inspeções: a Inspeção Extraordinária e a Intermediária.

4.2 INSPEÇÃO CADASTRAL

A Inspeção Cadastral é a primeira inspeção da obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão ou assim que ela se incorpora no sistema viário; é também a inspeção que deve ser feita quando há uma alteração sensível na configuração da obra, tais como alargamentos, acréscimos de comprimentos, reforços, mudança no sistema estrutural. A Inspeção Cadastral é uma inspeção amplamente documentada, não só pelos próprios dados da inspeção, mas também pelo projeto completo e por todos os informes construtivos disponíveis.

A Inspeção Cadastral ficará registrada em amplo Documentário Fotográfico e com o preenchimento da Ficha Cadastral.

4.3 INSPEÇÃO ROTINEIRA

A Inspeção Rotineira é uma inspeção programada, com intervalos adequados, em geral de um a dois anos, e destinada a coletar observações e/ou medições para identificar qualquer anomalia em desenvolvimento ou qualquer alteração em relação à Inspeção Cadastral ou à Inspeção Rotineira anterior.

As Inspeções Rotineiras são visuais, efetuadas a partir do estrado, do terreno, do nível d'água ou de plataformas e caminhos permanentes, se existentes; equipamentos especiais somente serão necessários quando se constituírem no único meio de inspecionar os trechos de interesse.

As Inspeções Rotineiras ficarão registradas através do Documentário Fotográfico e do preenchimento da Ficha de Inspeção Rotineira.

4.4 INSPEÇÃO ESPECIAL

A Inspeção Especial deverá ser efetuada em intervalos máximos de cinco anos, em todas as pontes consideradas excepcionais, pelo seu porte, pelo seu sistema estrutural ou pelo seu comportamento problemático, ou sempre que julgado necessário por uma Inspeção Rotineira, em qualquer obra.

Relatórios e Documentário Fotográfico são atípicos, mas minuciosos e amplos, e ficarão a critério do Inspetor, mas sempre obedecendo à estrutura básica das fichas padronizadas da Inspeção Rotineira.

4.5 INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA

A Inspeção Extraordinária é uma inspeção não programada, que deve ser efetuada quando ocorrem danos estruturais repentinos, provocados pelo homem ou pelo meio ambiente. A equipe desta Inspeção deve ter discernimento, competência e autoridade para avaliar a gravidade dos danos, limitar as cargas de tráfego ou mesmo, interromper e restabelecer o tráfego, bem como solicitar uma Inspeção Especial.

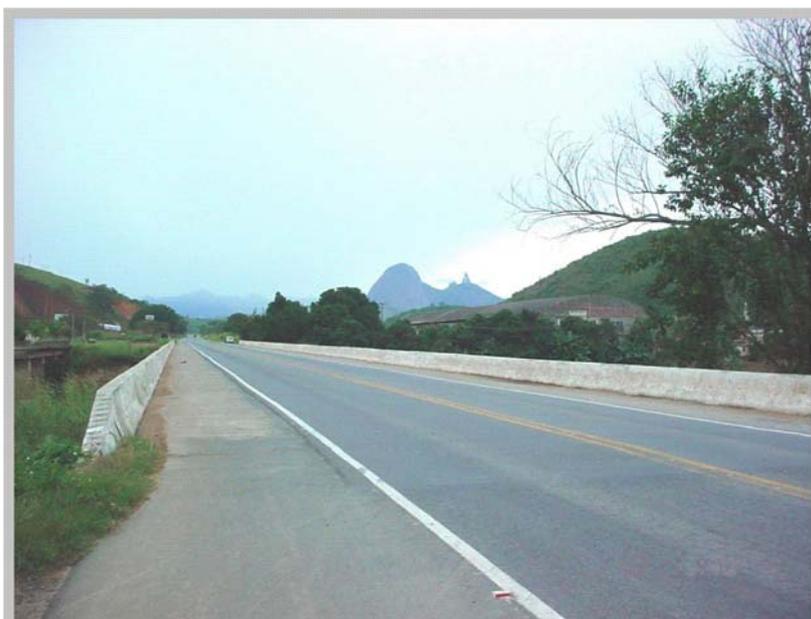
4.6 INSPEÇÃO INTERMEDIÁRIA

A Inspeção Intermediária é recomendada para monitorar uma anormalidade já suspeitada ou já detectada, tal como um pequeno recalque de fundação, uma erosão incipiente, um encontro parcialmente descalçado, o estado de um determinado elemento estrutural, etc. Desde que o objetivo da Inspeção seja perfeitamente determinado, não há necessidade da presença do Inspetor.



PONTE COM GUARDA-RODAS, GUARDA-CORPOS E ACOSTAMENTO NÃO INCORPORADOS
ESTRADA COM ACOSTAMENTOS, MAIS LARGA QUE A PONTE
ANTIGA, TORNANDO INSEGURO SEU ACESSO E SUA UTILIZAÇÃO

5 - EVOLUÇÃO DAS PONTES RODOVIÁRIAS DA MALHA FEDERAL



PONTE MODERNA COM ACOSTAMENTOS INCORPORADOS E BARREIRAS
NEW JERSEY ESTRADA COM ACOSTAMENTOS E
MESMA LARGURA QUE A PONTE, TRÁFEGO SEGURO

5 EVOLUÇÃO DAS PONTES RODOVIÁRIAS DA MALHA FEDERAL

5.1 HISTÓRICO

A malha rodoviária federal, implantada a partir da década de 40, época em que também foram editadas as primeiras Normas Brasileiras referentes ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado, abrange obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações provocadas por diferentes carregamentos e dimensionadas e detalhadas segundo critérios vigentes nas épocas dos projetos, muitos dos quais não mais aceitos.

Desde a implantação até a presente data, algumas obras foram substituídas, muitas foram restauradas e algumas foram reforçadas e alargadas; o perfil das pontes da maioria das rodovias, senão da totalidade, é, portanto, bastante heterogêneo.

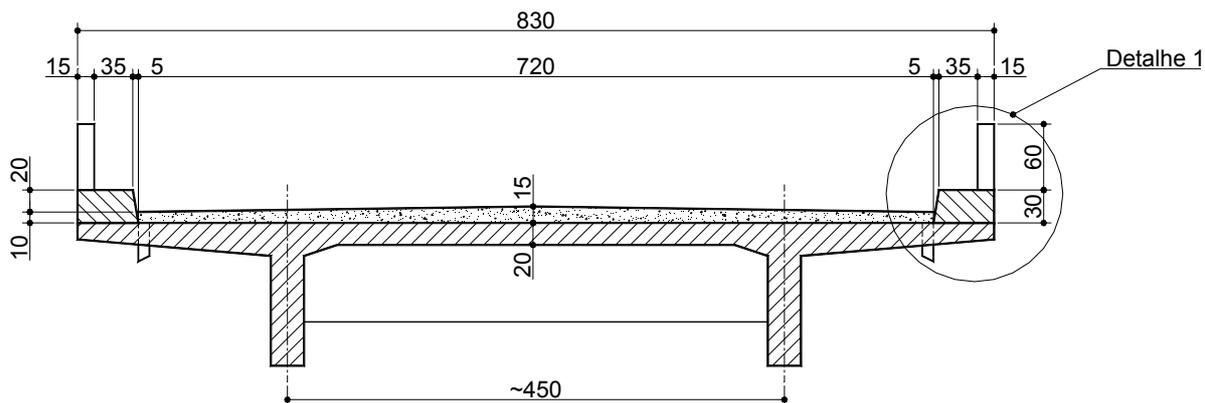
Obras que não tiveram suas características originais alteradas, ou mesmo, que sofreram pequenas modificações, podem ser facilmente identificadas no que se refere à época do projeto e à sua Classe; as características originais das pontes de pista simples e sem passeios laterais, as cargas móveis de cálculo e as Normas Brasileiras vigentes nas diferentes épocas dos projetos, estão esquematizadas e descritas a seguir.

5.2 PONTES PROJETADAS ATÉ 1950

5.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

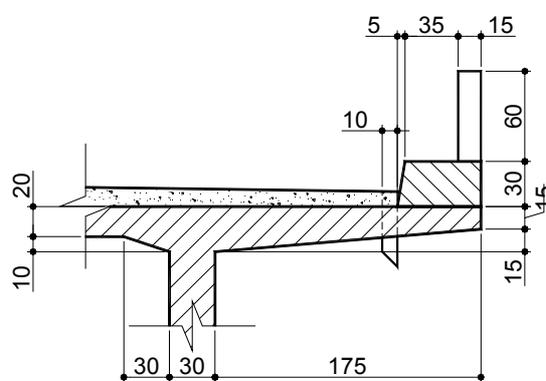
- Seção Transversal: largura total de 8,30m , largura de pista de 7,20m , dois guarda-rodas de 0,55m, com dois guarda-corpos de 0,15/0,60m, sobre os guarda-rodas.
- Normas Brasileiras: NB-1/1946 e NB-2/1946; Pontes Classe 24
- Norma Rodoviária: NB-6/1946
- Cargas Móveis da Classe I: Compressor de 24 tf, tantos Caminhões de 9 tf quantas forem as faixas de tráfego menos uma e Multidão variável com o vão teórico, basicamente de 450 kgf/m².
- Coeficiente de Impacto: $\phi = 1,3$

5.2.2 SEÇÃO TRANSVERSAL



- Pista com largura de duas faixas de tráfego
- Guarda-corpos baixos
- Guarda-rodas ineficazes
- Ausência de pingadeiras
- Drenos igualmente espaçados, inclusive sobre as saias de aterro
- Transversinas ligadas à laje
- Sobrelaje ou pavimentação de grande espessura

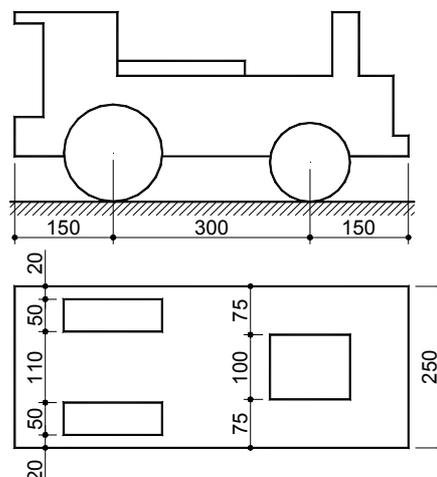
Detalhe 1



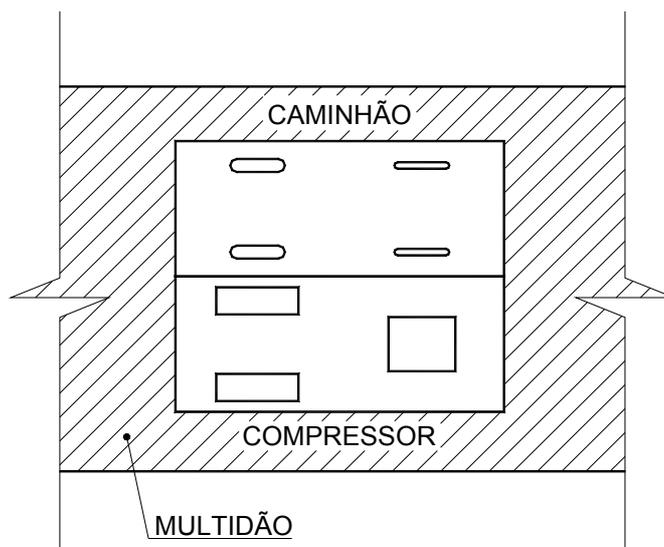
5.2.3 CARGAS MÓVEIS

Serão reproduzidas somente as características gerais das cargas móveis das Pontes Classe I, pontes situadas em estradas-tronco federais e estaduais ou nas estradas de ligação principais entre esses troncos.

- Compressor de 24 tf
 - Peso Total do Compressor: 24 tf
 - Peso da Roda Dianteira: 10 tf
 - Peso de Uma Roda Traseira: 7 tf
 - Largura da Roda Dianteira: 100 cm
 - Largura de cada Roda Traseira: 50 cm
 - Distância entre os Eixos Dianteiro e Traseiro: 300 cm
 - Distância entre os Meios das Rodas Traseiras: 160 cm



5.2.4 ESQUEMA PARA FORMAÇÃO DO TREM-TIPO

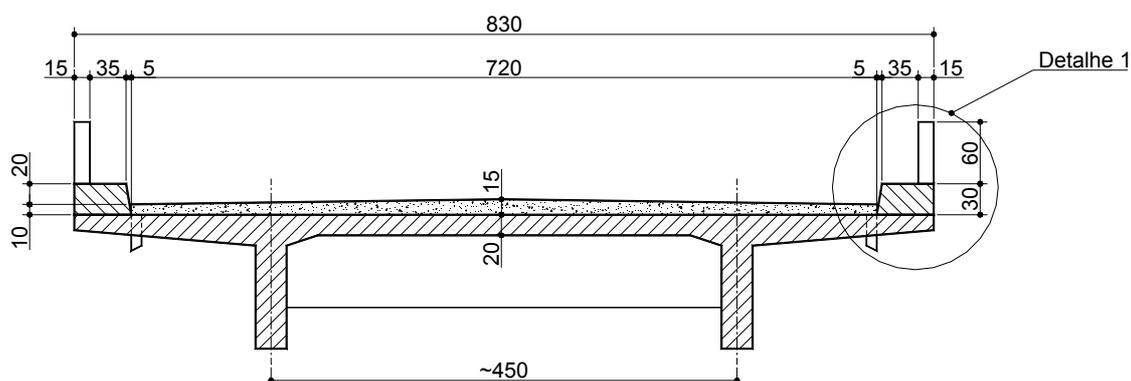


5.3 PONTES PROJETADAS DE 1950 A 1960

5.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

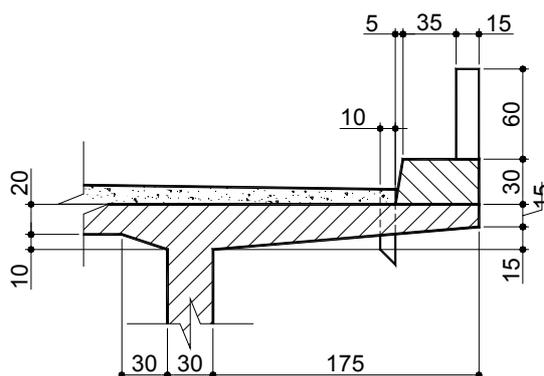
- Seção Transversal: largura total de 8,30m, largura de pista de 7,20m, dois guarda-rodas de 0,55m com dois guarda-corpos de 0,15/0,60m, sobre os guarda-rodas.
- Normas Brasileiras: NB-1/1946 e NB-2/1946; Pontes Classe 24
- Normas Rodoviárias: NPER/1949, Normas para Projeto de Estradas de Rodagem.
- Cargas Móveis das Classes Especial e I: Compressor de 24 tf, tantos Caminhões de 12 tf quantas forem as faixas de tráfego menos uma e Multidão conforme a peça e o vão teórico, basicamente de 500 kgf/m².
- Coeficiente de Impacto: $\varphi = 1,3$

5.3.2 SEÇÃO TRANSVERSAL



- Pista com largura de duas faixas de tráfego
- Guarda-corpos baixos
- Guarda-rodas ineficazes
- Ausência de pingadeiras
- Drenos igualmente espaçados, inclusive sobre as saias de aterro
- Transversinas ligadas à laje
- Sobrelaje ou pavimentação de grande espessura

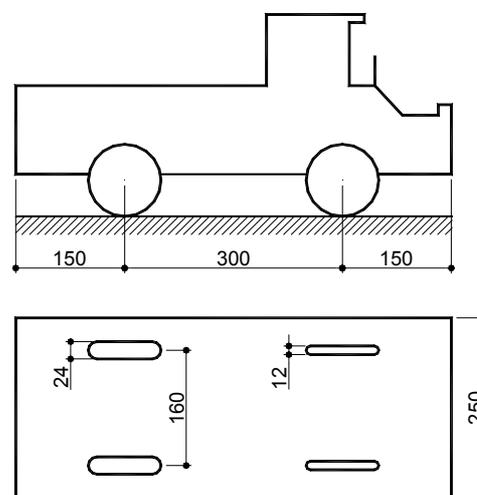
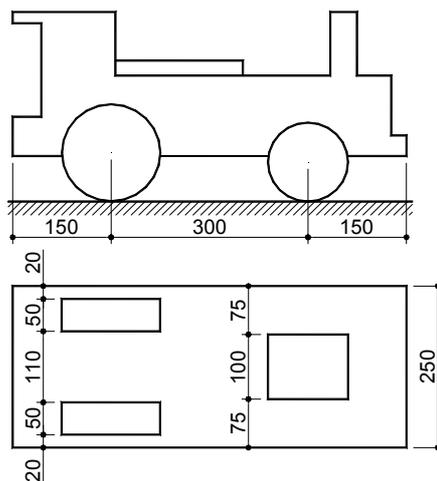
Detalhe 1



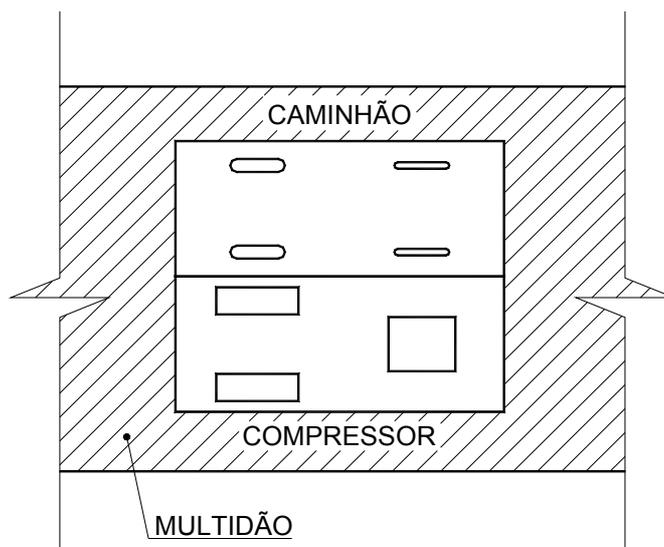
5.3.3 CARGAS MÓVEIS

Serão reproduzidas somente as características gerais das cargas móveis das Pontes das Classes Especial e I, pontes situadas em estradas-tronco federais e estaduais ou nas estradas de ligação principais entre esses troncos.

- Compressor de 24 tf
 - Peso Total do Compressor: 24 tf
 - Peso da Roda Dianteira: 10 tf
 - Peso de Uma Roda Traseira: 7 tf
 - Largura da Roda Dianteira: 100 cm
 - Largura de cada Roda Traseira: 50 cm
 - Distância entre os Eixos Dianteiro e Traseiro: 300 cm
 - Distância entre os Meios das Rodas Traseiras: 160 cm
- Caminhão de 12 tf
 - Peso Total do Caminhão: 12 tf
 - Peso de Uma Roda Dianteira: 2,00 tf
 - Peso de Uma Roda Traseira: 4,00 tf
 - Largura de Uma Roda Dianteira: 12 cm
 - Largura de Uma Roda Traseira: 24 cm
 - Distância entre os Eixos Dianteiro e Traseiro: 300 cm
 - Distância entre os Meios das Rodas: 160 cm



5.3.4 ESQUEMA PARA FORMAÇÃO DO TREM-TIPO

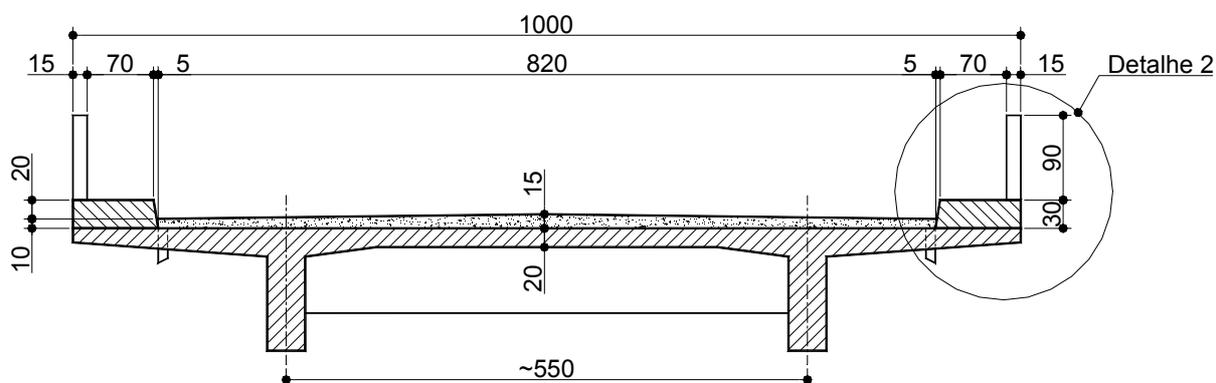


5.4 PONTES PROJETADAS DE 1960 A 1975

5.4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

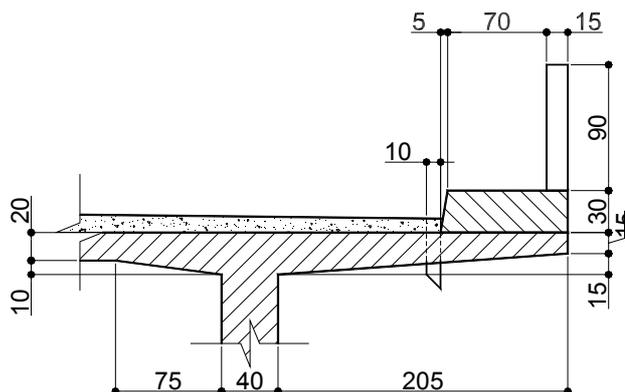
- Seção Transversal: largura total de 10,00m, largura de pista de 8,20m, dois guarda-rodas de 0,90m com dois guarda-corpos de 0,15/0,90m, sobre os guarda-rodas.
- Normas Brasileiras: NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960; Pontes Classe 36
- Cargas Móveis: Veículo de 36 tf, Multidão de 0,5 tf/m² e de 0,3 tf/m²
- Coeficiente de Impacto: $\varphi = 1,4 - 0,007 L$

5.4.2 SEÇÃO TRANSVERSAL



- Pista com largura de duas faixas de tráfego e duas faixas de segurança
- Guarda-rodas ineficazes
- Ausência de pingadeiras
- Drenos igualmente espaçados, inclusive sobre as salas de aterro
- Transversinas ligadas à laje
- Sobrelaje ou pavimentação de grande espessura

Detalhe 2

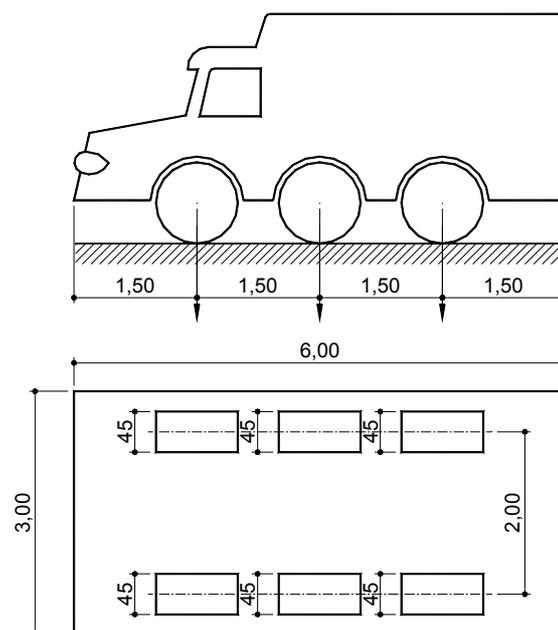


5.4.3 CARGAS MÓVEIS

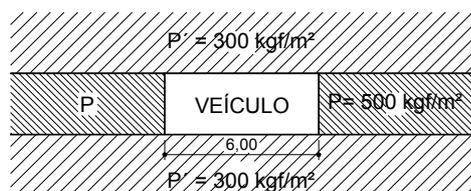
Serão reproduzidas apenas as características gerais das cargas móveis da Classe 36, obrigatórias para as rodovias da Classe I.

O trem-tipo compõe-se de um Veículo de 36 tf, de Multidão de 500 kg/m² na frente e atrás do Veículo e de Multidão de 300 kg/m² no restante da pista e nos passeios.

- Veículo de 36 tf
 - Quantidade de Eixos: 3
 - Peso Total do Veículo: 36 tf
 - Peso de Uma Roda Dianteira: 6tf
 - Peso de Uma Roda Traseira: 6tf
 - Peso de Uma Roda Intermediária: 6t
 - Largura de Contacto d Cada Roda: 0,45 m
 - Comprimento de Contacto de Cada Roda: 0,20 m
 - Distância entre os Eixos: 1,50 m
 - Distância entre os Centros de Rodas de cada Eixo: 2,00 m



5.4.4 ESQUEMA PARA FORMAÇÃO DO TREM-TIPO

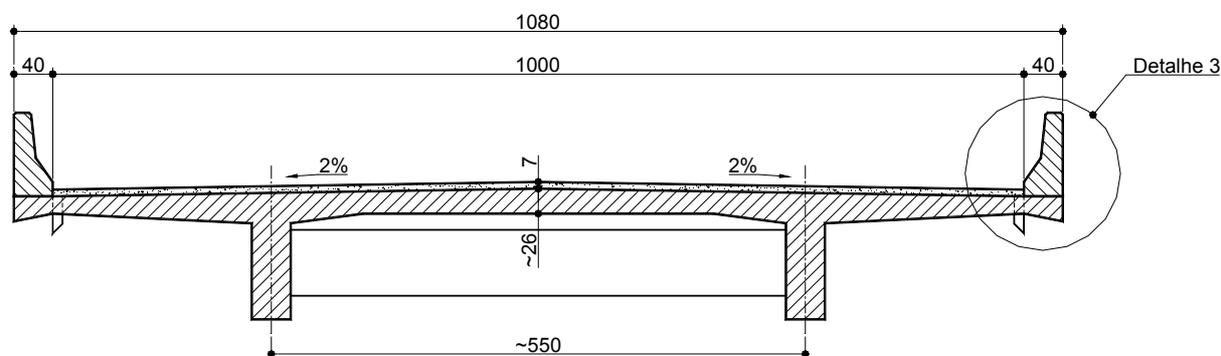


5.5 OBRAS PROJETADAS DE 1975 A 1985

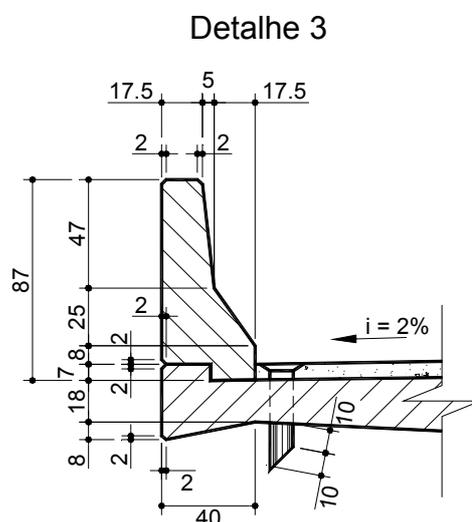
5.5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Seção Transversal: largura total $\geq 10,80\text{m}$ e largura de pista $\geq 10,00\text{m}$ e duas barreiras tipo New Jersey, de 0,40m.
- Normas Brasileiras: NB-1/1978, NB-2/1960 e NB-6/1960; Pontes Classe 36
- Cargas Móveis: Veículo de 36 tf e Multidão de 0,5 tf/m² e de 0,3 tf/m².
- Coeficiente de Impacto: $\phi = 1,4 - 0,007 L$

5.5.2 SEÇÃO TRANSVERSAL



- Largura da pista com incorporação parcial de acostamentos
- Barreiras tipo New Jersey, com pingadeiras
- Laje com declividades e sobrelaje de pequena espessura
- Drenos evitando saias de aterro
- Transversinas desligadas da laje



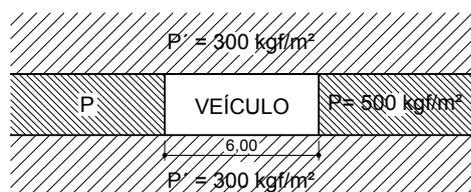
5.5.3 CARGAS MÓVEIS

Serão reproduzidas somente as características gerais das cargas móveis das Pontes Classe 45, obrigatórias para as rodovias federais,

O trem-tipo compõe-se de um Veículo de 36 tf, Multidão de 500 kg/m^2 na pista e Multidão de 300 kg/m^2 nos passeios.

- Veículo de 36 tf (Veja Item 5.4.3)

5.5.4 ESQUEMA PARA FORMAÇÃO DO TREM-TIPO

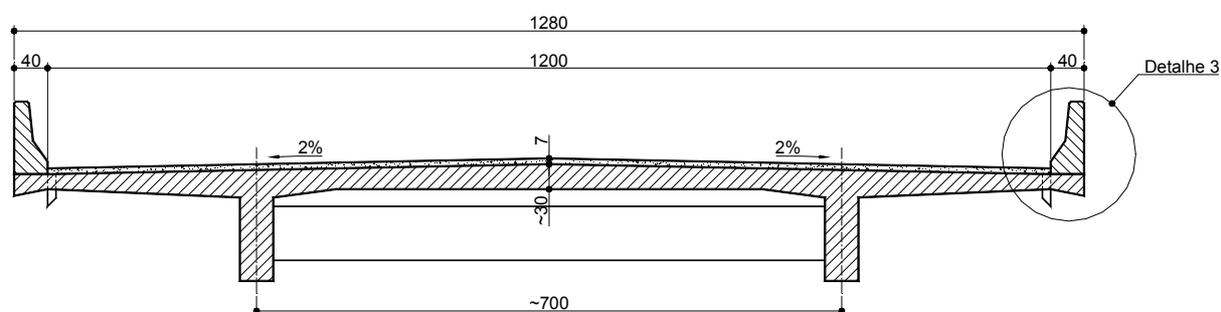


5.6 OBRAS PROJETADAS APÓS 1985

5.6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

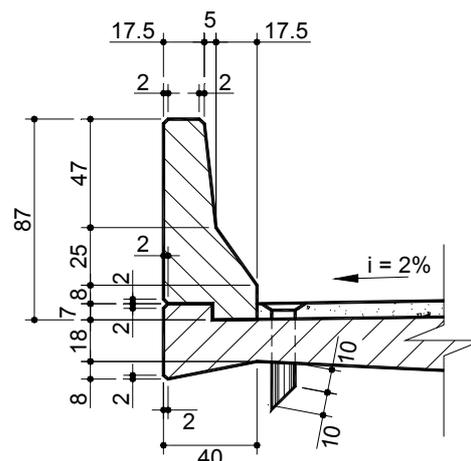
- Seção Transversal: largura total de 12,80 m, largura de pista de 12,00m e duas barreiras tipo New Jersey de 0,40m.
- Normas Brasileiras: NB-1/1978, NB-2/1987 e NB-6/1982 (NBR 7188/84)
- Cargas Móveis: Veículo de 45 tf e Multidão de $0,5 \text{ tf/m}^2$ e de $0,3 \text{ tf/m}^2$.
- Coeficiente de Impacto: $\phi = 1,4 - 0,007 L$

5.6.2 SEÇÃO TRANSVERSAL



Detalhe 3

- Largura da pista com incorporação integral de acostamentos
- Barreiras tipo New Jersey, com pingadeiras
- Laje com declividades e sobrelaje de pequena espessura
- Drenos evitando salas de aterro
- Transversinas desligadas da laje

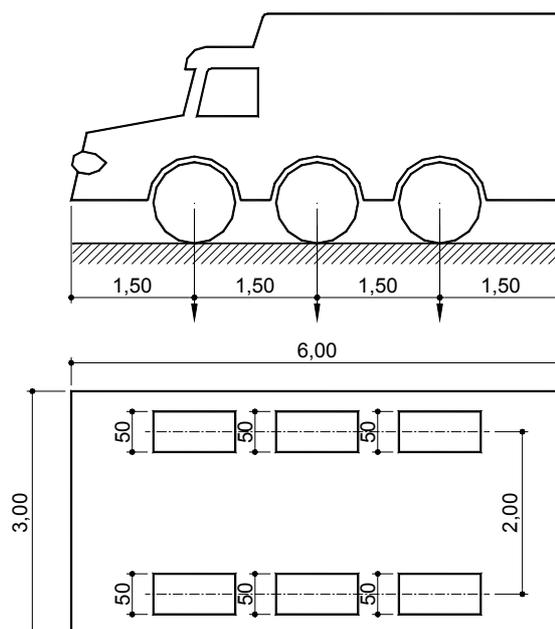


5.6.3 CARGAS MÓVEIS

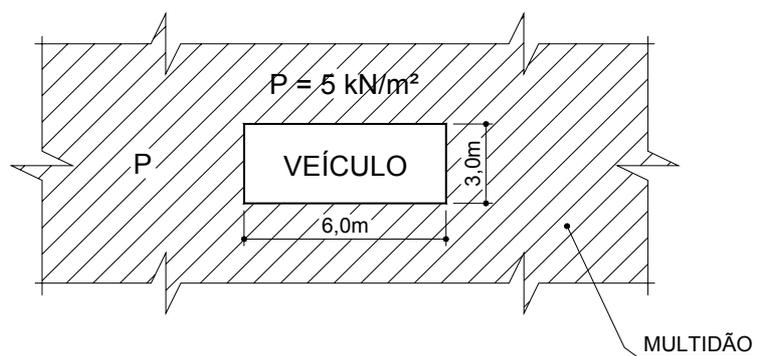
Serão reproduzidas somente as características gerais das cargas móveis das Pontes Classe 45, obrigatórias para as rodovias federais,

O trem-tipo compõe-se de um Veículo de 45 tf, Multidão de 500 kg/m^2 na pista e Multidão de 300 kg/m^2 nos passeios.

- Veículo de 45 tf (450 kN)
 - Peso Total do Veículo: 45 tf (450 kN)
 - Quantidade de Eixos: 3
 - Peso de Uma Roda Dianteira: 7,5 tf (75 kN)
 - Peso de Uma Roda Traseira: 7,5 tf (75 kN)
 - Peso de Uma Roda Intermediária: 7,5 tf (75kN)
 - Largura de Contacto de Cada Roda: 0,50 m
 - Comprimento de Contacto de Cada Roda: 0,20 m
 - Distância Entre os Eixos: 1,50 m
 - Distância Entre os Centros de Rodas dos Eixos: 2,00 m



5.6.4 ESQUEMA PARA FORMAÇÃO DO TREM-TIPO





PONTE SOBRE O RIO ABAETÉ, BR-040/MG, 146,00 X 10,00m

6 - FUNDAMENTOS DAS INSPEÇÕES DE PONTES



PONTE SOBRE O RIO POTÍ II, BR-343/PI, 362,00 X 14,80m

6 FUNDAMENTOS DAS INSPEÇÕES DE PONTES

6.1 INTRODUÇÃO

Na rede rodoviária brasileira existem pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios e solicitadas a suportar o tráfego de cargas móveis sempre crescentes; além disso, há um regular número de obras construídas com processos ou sistemas estruturais hoje condenados e um grande número de obras projetadas, detalhadas e construídas, na década de 60, utilizando o Aço CAT 50, sem a devida consideração da fadiga.

Este conjunto heterogêneo de obras, envelhecidas e degradadas, deve ser cuidadosa e regularmente inspecionado, para que sejam avaliadas capacidade de carga, segurança e conforto que oferecem aos usuários e as necessidades de manutenção e melhoramentos.

Neste Capítulo serão abordados os principais procedimentos a serem adotados nas inspeções, a preparação das inspeções, os equipamentos necessários, as práticas principais de segurança, bem como as responsabilidades e deveres do Inspetor de Pontes.

6.2 RESPONSABILIDADES E DEVERES DO INSPETOR DE PONTES

6.2.1 RESPONSABILIDADES

- a) Registrar minuciosamente, e com fidelidade, os itens que necessitam de reparos ou serviços de manutenção.
- b) Zelar pelo patrimônio público.
- c) Manter a segurança e a funcionalidade das obras e garantir a confiança do usuário.

6.2.2 DEVERES

- a) Planejar as Inspeções.
- b) Realizar as Inspeções.
- c) Preparar os Relatórios.
- d) Identificar os itens que necessitam de reparos e quantificar seus custos.

6.3 PLANEJAMENTO DA INSPEÇÃO

O sucesso da inspeção é grandemente dependente dos esforços despendidos no seu planejamento.

b) Elementos da Superestrutura

Aparelhos de apoio, vigamento principal, vigamento secundário, ancoragens e canalizações de utilidade pública.

c) Elementos da Infra-estrutura

Encontros, proteção de taludes, pilares, gabaritos vertical e horizontal, proteção dos pilares, fundações e cortinas ancoradas.

d) Elementos de Cursos D'água e Canais

Perfil e alinhamento, seção de vazão, margens e proteção, gabarito de navegação, sinalização, dolfins e/ou proteção dos pilares.

6.4 PROCEDIMENTOS DA INSPEÇÃO

6.4.1 PROCEDIMENTOS GERAIS

A inspeção de uma ponte deve ser conduzida de forma sistemática e organizada, de modo a garantir que todo elemento estrutural seja inspecionado; adequadas fichas de inspeção garantem este procedimento. O documentário fotográfico deve ser abrangente e completo: um mínimo de seis fotos deve registrar vista superior, vista inferior, vistas laterais e detalhes de apoios, articulações, juntas, etc.; defeitos eventualmente encontrados em qualquer elemento estrutural devem ser cuidadosamente examinados e registrados para permitir avaliar suas causas. Havendo possibilidade, a ponte deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas, para verificar se há vibrações ou deformações excessivas. Pode ser necessário, e deve ser considerado um procedimento obrigatório, efetuar a limpeza de determinadas áreas da ponte, para verificar se há trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos.

6.4.2 PROCEDIMENTOS PARTICULARES

A Inspeção deve incluir, mas não, necessariamente, ficar limitada às seguintes observações:

6.4.2.1 GEOMETRIA E CONDIÇÕES VIÁRIAS

Deve ser verificado o alinhamento da obra, se há deformações ou vibrações consideradas excessivas, se o tráfego flui livremente e em segurança e se há passeios para trânsito de pedestres. Nas pontes em curva, verificar se há superlargura e superelevação. Em viadutos e em pontes sobre rios navegáveis deve ser verificado se os gabaritos, horizontal e vertical, são satisfatórios e se há proteção, junto aos pilares, para choques de veículos ou embarcações.

6.4.2.2 ACESSOS

O estado da pavimentação dos acessos deve ser examinado para verificar a existência de irregularidades tais como assentamentos ou asperezas incomuns; estes defeitos podem causar impactos indesejáveis de veículos na entrada da ponte. Anotar a existência ou não de placas de transição e, em caso positivo, o seu estado e funcionamento. Devem também ser examinadas as juntas entre os acessos e a ponte, bem como as saias de aterro, a drenagem e a continuidade das barreiras, na rodovia e na ponte.

6.4.2.3 CURSOS D'ÁGUA

Deve ser avaliado se a seção de vazão disponível é suficiente, verificado se detritos e matérias flutuantes escoam livremente nos períodos de cheia e se há manifestação ou indícios de erosão; havendo assoreamento ou retenção de materiais por apoios intermediários, deve ser solicitada a desobstrução do curso d'água. Havendo enrocamentos ou outras proteções nas margens e nos apoios intermediários, deve ser verificada sua integridade e funcionamento. Em todas as travessias, mas principalmente nas mais importantes, deve ser mantido um registro atualizado do regime dos cursos d'água.

6.4.2.4 ENCONTROS E FUNDAÇÕES

Nas fundações diretas e superficiais deve ser verificado se há evidências de erosões ou descalçamentos; um exame adequado somente poderá ser efetuado em época de águas baixas. Nas fundações em estacas devem ser anotados os comprimentos livres, sem confinamento, e o estado das estacas, principalmente no trecho de variação do nível d'água.

As paredes dos encontros devem ser examinadas para verificar a possível existência de trincas resultantes de assentamentos, desalinhamentos ou desaprumos provocados por pressões dos aterros de acesso. Anomalias no concreto e corrosão de armaduras devem ser pesquisadas.

6.4.2.5 APOIOS INTERMEDIÁRIOS

Os pilares, maciços, parede ou isolados, bem como as vigas de contraventamento, devem ser examinados para verificar a possível existência de sinais de degradação do concreto e corrosão de armaduras. Particularmente importantes e perigosas são as trincas e quebras de cantos nos topos dos pilares e uma possível degradação do concreto e das armaduras nas bases dos pilares.

6.4.2.6 APARELHOS DE APOIO

Todos os aparelhos de apoio devem ser cuidadosamente examinados para verificação de seu estado e de seu funcionamento. Os aparelhos de apoio, que sofrem o reflexo de anomalias estruturais, tais como recalques de apoios, mau funcionamento de certos tipos de juntas de dilatação, movimentação de estrados esconsos, choques de materiais flutuantes nas grandes cheias, devem ser examinados para verificar se estão bem posicionados e alinhados, se podem mover-se livremente ou se a falta de conservação ou a presença de detritos também são causas de restrição. Os aparelhos de apoio metálicos devem estar isentos de ferrugem, bem lubrificados e com seus chumbadores em bom estado e os aparelhos de apoio elastoméricos não devem estar achatados, com faces abauladas e muito distorcidos.

6.4.2.7 SUPERESTRUTURAS

a) Superestruturas em Vigas e em Lajes Maciças

Verificar e anotar anomalias no concreto, tais como fissuras, trincas, deslocamentos, desagregações, disgregações, infiltrações e eflorescências, identificando suas causas prováveis, tais como drenagem deficiente, ausência de pingadeiras e trincas na laje. Verificar e anotar a existência de cobrimentos deficientes, de armaduras expostas e de armaduras corroídas.

b) Superestruturas em Caixão

As inspeções de estruturas em caixão somente serão completas e confiáveis se houver fácil e seguro acesso ao seu interior; se este acesso não existir, deve ser providenciada a execução de uma abertura na laje inferior, em posição adequada e, posteriormente, complementada a inspeção. Além de todas as verificações relacionadas no item anterior, deve ser comprovada a existência de drenos em número suficiente e localizados em pontos baixos da laje inferior.

6.4.2.8 PISTA DE ROLAMENTO

A pista de rolamento deve ser inspecionada para verificar se proporciona um tráfego fluente e seguro, se está íntegra ou incompleta, desgastada e trincada, se as declividades e a drenagem são satisfatórias, se há acúmulo de água na sua superfície e se a pista é escorregadia.

6.4.2.9 JUNTAS DE DILATAÇÃO

As juntas de dilatação devem ser cuidadosamente inspecionadas, anotando-se seu tipo, sua integridade e capacidade de vedação e se está funcionando livremente, não prejudicadas por acúmulo de detritos; devem ser medidas suas aberturas, simultaneamente com o registro da temperatura ambiente.

6.4.2.10 BARREIRAS E GUARDA-CORPOS

Inspeccionar as barreiras para verificar se são as padronizadas, tipo New Jersey, ou se são similares e oferecem proteção suficiente; registrar possíveis anomalias no alinhamento, no estado do concreto e no cobrimento e estado das armaduras.

6.4.2.11 SINALIZAÇÃO

Verificar e registrar a existência ou não de placas de sinalização na entrada da ponte e de sinalização da pista.

6.4.2.12 INSTALAÇÕES DE UTILIDADE PÚBLICA

Existindo dutos de utilidade pública, quase sempre de execução posterior ao projeto e construção da ponte, verificar se os dutos estão bem fixados, se há vazamentos de água ou gás e se os dutos de eletricidade estão bem isolados.

6.5 EQUIPAMENTOS DA INSPEÇÃO

Para que a inspeção seja completa e confiável há necessidade de serem utilizados equipamentos auxiliares que, basicamente, se alinham em dois grupos:

6.5.1 EQUIPAMENTOS COMUNS

a) Equipamentos de Limpeza

Escovas, vassouras, palhas-de-aço, lixas.

b) Equipamentos de Inspeção

Canivete, facão, martelo, chave de fenda, cinto suporte de ferramentas.

c) Equipamentos de Melhoria de Visão

Binóculo, luneta, lente com iluminação, espelho de inspeção, lanterna, líquido penetrante.

d) Equipamentos de Medição

Trena, paquímetro, fissurômetro, fio de prumo, nível de pedreiro, termômetro.

e) Equipamentos de Documentação

Prancheta, fichas cadastrais, lápis, borracha, esquadros, giz, câmera fotográfica de 35mm ou digital.

f) Equipamentos Complementares

Estojo de primeiros socorros, repelentes e material de higiene pessoal.

6.5.2 EQUIPAMENTOS ESPECIAIS

Os equipamentos citados a seguir não são, geralmente, utilizados em inspeções rotineiras e nem em pontes de pequeno porte; a necessidade de alguns deles poderá implicar em contratações com empresas especializadas.

- a) Equipamentos de Levantamentos Topográficos
- b) Equipamentos de Testes Não-Destrutivos
- c) Equipamentos de Inspeção Submersa
- d) Equipamentos de Jateamento de Ar, Água e Areia

6.6 MÉTODOS DE ACESSO

6.6.1 GENERALIDADES

A finalidade dos métodos de acesso é garantir que o Inspetor possa alcançar com segurança uma área a ser inspecionada e com uma proximidade tal que permita que esta área possa ser tocada com as mãos.

Os dois principais meios de alcançar áreas de difícil acesso de uma ponte são através de equipamentos de acesso e veículos de acesso.

6.6.2 EQUIPAMENTOS DE ACESSO

Equipamentos comuns de acesso incluem escadas, andaimes apoiados ou suspensos, plataformas apoiadas em torres tubulares e barcos ou balsas.

6.6.3 VEÍCULOS DE ACESSO

Os veículos especiais de acesso proporcionam um rápido e seguro acesso a todas as áreas de difícil alcance de uma ponte, mas dependem de sua própria disponibilidade e da real necessidade de sua utilização, visto que seu aluguel é de alto custo; são praticamente indispensáveis nas pontes de grandes vãos e de altura elevada, e convenientes quando um grande número de obras de um mesmo trecho deve ser inspecionado.



CAMINHÃO TIPO MUNK, COM BRAÇOS ARTICULADOS

Entre os veículos especiais de acesso, podem ser citados os caminhões tipo Munck que dispõem de braços articulados e cestas, e os “snoopers”, veículos com braços multi-articulados e cestas, que estacionam na pista da obra inspecionada e permitem alcançar toda a parte inferior do estrado ou, pelo menos, grande parte dela; os caminhões tipo Munck, em geral, não têm alcance para inspecionar toda a parte inferior do estrado, mas apenas suas faces laterais e trechos contíguos da parte inferior.

6.7 PRÁTICAS DE SEGURANÇA

6.7.1 FUNDAMENTOS DA SEGURANÇA

As inspeções somente poderão ter seus riscos minimizados se houver uma geral conscientização da equipe, Inspetor e Auxiliares, da necessidade de ser criado um ambiente seguro e sadio de trabalho; para isto é necessário, no mínimo:

- a) Manter a equipe descansada, alerta e interessada.
- b) Verificar se os membros da equipe gozam de boa saúde e estão em boa forma física.
- c) Utilizar equipamentos e ferramentas adequadas.
- d) Manter as áreas de trabalho limpas e desobstruídas.
- e) Estabelecer procedimentos sistemáticos e atribuir tarefas bem definidas.
- f) Observar as recomendações básicas de segurança de trabalho.
- g) Evitar excessos na alimentação e abolir uso de bebidas ou drogas.
- h) Não estacionar o veículo na ponte ou entrada da ponte e sim na saída.
- i) Verificar a presença de colméias de abelhas e ninhos de maribondos.

6.7.2 PROTEÇÃO PESSOAL

6.7.2.1 VESTIMENTA ADEQUADA

O Inspetor e Auxiliares devem vestir-se adequadamente para as inspeções: botas de couro com solado anti-derrapante, calças resistentes que permitam livre movimentação, cinto especial para acomodar pequenas ferramentas e bloco de notas, e camisas com bolsos, resistentes e de mangas compridas.

6.7.2.2 ACESSÓRIOS DE SEGURANÇA

- a) Obrigatórios
Capacete e colete reflexivo.

b) Eventuais

Colete salva-vidas, cinto de segurança, luvas e máscaras

6.7.3 CAUSAS DE ACIDENTES

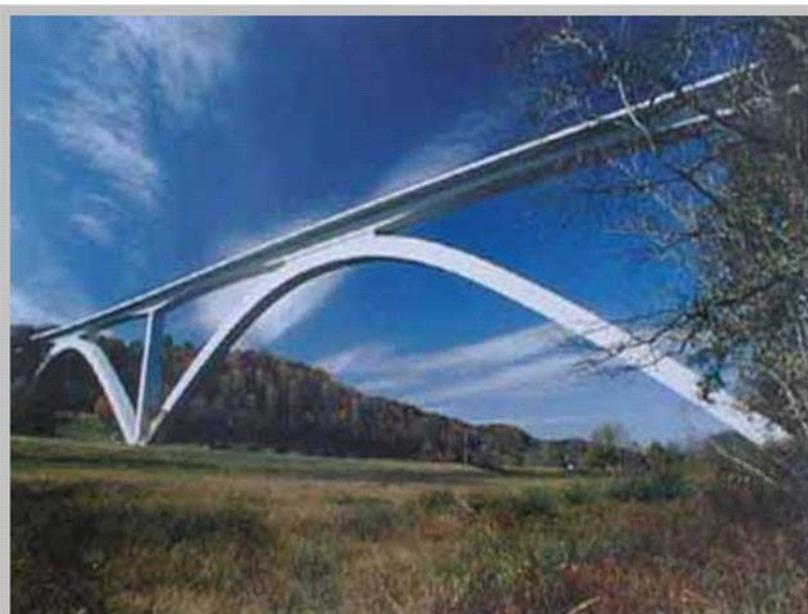
6.7.3.1 CAUSAS GERAIS

As duas maiores causas de acidentes são erro humano e falha de equipamento. O erro humano pode ser reduzido, reconhecendo-se que todos são suscetíveis de incorrer nele e melhorando o planejamento e os procedimentos para minimizar seus efeitos; as falhas de equipamento podem ser reduzidas com inspeção, manutenção e modernização adequadas.

6.7.3.2 CAUSAS ESPECÍFICAS

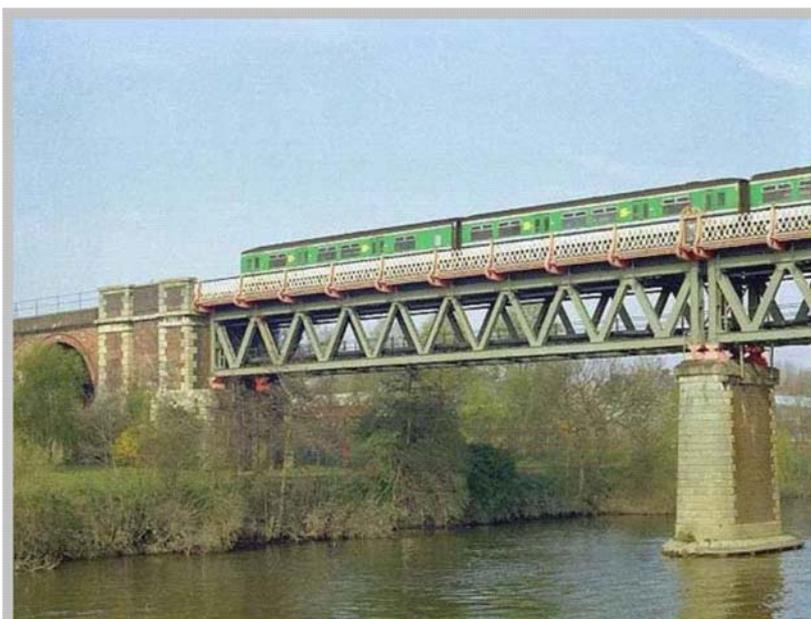
Algumas das causas específicas de acidentes estão listadas a seguir:

- a) Atitude Imprópria: distração, descuido, preocupação com problemas pessoais.
- b) Limitações Pessoais: falta de conhecimento, despreparo físico.
- c) Tédio e/ou Aborrecimento: execução de tarefas repetitivas e de rotina.
- d) Queima de Etapas: finalidade de reduzir tempo necessário para execução do serviço.
- e) Equipamento Defeituoso: degraus de escadas, cordas e cabos desgastados.
- f) Vestimenta Imprópria.



NATCHEZ TRACE BRIDGE, TENNESSEE, U.S.A.

7 - QUALIFICAÇÃO DE INSPETORES DE PONTES E AUXILIARES TÉCNICOS



PONTE METÁLICA FERROVIÁRIA, SOBRE O RIO SEVERN, ENGLAND

7 QUALIFICAÇÃO DE INSPETORES DE PONTES E AUXILIARES TÉCNICOS

7.1 DEFINIÇÃO DE ATRIBUIÇÕES

As Inspeções Cadastral, Rotineira e Intermediária devem ser feitas por Inspetores, auxiliados, se for o caso, por Auxiliares Técnicos.

As Inspeções Extraordinária e Especial devem ser feitas por Inspetores, auxiliados, se for o caso, por Consultores e Auxiliares Técnicos.

7.2 QUALIFICAÇÃO DOS INSPETORES

O Inspetor será, sempre, um Engenheiro Diplomado, registrado no CREA; dependendo das responsabilidades que lhe serão atribuídas, deverão ser comprovados:

- a) Para inspecionar uma única obra de comprimento igual ou inferior a duzentos metros e que não inclui nenhuma estrutura não convencional:
 - Mínimo de cinco anos de experiência em projeto de pontes.
 - Mínimo de cinco anos de experiência em inspeção de pontes.
 - Perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.

Estes são os requisitos mínimos de um Inspetor.

- b) Para inspecionar uma estrutura especial ou supervisionar a inspeção de um conjunto de obras:
 - Mínimo de cinco anos de experiência em projeto, execução e restauração de pontes.
 - Mínimo de dez anos de experiência em inspeção de pontes.
 - Perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.

Estes são os requisitos mínimos de um Inspetor Sênior.

7.3 QUALIFICAÇÃO DOS AUXILIARES TÉCNICOS

Os Auxiliares Técnicos devem atender aos seguintes requisitos:

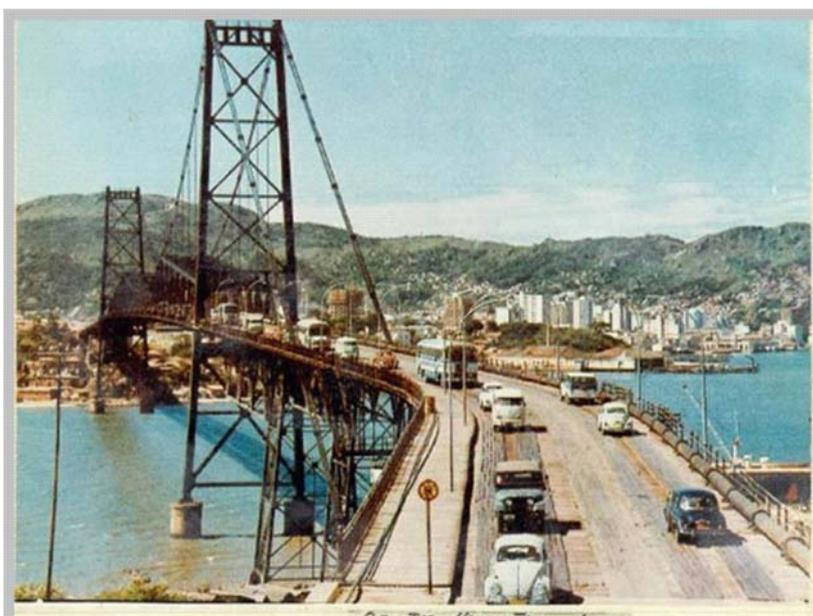
- a) ter o curso de segundo grau, completo;
- b) possuir boas condições físicas, podendo eventualmente subir e descer em estruturas altas com meios improvisados, tais como escadas de marinho, cordas, etc. ;
- c) demonstrar habilidade para desenhar, à mão livre, esquemas de obras, apoios, etc., com as respectivas dimensões;

- d) demonstrar habilidade para ler os desenhos do projeto estrutural, quando disponível, verificando se a obra foi construída conforme os desenhos;
- e) demonstrar habilidade para tirar fotografias;
- f) demonstrar conhecimento de instrumentos de medidas, tais como réguas, trenas, paquímetros, réguas comparadoras, calibres e termômetros;
- g) possuir motivação para o trabalho, procurando aumentar sua experiência e capacidade de observação de defeitos;
- h) demonstrar perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.



PONTE SOBRE O RIO JACAREÍ, BR-343/PI, 30,40 X 8,20m

8 - PROPRIEDADES E DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS



PONTE HERCÍLIO LUZ, PÊNSIL, EM FLORIANÓPOLIS,
LIGAÇÃO ILHA CONTINENTE

8 PROPRIEDADES E DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS

8.1 INTRODUÇÃO

O comportamento de uma ponte, sujeita a cargas móveis, à agressividade do meio ambiente e à deterioração, é influenciado pelas propriedades físicas e mecânicas dos materiais usados em sua construção.

O conhecimento destas propriedades e das vantagens e desvantagens da utilização dos diferentes materiais empregados na construção de pontes, de madeira, de concreto ou de aço, é indispensável a quem se proponha a fazer uma inspeção confiável de qualquer estrutura; neste Manual, apenas serão consideradas as pontes de concreto armado e as pontes de aço.

A finalidade da inspeção de uma ponte é verificar e registrar seu estado, avaliar sua integridade e a segurança que oferece ao usuário e ao tráfego irrestrito das cargas móveis convencionais; para estar habilitado a realizar esta inspeção, o Inspetor deverá ter pleno conhecimento dos processos de deterioração que podem reduzir a integridade da ponte, a segurança que oferece e sua capacidade de carga; este conhecimento permite que o Inspetor possa avaliar as causas da deterioração, a velocidade de sua progressão e as providências que devem ser tomadas.

8.2 CONCRETO

8.2.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO

a) Composição do Concreto

O concreto é uma composição de vários ingredientes distintos, sendo o cimento o mais importante deles; quando estes ingredientes são misturados em proporções adequadas, eles reagem quimicamente para formar um material de construção forte, resistente e durável, muito adequado para moldar os elementos estruturais de uma ponte.

Os elementos básicos do concreto são: o cimento, a água, os agregados e o ar incorporado; a estes elementos básicos, para melhorar ou introduzir certas propriedades, podem ser acrescentados os aditivos e as adições.

O Cimento Portland é o tipo de cimento mais usado na construção de pontes; por definição, é um aglomerante hidráulico constituído de uma mistura de clínquer Portland e gesso, sendo o clínquer um produto da queima, em forno rotativo, de uma mistura adequada de calcário e argila. Os Cimentos Portland normalizados pela ABNT são o Comum, o Composto, o de Alto-Forno, o Pozolânico, o de Alta Resistência Inicial, o Resistente a Sulfatos e o de Baixo Calor de Hidratação, devendo ser utilizado o que melhor proporciona as propriedades desejadas, do concreto e/ou da argamassa.

O segundo ingrediente do concreto é a água; embora, basicamente, toda água potável seja adequada para confecção do concreto, devem ser evitadas as águas com gosto e/ou cheiro fortes. Impurezas na água, tais como produtos químicos e/ou orgânicos, açúcar, sal e algas que podem produzir efeitos indesejados na mistura.

O terceiro ingrediente do concreto são os agregados, que respondem por cerca de 75%, em volume, da mistura de um concreto normal. Os agregados devem ter algumas características indispensáveis para que se obtenha um concreto resistente e durável: boas resistências à abrasão e às intempéries, estabilidade química, textura não porosa, limpeza e granulometria uniforme. Os agregados típicos de um concreto de 2,4 tf/m³ são: areia e pedra britada ou cascalho, seixo rolado e escória de alto-forno resfriada.

O quarto ingrediente é o ar; pequenas quantidades de ar entranhado, desde que com distribuição uniforme, provocam um aumento na durabilidade, uma redução na fissuração, um aumento da trabalhabilidade e uma redução na segregação da água.

b) Propriedades Físicas

As principais propriedades físicas do concreto são:

- Sensibilidade à variação de temperatura: o concreto se expande com o aumento da temperatura e se contrai com sua redução.
- Porosidade: em consequência da existência de ar entranhado, a pasta de cimento nunca preenche completamente os espaços entre as partículas do agregado, permitindo a absorção da água e a passagem da água sob pressão.
- Sensibilidade à umidade: o concreto se expande com o aumento da umidade e se contrai com sua redução.
- Resistência ao fogo: um concreto de boa qualidade tem grande resistência aos efeitos do calor, tanto no que se refere à temperatura como ao tempo de incidência; entretanto, temperaturas superiores a 350° C, e exposição prolongada podem ser prejudiciais.

c) Propriedades Mecânicas

As principais propriedades mecânicas do concreto são:

- *Resistência*: o concreto simples, normal e sem armadura, tem uma resistência à compressão variando de cerca de 150 kgf/cm² a 300 kgf/cm², ou 15 MPa a 30 MPa, uma resistência à tração de apenas 10% da resistência à compressão e uma resistência à força cortante de cerca de 14% de sua resistência à compressão; atualmente, há concretos de alta resistência, com resistência à compressão variando de 500 kgf/cm² a 800 kgf/cm², ou 50 MPa a 80 MPa, e concretos de alto desempenho, com resistência à compressão atingindo cerca de 2.000 kgf/cm², ou 200 MPa.
- *Elasticidade*: no regime elástico, isto é, na amplitude do uso normal, o concreto tem a propriedade de se deformar e de recuperar a configuração inicial; o módulo

de elasticidade do concreto varia com sua resistência à compressão, podendo ser utilizada, para sua avaliação, a expressão da NBR 6118/2003: $E = 5.600 f_{ck}^{1/2}$, em MPa.

- *Fluência*: além da deformação elástica, o concreto está sujeito a uma deformação continuada, que pode atingir de 100% a 200% da deformação elástica inicial, quando sob a aplicação de uma carga sustentada.
- *Isotropia*: o concreto simples, sem armadura, tem as mesmas propriedades mecânicas, qualquer que seja a direção da aplicação da carga.
- *Aumento de Resistência*: o aumento da quantidade de cimento, a melhoria da qualidade dos agregados, a redução do fator água-cimento, a redução da quantidade de ar entranhado, a incorporação de aditivos e o maior tempo de cura, são os principais fatores que possibilitam um aumento de resistência do concreto.

d) Concreto Armado

O concreto, em virtude de sua grande resistência à compressão, é um excelente material de construção de pontes; entretanto, sua limitada resistência à tração, que chega a ser desprezada nos cálculos e dimensionamentos, provoca a necessidade da utilização de armaduras de aço nas zonas tracionadas.

Os aços utilizados, em barras de seção circular, podem ter superfícies lisas, ou com mossas ou espiras; nos aços lisos, a aderência ao concreto é inferior; aços de maior resistência mecânica implicam na utilização de concreto de melhor qualidade.

O concreto armado, basicamente, é uma estrutura fissurada; a utilização adequada de armaduras, na quantidade, no diâmetro e na distribuição, dificulta, mas não inibe o aparecimento de fissuras, que passam, entretanto, a ser melhor distribuídas e a ter menores aberturas.

e) Concreto Protendido

O concreto protendido, obtido através da aplicação de forças externas de compressão em uma peça de concreto armado convencional, apresenta grandes vantagens:

- reduz ou elimina as zonas de tração do concreto, evitando o aparecimento de fissuras;
- permite a utilização de peças mais leves, visto que toda a seção de concreto, e não apenas parte dela, contribui para absorver as solicitações;
- em igualdade de condições geométricas, as peças de concreto protendido têm deformações menores que as de concreto armado convencional;
- necessita de quantidades menores de armaduras passivas, isto é, não protendidas.

8.2.2 CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

O concreto, como todos os demais materiais, está sujeito à degradação natural; entretanto, várias causas, grupadas a seguir, podem apressar a degradação das estruturas de concreto armado, em particular as pontes:

- a) projeto inadequado, na concepção, no dimensionamento, no detalhamento e nas especificações;
- b) construção sem controle de qualidade, podendo gerar escoramentos e fôrmas defeituosas, má colocação de armaduras, cobrimentos insuficientes, concreto com qualidades inferiores às especificadas, ausência de plano de concretagem ...;
- c) manutenção inexistente ou inadequada;
- d) utilização inadequada da estrutura, submetendo-a a sobrecargas imprevistas;
- e) causas de origem química, tais como reações internas do concreto, presença de cloretos, presença de água, presença de anidrido carbônico, presença de ácidos e sais;
- f) causas de origem física, tais como ação do calor, do vento e da água;
- g) causas de origem mecânica, tais como choques de veículos e embarcações, acidentes de origem diversa e recalque de fundações;
- h) causas de origem biológica, mais raras, tais como o crescimento de vegetais nas juntas, de raízes sob fundações diretas e superficiais e a ação de insetos, tais como cupins e formigas.

8.2.3 PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

8.2.3.1 FISSURAÇÃO

A fissura é uma fratura linear no concreto que pode se estender parcial ou completamente através do elemento; excetuados alguns casos particulares, a fissuração, isoladamente, não indica perda de resistência ou de durabilidade: nos elementos de concreto armado convencional, a fissuração pode ser inevitável, em virtude de tensões de tração provocadas pela flexão, força cortante, torção e restrições à movimentação.

A NB-1/78 considerava que a fissuração seria nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto armado, não protendido, ultrapassava os seguintes valores:

- a) 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- b) 0,2 mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- c) 0,3 mm para peças protegidas.

Os regulamentos internacionais são um pouco mais tolerantes; em estruturas protendidas, esses mesmos regulamentos permitem uma abertura de fissura de 0,2mm.

A NBR 6118/2003, que entrou em vigor em 30/04/04, apresenta na Tabela 13.3 as Exigências de Durabilidade Relacionadas à Fissuração e à Proteção da Armadura, em Função de Agressividade Ambiental; é uma Tabela que considera o tipo de concreto estrutural, a classe de agressividade ambiental e o tipo de protensão, as exigências relativas à fissuração e a combinação de ações em serviço a utilizar; de maneira menos simples e mais completa, podem ser obtidas as aberturas de fissuras toleráveis.

As fissuras podem ser classificadas como capilares, médias ou grandes; estas últimas, se ultrapassarem a abertura de 0,5mm, devem ser consideradas trincas. As fissuras capilares, que não reduzem a capacidade da estrutura, não precisam ser registradas; as fissuras médias e grandes, visíveis sem instrumentos, e todas as fissuras em estruturas de concreto protendido, devem ser mapeadas, no comprimento, na largura, na locação e na orientação. A presença de ferrugem, a eflorescência e a movimentação das fissuras não estabilizadas ou vivas, em contraposição às estabilizadas ou mortas, devem ser anotadas.

As causas da fissuração podem ser variadas e, nem sempre, de fácil identificação; entretanto, as mesmas causas produzem idênticos padrões de fissuras, o que facilita bastante a tarefa do Inspetor. As principais causas são as que se relacionam a seguir:

- a) cura deficiente;
- b) retração;
- c) expansão;
- d) variações de temperatura;
- e) ataques químicos;
- f) excesso de carga;
- g) erros de projeto;
- h) erros de execução;
- i) recalques diferenciais

As três primeiras causas são próprias do concreto, como material e, as demais, devidas a erros de projeto, de utilização ou de execução.

Basicamente, as fissuras de origem estrutural, causadas pelas tensões provocadas pela carga permanente e pela carga móvel são:

- a) Fissuras de Flexão
- b) Fissuras de Força Cortante
- c) Fissuras de Torção

As fissuras de flexão são verticais, têm início na zona de tração máxima ou na zona de momento fletor máximo e prosseguem até a zona de compressão; eventualmente, quando

é grande a deficiência de armadura, as fissuras de flexão podem se estender além do início da zona de compressão. Em vigas, nas proximidades dos centros dos vãos, as fissuras de flexão podem ser encontradas nas faces inferiores, prolongando-se pelas faces laterais e, nos apoios, elas podem ser encontradas nas faces superiores, prolongando-se pelas faces laterais.

As fissuras de força cortante são fissuras com inclinação pronunciada que ocorrem nas almas das vigas, nas proximidades dos apoios; são bem mais perigosas que as fissuras de flexão, visto que podem prenunciar uma ruptura frágil.

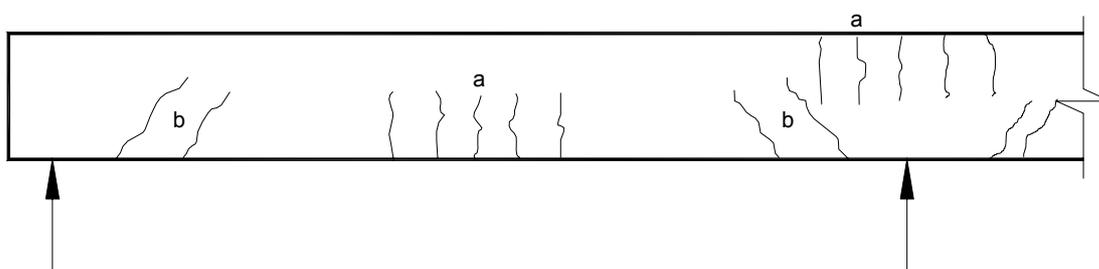
As fissuras de torção são semelhantes às da força cortante, mas com direções contrárias nas faces opostas.

Alguns outros tipos de fissuras de origem estrutural, tais como fissuras em topos de pilares isolados e fissuras em pilares-parede, serão abordados no Capítulo 13, Inspeção e Avaliação dos Aparelhos de Apoio, e no Capítulo 14, Inspeção e Avaliação das Infra-Estruturas.

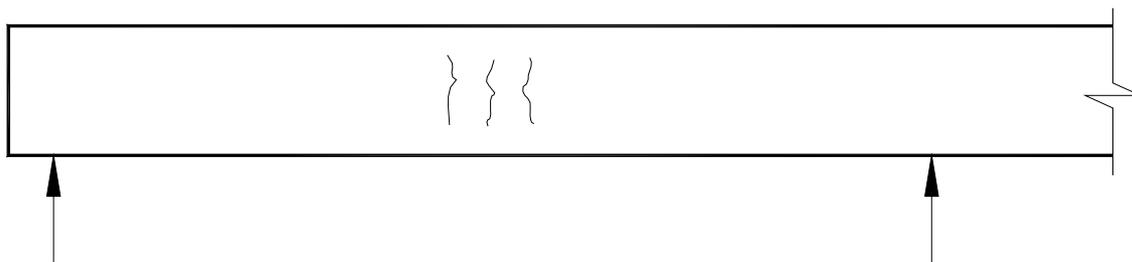
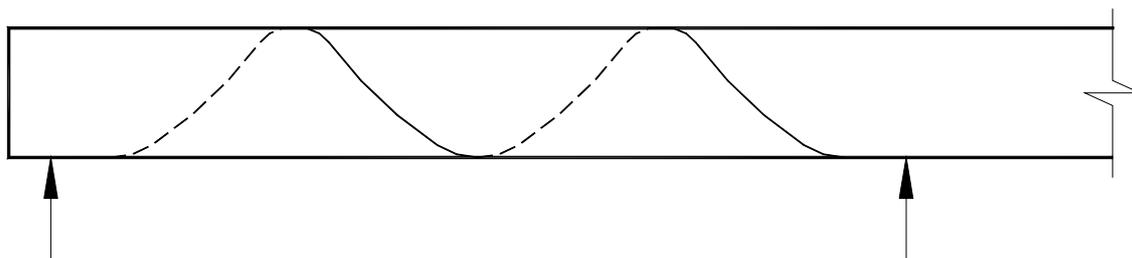
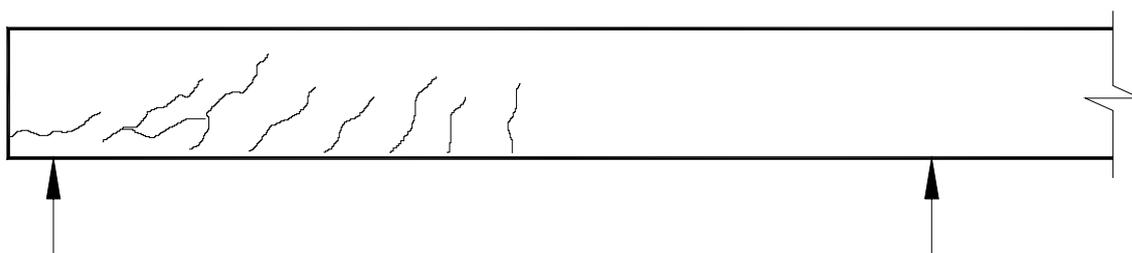
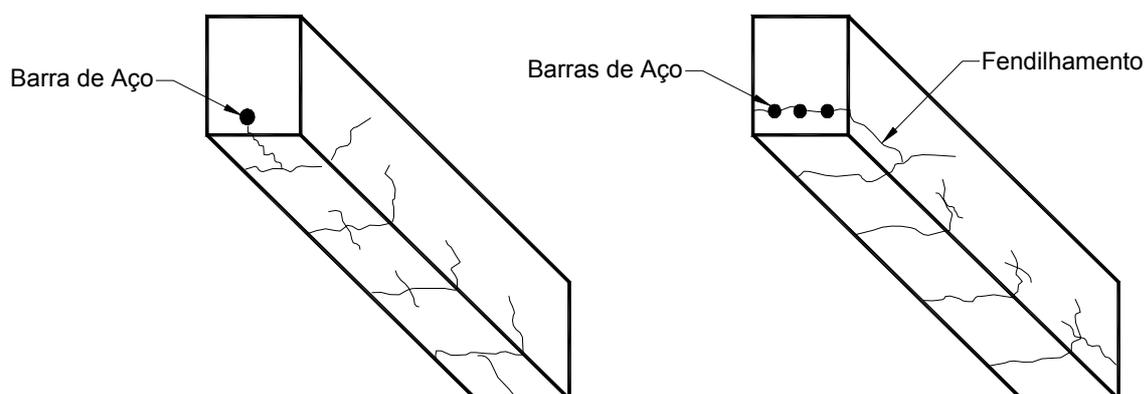
Alguns esquemas de elementos estruturais com trincas, fissuras e outras patologias são apresentados a seguir; convém notar que estas descontinuidades somente ocorrem em peças mal dimensionadas e mal detalhadas. Estes esquemas estarão melhor ilustrados com as fotografias de casos reais de patologias que encerram este Capítulo 8.

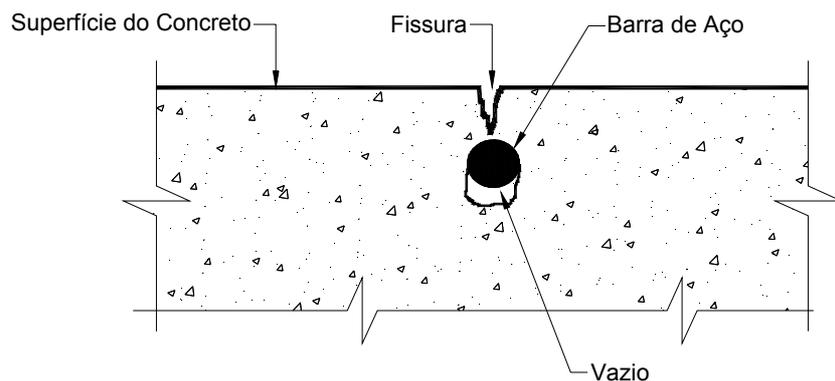
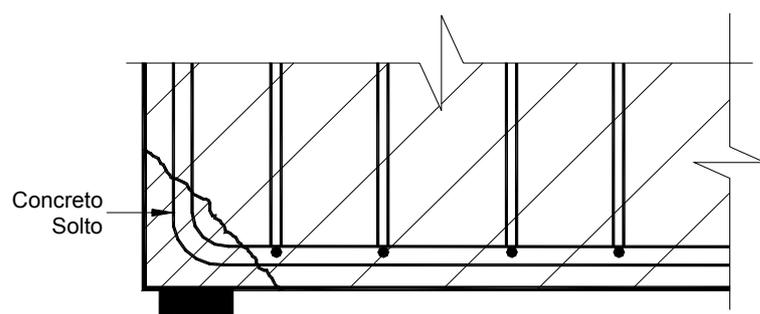
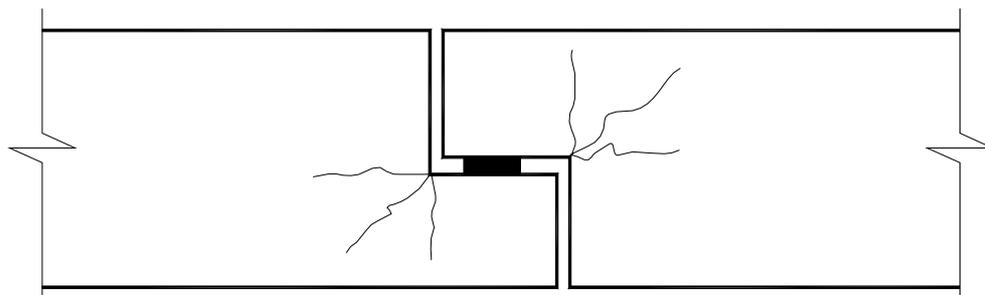
8.2.3.1.1. VIGAS

a) Fissuras de Flexão e Cisalhamento



a - Fissuras de Flexão
b - Fissuras de Cisalhamento

b) Fissuras de Retração e Temperatura**c) Fissuras de Torção****d) Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura****e) Fissuras por Corrosão de Armaduras**

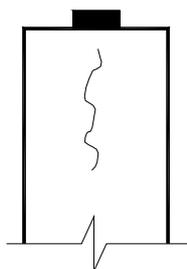
f) Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais**g) Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados****h) Fissuras e/ou Trincas em Dentes de Articulação: Dependendo da gravidade, há riscos de ruptura frágil**

8.2.3.1.2. PILARES

a) Pilares Isolados e Parcialmente Carregados

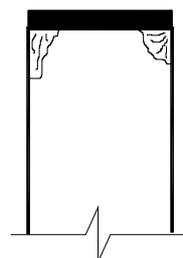
Seção Longitudinal

Fissuras por Deficiência de Fretagem

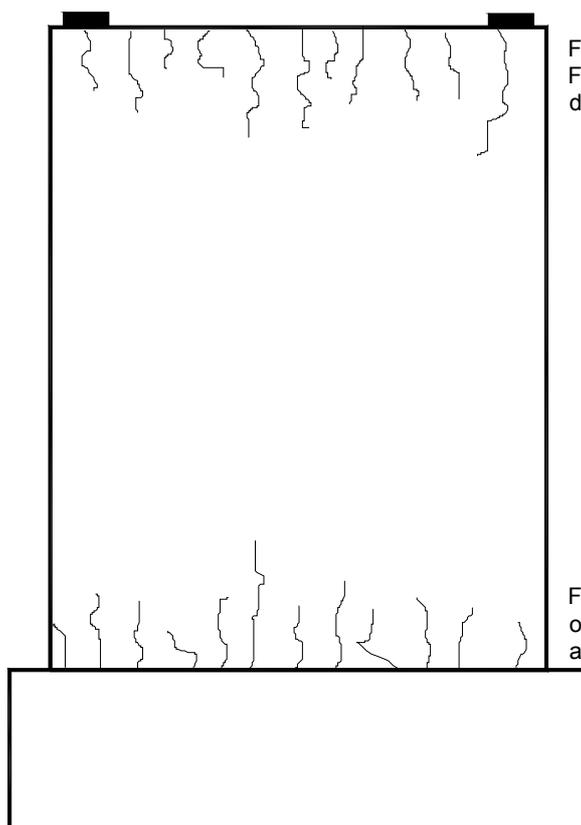


Seção Transversal

Quebra de Cantos por Falta de Folgas entre Extremidades de Placas e Pilares



b) Pilares Parede e Parcialmente Carregados

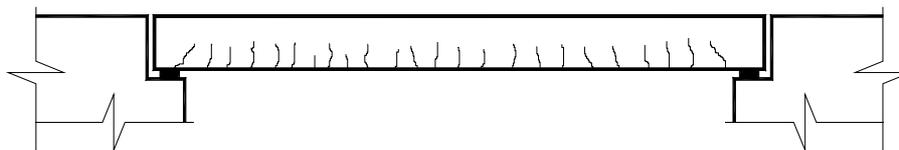


Fissuras por Insuficiência ou Ausência de Fretagem e Armadura de Tração no Topo do Pilar

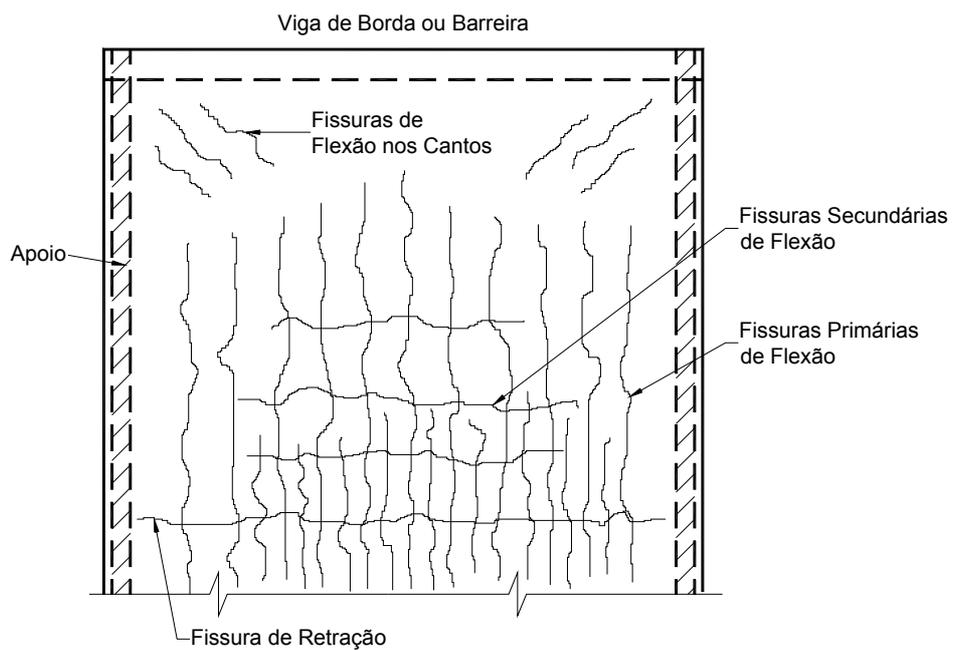
Fissuras de Defasagens de Concretagem: o concreto mais antigo do bloco restringe a retração do pilar

8.2.3.1.3. LAJE ARMADA EM UMA DIREÇÃO

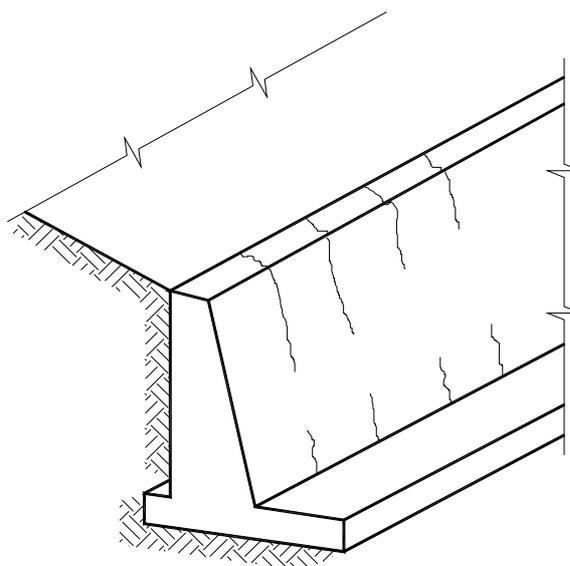
Seção Longitudinal



Planta



8.2.3.1.4. FISSURAS TÍPICAS DE RETRAÇÃO EM MUROS DE ARRIMO



8.2.3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS DO CONCRETO

As armaduras das estruturas de concreto armado estão, em princípio, protegidas e passivadas contra a corrosão, que é, basicamente, a sua deterioração por ação química ou eletro-química; esta proteção é proporcionada pelo revestimento, que forma uma barreira física ao ingresso de agentes externos e, principalmente, por uma proteção química, proporcionada pela alta alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto.

A água, o oxigênio e os íons cloreto desempenham papéis importantes na corrosão das armaduras e fissuração do concreto; daí resulta a necessidade de limitar e controlar a permeabilidade do concreto, dos conteúdos máximos de cloreto permissíveis no cimento, bem como efetuar adensamento e cura adequados na execução do concreto.

Conforme consta em bibliografia especializada, a corrosão de armaduras figura como a terceira patologia de maior incidência nas estruturas de concreto armado; os efeitos degenerativos da corrosão das armaduras manifestam-se na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, fissuras, destacamento do concreto de revestimento, redução da seção resistente das armaduras e até rompimento de estribos, e redução e eventual perda de aderência das armaduras principais.

8.2.3.3 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO PROTENDIDO

Elementos de concreto protendido podem ter sua capacidade resistente reduzida em consequência de várias formas de deterioração do concreto e da incorreta avaliação de certos fenômenos já bastante conhecidos e quantificados; além disto, estes elementos são particularmente sensíveis à corrosão e à fadiga em fissuras isoladas. Causas da deterioração de elementos de concreto protendido, algumas delas podendo implicar em colapso, estão relacionadas a seguir:

- a) perda de aderência entre o aço tensionado e o concreto;
- b) relaxação do aço de protensão;
- c) retração do concreto;
- d) fluência do concreto;
- e) corrosão do aço de protensão, quando em tensão, "stress corrosion".

8.2.3.4 DESAGREGAÇÕES

A desagregação do concreto é um dos sintomas mais característicos da existência de um ataque químico; quando acontece, o cimento perde seu caráter aglomerante, deixando os agregados livres.

O fenômeno da desagregação se inicia na superfície dos elementos do concreto, por uma mudança de coloração; segue-se um aumento na abertura das fissuras

entrecruzadas que surgiram e de um empolamento das camadas externas do concreto, devido aos aumentos de volume que o concreto experimenta; finalmente, acontece a desintegração da massa do concreto, com seus materiais componentes perdendo a coesão e, o conjunto, a sua resistência, com a destruição do cimento.

A causa principal das desagregações é, quase sempre, a presença dos sulfatos e dos cloretos; concreto com cimento inadequado ao meio ambiente, ou preparado com aditivo acelerador de pega com excesso de cloreto ou, ainda, imperfeitamente adensado, pode dar origem ao fenômeno da desagregação.

8.2.3.5 DISGREGAÇÕES

Diferentemente da desagregação, a disgregação é consequência de fenômenos físicos, tais como solicitações internas que provocam fortes trações localizadas e sobrecargas anormais, provocando substanciais deformações nos elementos estruturais; entretanto, um dos motivos mais freqüentes de disgregações é a corrosão de armaduras, onde a grande pressão exercida pela camada expansiva do óxido de ferro provoca um forte estado de tensões no concreto.

A disgregação do concreto se caracteriza por rupturas do mesmo, especialmente em zonas salientes das peças; o concreto disgregado é um concreto são, que conserva suas boas características de origem, mas que foi incapaz de suportar as solicitações anormais a que foi submetido.

8.2.3.6 CARBONATAÇÃO

Carbonatação do concreto é a transformação dos compostos do cimento hidratado em carbonatos, por ação do gás carbônico, CO_2 ; a carbonatação, apesar de responsável por um pequeno incremento de retração do concreto, não prejudica, por si só, o concreto simples: os concretos carbonatados são até mais resistentes e mais impermeáveis à penetração de agentes agressivos que os mesmos concretos não carbonatados. Entretanto, a carbonatação provoca uma redução de alcalinidade da solução presente nos poros ao redor das armaduras: o pH do carbonato de cálcio, CaCO_3 , em torno de 8 a 9, reduz a estabilidade química da capa passivadora do aço, em torno de 13 a 14, facilitando o início da corrosão da armadura e o surgimento de fissuras.

As fissuras permitem a absorção de umidade, que tem sua presença no concreto evidenciada pela formação de depósitos superficiais de cor branca, conhecidos como eflorescência; esta é a combinação do carbonato de cálcio, extraído da pasta do cimento com outros carbonatos e compostos de cloretos.

8.2.3.7 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO OU ÁLCALI-SÍLICA

A reação química entre os íons alcalinos do cimento Portland, íons hidroxila e certos constituintes silicosos, que podem estar presentes nos agregados, denomina-se reação

álcali-agregado ou reação álcali-silica; esta reação, que provoca expansão e fissuração no concreto, ocasionando perda de resistência, de elasticidade e de durabilidade, pode manifestar-se também através de pipocamentos e exsudação de um fluido viscoso álcali-silicoso.

Atualmente, o fenômeno está bastante divulgado, sendo conhecidas as características dos cimentos e agregados que contribuem para a reação álcali-silica.

8.2.3.8 DESGASTE DE SUPERFÍCIE

O desgaste das superfícies do concreto pode ter várias origens, estando as principais relacionadas a seguir:

a) Uso Continuado

Nas superfícies sujeitas ao tráfego, como as pistas de rolamento.

b) Abrasão

A ação abrasiva é mais acentuada em elementos de concreto, tais como tubulões e pilares, mergulhados em água e sujeitos à ação de correntezas, que sempre transportam partículas que se chocam contra as superfícies de concreto.

A abrasão provocada pelo vento, salvo casos excepcionais, é muito menos significativa.

8.2.3.9 LIXIVIAÇÃO

Os compostos hidratados da pasta de cimento podem ser dissolvidos e carreados pela ação de águas puras, de águas carbônicas agressivas ou de águas ácidas; inicialmente, toda a areia do revestimento é carregada, dando uma aparência peculiar e bastante conhecida ao elemento estrutural, caracterizando a lixiviação.

8.2.3.10 VAZIOS DE CONCRETAGEM

Os vazios de concretagem, ou “ninhos”, são espaços vazios que podem estar presentes dentro da massa de concreto; são causados por inadequada vibração e adensamento durante a construção, resultando na segregação do agregado graúdo, que se separa do agregado miúdo e da pasta de cimento.

8.2.3.11 PERDA DE ADERÊNCIA

A perda de aderência pode se verificar entre dois concretos de idades diferentes ou entre o concreto e as armaduras; no primeiro caso, a perda de aderência se verifica por tratamento inadequado da superfície do concreto existente, antes de receber o concreto novo e, no segundo caso, principalmente pela corrosão do aço ou pela disgregação do concreto ou pela atuação continuada de incêndios ou de cargas cíclicas.

8.2.3.12 DANOS DE COLISÕES

Caminhões transportando cargas com excesso de peso ou infringindo gabaritos, que danificam pórticos de sinalização e passagens superiores, veículos que derrapam e atingem dispositivos de segurança, tais como defensas e barreiras, e embarcações em rios navegáveis, que atingem elementos da infra e mesoestruturas, podem danificar seriamente vários elementos estruturais.

No caso de passagens superiores, as vigas de concreto protendido, se existentes, são particularmente sensíveis aos impactos de veículos que trafegam na rodovia.

8.2.4 INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

8.2.4.1 OBSERVAÇÃO

Antes do início de uma Inspeção das condições de deterioração de um elemento de concreto, deve ser verificado se existe um Relatório anterior pertinente; o exame deste eventual Relatório permitirá avaliar a progressão da deterioração e enriquecerá a nova Inspeção.

A Inspeção do concreto abrange a Inspeção Visual e a Inspeção Física.

8.2.4.2 INSPEÇÃO VISUAL

Uma das principais causas de deterioração, a fissuração, é a primeira anomalia a ser pesquisada; todas as fissuras devem ser analisadas e mapeadas, de modo a permitir que futuras observações possam anotar eventuais modificações nos padrões e aberturas das fissuras; outra importante indicação de deterioração da estrutura é a presença de manchas e, principalmente, de manchas de ferrugem, que denunciam a corrosão de armaduras.

Nas fissuras incluídas nas Fichas de Inspeção devem ter especificados o tipo, o tamanho, a abertura, a direção, a locação e a aparência ou coloração; uma vez que as fissuras são as indicações mais confiáveis de eventuais problemas futuros, deve ser feita uma análise de suas causas prováveis.

Outras formas de deterioração que podem ser observadas visualmente são: as desagregações, as disgregações, as carbonatações, as reações álcali-agregado, as eflorescências, os desgastes de superfície, os vazios de concretagem, as perdas de aderência e os danos de colisões.

8.2.4.3 INSPEÇÃO FÍSICA

Alguns tipos de deterioração do concreto, já instalados, mas ainda não visíveis, podem e devem ser avaliados por processos físicos, ainda que rudimentares; as desagregações,

as disgregações e os vazios de concretagem podem ser antecipados e/ou detectados por simples e leves batidas de pequenos martelos.

8.2.5 TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO

Algumas técnicas avançadas de inspeção, que incluem processos não-destrutivos e destrutivos, serão tratadas no Capítulo 16.

8.3 AÇO

8.3.1 PROPRIEDADES DO AÇO

8.3.1.1 GENERALIDADES

O aço é um material largamente usado na construção de pontes, sendo que, parcialmente nas pontes de concreto armado, na forma de barras, e nas pontes de concreto protendido, na forma de barras e cabos e, integralmente, nas pontes de grandes vãos, estaiadas e pênséis.

Trata-se de um material versátil, que pode ser encontrado em arames, fios, barras, cabos, chapas e perfis.

8.3.1.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

O aço, na sua forma mais simples é o ferro gusa refinado, alguns contendo menos de 2% de carbono ou, como a vasta maioria, menos de 1% de carbono; a este aço básico podem ser adicionados outros elementos para melhorar ou introduzir características especiais. Os elementos de liga mais importantes são: manganês, níquel, vanádio, silício, zircônio, cobre, cobalto, cromo, tungstênio, nióbio, boro e molibdênio; a título de ilustração, será dito que o manganês é usado em praticamente todo o aço comercial e melhora sua resistência, auxilia na remoção do oxigênio e corrige os efeitos adversos do enxofre; o cobre melhora sua resistência à corrosão atmosférica e o níquel aumenta sua dureza, sua resistência, sua durabilidade, sua rigidez e sua resistência à corrosão.

O termo “aços estruturais” aplica-se a todos os aços que, em virtude de sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são indicados para o uso de elementos que suportam cargas.

Os aços são designados pela sua especificação ABNT e, resumidamente, podem ser classificados em três grupos, de acordo com sua tensão mínima de escoamento, f_y :

- a) Aços-Carbono: 195 a 260 MPa
- b) Aços de Alta Resistência e Baixa Liga: 290 a 345 MPa
- c) Aços-Liga para Construção, Tratados Termicamente: 630 a 700 MPa

Aços-Carbono Estruturais são os aços para os quais são especificados apenas os teores máximos de silício, 0,60%, e manganês, 1,65%; além destes dois elementos, poderão ser encontrados outros elementos de liga, com teores mínimos não especificados e denominados elementos residuais. Os aços-carbono são usados quando forem baixas as solicitações de cálculo e quando o critério principal de dimensionamento for o da rigidez da estrutura.

Aços de Alta Resistência e Baixa Liga são os aços estruturais com limites de escoamento iguais ou superiores a 290 MPa, que adquirem resistência pela adição de pequenas quantidades de elementos de liga, ao invés de tratamento térmico. Os aços resistentes à corrosão, de alta resistência e baixa liga, disponíveis sob a forma de chapas, perfis estruturais, barras, tubos estruturais, chapas finas e bobinas, apresentam uma combinação de alta resistência, soldabilidade e maior resistência à corrosão atmosférica, com vida mais longa que outros aços estruturais pintados.

Aços-Liga Tratados Termicamente são aços que contêm elementos de liga adequados para aplicações estruturais; sendo temperados, têm limites de escoamento de 630 a 700 MPa. Em relação ao aço-carbono, apresentam resistência à corrosão atmosférica duas a quatro vezes mais alta. Uma qualidade importante destes aços é a sua resistência à abrasão, que é, aproximadamente, o dobro da resistência do aço-carbono.

Para efeito de projetos, os aços podem ser designados por números que exprimem os respectivos limites de escoamento, em MPa, precedidos das letras MR, média resistência, ou AR, alta resistência.

- | | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| a) Aço Comum, Comercial: MR 240 | $f_y = 240 \text{ MPa}$ | $f_u = 370 \text{ MPa}$ |
| b) Aço ASTM A36: MR 250 | $f_y = 250 \text{ MPa}$ | $f_u = 400 \text{ MPa}$ |
| c) Aço de Alta Resistência: AR 345 | $f_y = 345 \text{ MPa}$ | $f_u = 450 \text{ MPa}$ |

A ASTM, American Society for Testing and Materials, apresentou, em 1974, a Standard Designation for Structural Steel for Bridges, a A 709; as designações correspondentes da AASHTO, American Association of State and Transportation Officials podem ser encontradas na M 270.

8.3.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Algumas das propriedades mecânicas do aço são as que estão listadas a seguir:

- Resistência:* o aço é isotrópico e suporta fortes tensões de compressão e de tração, que variam grandemente com o tipo de aço.
- Elasticidade:* o módulo de elasticidade é praticamente independente do tipo de aço, sendo geralmente adotado o valor de 205.000 MPa.
- Ductilidade:* em geral, todos os aços utilizados na construção de pontes têm boa ductilidade, isto é, boa capacidade de se deformar sob a ação de cargas; entretanto,

em virtude de tratamento térmico, de soldas ou da fadiga, os aços podem se tornar frágeis.

- d) *Resistência ao Fogo*: o aço, quando sujeito a altas temperaturas, tais como as que resultam de incêndios, perde resistência e se deforma.
- e) *Resistência à Corrosão*: aços-carbono, não especiais e não protegidos por pintura ou revestimento, sofrem corrosão rápida, isto é, enferrujam rapidamente.
- f) *Soldabilidade*: os aços são soldáveis mas é necessário selecionar processos adequados de soldagem, compatíveis com a composição dos aços.
- g) *Fadiga*: em virtude de numerosos ciclos de tensões de cargas móveis e de alguns detalhes condenáveis de soldas e de conexões, os efeitos da fadiga podem se manifestar nos elementos estruturais e nas conexões.

8.3.2 TIPOS E CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO AÇO

8.3.2.1 CORROSÃO

O principal tipo de deterioração do aço é a corrosão, que pode provocar uma substancial redução na capacidade resistente dos elementos estruturais ou das conexões.

Os processos de corrosão são reações químicas ou eletroquímicas que acontecem na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo; o metal, no caso o aço, atua como o redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma substância, o oxidante, existente no meio corrosivo.

A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas e o conhecimento das mesmas é importante no estudo de um processo corrosivo; a caracterização da forma de corrosão auxilia no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de proteção. Algumas das diferentes formas com que a corrosão pode se apresentar são: uniforme ou generalizada, por placas, alveolar, puntiforme, intergranular, intragranular, filiforme e por esfoliação; as características destas formas de corrosão podem ser encontradas em literatura especializada, que consta das referências bibliográficas deste Manual.

Algumas das causas dos diferentes tipos de corrosão são as que se indicam a seguir:

a) Corrosão Ambiental

A corrosão ambiental afeta primeiramente o metal em contacto com o solo ou a água e é causada pela presença da umidade, do oxigênio, de detritos da própria rodovia e de excrementos de pássaros.

b) Corrosão Bacteriológica

A corrosão bacteriológica é causada por organismos encontrados em pântanos, solos ácidos, águas estagnadas e águas contaminadas.

c) Corrosão Sob Tensões de Tração

Mais conhecida por “stress corrosion”, ocorre quando o aço, em meio oxidante, é submetido a fortes tensões de tração.

8.3.2.2 FADIGA

Fissuras ou trincas de fadiga ocorrem em estruturas submetidas a carregamentos repetidos, que provocam fortes flutuações de tensões; as trincas de fadiga podem ocasionar ruptura frágil do elemento estrutural e devem ser identificadas, com segurança e tão logo se manifestem.

Alguns fatores que provocam trincas de fadiga são:

- a) Grande amplitude de variação de tensões.
- b) Alta frequência de tráfego de caminhões pesados.
- c) Tipo de detalhe.
- d) Qualidade do material.
- e) Qualidade da solda.
- f) Idade e histórico de cargas na ponte.

8.3.2.3 SOBRECARGAS EXCESSIVAS

As sobrecargas excessivas ocorrem quando se permite a utilização da ponte para cargas substancialmente maiores que as de cálculo.

O aço é um material elástico até um certo ponto, conhecido como limite de escoamento; quando carregadas até atingir este limite, a estrutura se deforma e retorna à posição inicial após a remoção da carga; ultrapassado o limite de escoamento, a estrutura permanece deformada, mesmo após a remoção da carga: é a deformação plástica.

Deformações plásticas causadas por sobrecargas excessivas podem ser observadas em elementos estruturais submetidos à tração ou à compressão; nos elementos submetidos à tração, as deformações se manifestam através de alongamentos e redução da seção transversal e, nos elementos submetidos à compressão, através de flambagem da peça. Convém observar que a deformação plástica excessiva pode evoluir até a ruptura do elemento estrutural e da própria obra.

8.3.2.4 DANOS DE COLISÕES

Se existir elementos estruturais que não estejam totalmente protegidos contra choques de veículos, eles estarão sujeitos a danos desta natureza; embora estes danos sejam facilmente identificáveis, eles somente poderão ser adequadamente avaliados após a remoção de eventuais detritos que impeçam um exame acurado do aço.

8.3.3 INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO

8.3.3.1 OBSERVAÇÃO

Em hipótese alguma, detritos e sujeiras podem ser considerados elementos protetores da superfície do aço; devem, sempre, ser envidados todos os esforços para que sejam removidos todos os obstáculos, detritos e sujeiras que impeçam o exame da superfície do aço.

8.3.3.2 INSPEÇÃO VISUAL

Algumas das principais anomalias ou descontinuidades que podem ser detectadas visualmente, incluem:

- a) *Elementos estruturais fletidos ou avariados* – deve ser determinado o tipo e a origem da avaria, medida sua intensidade e afastamento da posição normal e pesquisadas eventuais fissuras, trincas ou lacerações nas proximidades da região afetada.
- b) *Corrosão* – uma vez que a severidade da corrosão, que já pode ter destacado lâminas do elemento estrutural, não pode ser avaliada apenas pela quantidade de ferrugem, a corrosão deve ser examinada visualmente e fisicamente.
- c) *Fissuras ou Trincas de Fadiga* – estas anomalias ocorrem, de preferência, em certas locações ou situações resumidas a seguir: pontos da estrutura onde uma descontinuidade ou uma restrição foi introduzida; elementos imperfeitamente conectados, atraindo ou transferindo tensões adicionais; elementos avariados, independentemente da gravidade da avaria, que estão desalinhados, fletidos ou torcidos; corrosão, que pode reduzir a capacidade do elemento estrutural, tornando-o menos resistente a cargas estáticas e a cargas repetitivas; detalhes inadequados de solda; antigos reforços ou restaurações, onde cortes e soldas foram executados com defeitos; elementos estruturais com excessiva vibração.

Os procedimentos de inspeção para fissuras ou trincas de fadiga, pela sua importância e responsabilidade, devem incluir as seguintes atividades:

- identificação das extremidades visuais da trinca; exame de todos os outros detalhes similares aos da ocorrência detectada; exame dos defeitos na pintura e as oxidações; comunicação da ocorrência e solicitação de pronto atendimento. Caso seja detectada uma área suspeita, difícil de avaliar, deve ser providenciado um jateamento de areia e ensaios com líquido penetrante ou com ultra-som.

8.3.3.3 INSPEÇÃO FÍSICA

Para que qualquer análise estrutural seja válida, é necessário que as dimensões dos elementos estruturais sejam as mesmas que constam dos desenhos do projeto; esta certeza somente poderá ser adquirida se, durante a inspeção, pelo menos alguns elementos estruturais forem objeto de medições.

A corrosão provoca a perda de material e esta perda deve ser medida e avaliada em termos percentuais; as medições devem ser efetuadas após a completa remoção de toda a ferrugem.

8.3.4 TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO

Estas técnicas, que incluem métodos destrutivos e não-destrutivos, serão detalhadas no Capítulo 16.

8.4 CONSIDERAÇÕES E CASOS REAIS DE PATOLOGIAS EM PONTES

8.4.1 CONSIDERAÇÕES

Desde a constatação da necessidade da obra até o fim de sua vida útil, três são as atividades básicas mobilizadas para garantir um desempenho satisfatório de uma estrutura e, em especial, das pontes: projeto, construção e manutenção; todas estas atividades devem ser exercidas por profissionais habilitados, competentes e experientes.

8.4.1.1 PROJETO

O projeto de uma ponte deve estar de acordo com as diretrizes fixadas pelo Proprietário da Obra, em geral um órgão governamental, estar convenientemente adequado à geometria e condições ambientais locais e de acordo com todas as Normas vigentes e pertinentes.

Obras curtas com saias de aterro sem proteção, drenagem inadequada, ausência de pingadeiras, cobrimentos insuficientes das armaduras, aparelhos de apoio mal dimensionados, juntas de dilatação mal escolhidas e mal dimensionadas, fundações inadequadas para as condicionantes geotécnicas locais e pilares mal posicionados, são algumas das principais deficiências diretamente ligadas ao projeto e que, certamente, darão origem a uma série de patologias, ainda que as obras, no que se refere apenas à estabilidade inicial, tenham sido satisfatoriamente dimensionadas.

O Projeto deve definir, além da completa especificação dos materiais e de suas resistências características, detalhes, procedimentos e seqüência construtiva; escoramentos especiais, contra-flechas e juntas construtivas são, também parte integrante do projeto.

8.4.1.2 CONSTRUÇÃO

Os materiais utilizados na construção devem atender às especificações pertinentes, os equipamentos devem ser os adequados para o tipo de construção e previamente testados, as fôrmas e os escoramentos devem ter resistência e rijeza necessárias para evitar deformações indesejáveis.

As operações de protensão, quando for o caso, as desfôrmas e a retirada dos escoramentos devem ser efetuadas segundo programação fornecida ou aprovada pelo projetista

A construção deve ser efetuada seguindo rigorosamente o projeto, devendo as ocorrências anormais ser levadas, para conhecimento e providências, ao projetista.

8.4.1.3 MANUTENÇÃO

Manutenção são atividades destinadas a manter o estado atual da obra; podem ser programadas ou solicitadas por inspeções rotineiras.

Atividades típicas das atividades programadas são: limpeza da superfície de rolamento, limpeza dos dispositivos de drenagem e limpeza das juntas de dilatação.

Atividades típicas de atividades solicitadas por inspeções são: recomposição das juntas de dilatação, pintura de elementos estruturais de aço, substituição de pista de rolamento, substituição de drenos e reparação de danos de choques de veículos.

A ausência de manutenção adequada, que não inclui serviços de reforço, pode tornar a ponte deficiente por razões estruturais ou por razões funcionais; segue-se, à ausência de manutenção, a necessidade de restauração, de reforço e de substituição da obra.

8.4.2 CASOS REAIS DE PATOLOGIAS EM PONTES

Todos os casos reais de patologias em pontes foram extraídos do SGO – Sistema de Gerenciamento de Obras-de-Arte, que conta com acervo de cerca de 1.500 obras vistoriadas.

Os exemplos apresentados a seguir são apenas uma pequena amostra das conseqüências de maus projetos, de construção descuidada e de falta de manutenção.

8.4.2.1 PONTE CURTA E PATOLOGIAS DIVERSAS

Contenção de Aterro: Sacos Cheios de Solo-Cimento.
Cobrimento Insuficiente de Armaduras e Armaduras Aparentes.
Carbonatação do Concreto.



PONTE SOBRE O RIO PRETO-NORTE, BR-101/ES, COM 40,00 X 8,40m



VIADUTO EFL VIANA, BR-262/ES, 46,00 X 8,40

8.4.2.2 MANUTENÇÃO INADEQUADA

Pavimentação em péssimo estado, exigindo substituição.



PONTE SOBRE O RIO PARAOPEBA, BR-040/MG, 25,00 X 8,20m



VIADUTO SOBRE A EFCB III, BR-040/MG, 50,00 X 8,20m

8.4.2.3 EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO INADEQUADAS

Face Inferior da Laje Superior: buracos, armadura aparente e agregado graúdo de dimensões incompatíveis com a espessura da peça.



VIADUTO SOBRE O ACESSO A SEB. ÁGUAS CLARAS,
(BH/RIO), BR-040/MG, 40,00 X 17,20m

8.4.2.4 DESASTRE ANUNCIADO

Ponte Curta, Contenção Inadequada do Aterro de Acesso e Erosão na Pista.



PONTE SOBRE O RIO SÃO MATEUS, BR-101/ES, 30,0 X 8,60m

8.4.2.5 CONSEQÜÊNCIAS DA AUSÊNCIA DE PINGADEIRAS

Face Inferior da Extremidade da Laje em Balanço: degradação do concreto, perda do cobrimento, armaduras aparentes e corroídas.



PONTE SOBRE O RIBEIRÃO MANSO, BR-040/MG, 45,00 X 10,00m

8.4.2.6 CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Face Inferior da Laje Superior



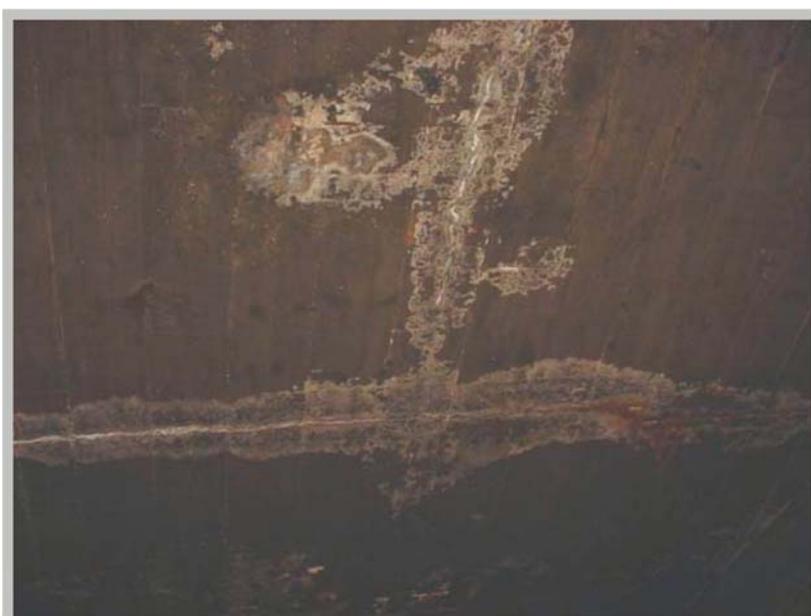
PONTE SOBRE O CÓRREGO PALMITAL, BR-040/MG, 35,00 X 12,60m



PONTE SOBRE O CÓRREGO RICO, BR-040/MG, 84,00 X 10,00m

8.4.2.7 PATOLOGIAS DIVERSAS EM FACE INFERIOR DE LAJE SUPERIOR

Infiltrações, Trincas, Carbonatação, Armaduras Aparentes e Corroídas



VIADUTO TELÉSFORO CÂNDIDO DE REZENDA,
BR-040/MG, 80,00 X 10,00m

8.4.2.8 PATOLOGIAS DIVERSAS EM VIGAS PRINCIPAIS

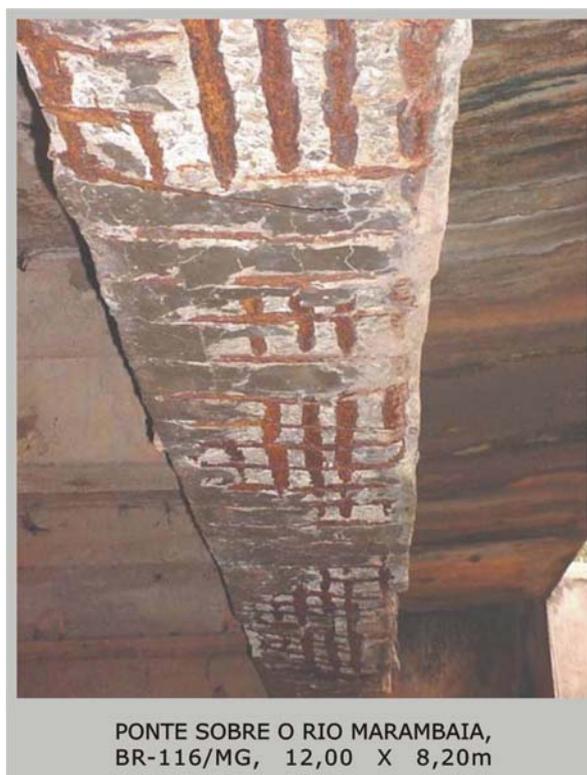
a) Viga Com Canto Quebrado, Armadura Aparente e Corroída.



b) Armadura Inferior de Viga: Ausência de Cobrimento e Estribos Rompidos.



c) Viga Principal Com Armadura Exposta e Corroída.

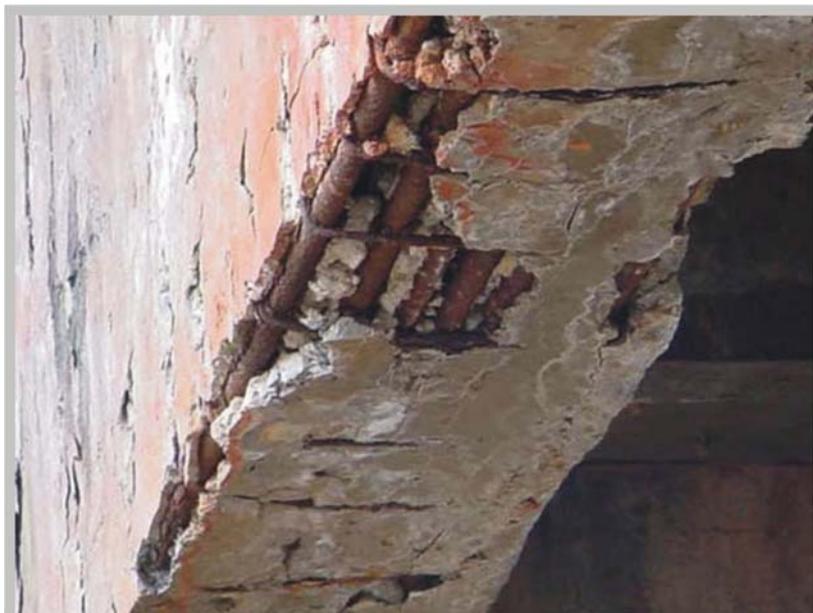


- d) Apoio de Viga Principal Encamisada, sobre Pilar também Encamisado: Sem Substituição da Articulação e com Execução Condenável



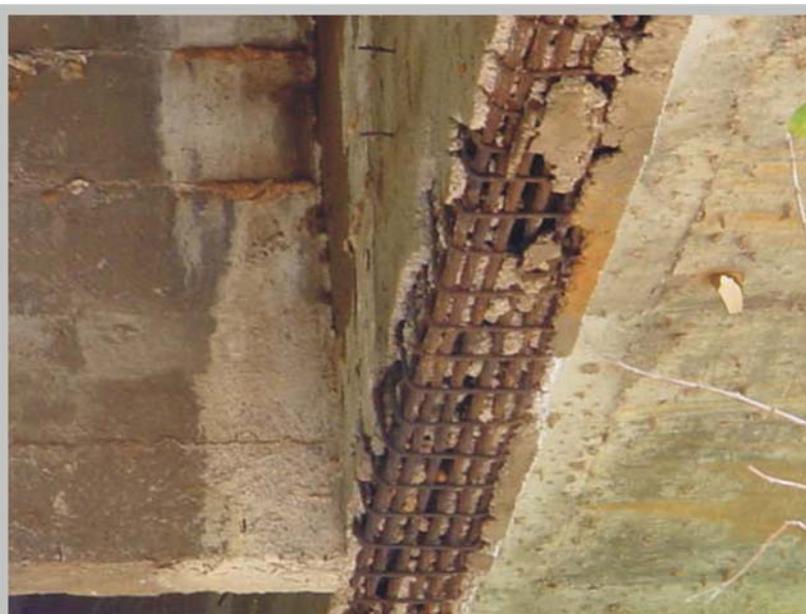
- e) Viga Principal Com Deslocamento de Concreto e Corrosão de Armaduras





PONTE SOBRE O RIO JACAREÍ, BR-343/PI, 30,40 X 8,20m

- f) Viga Principal Com Concreto Desplacado, Vazios de Concretagem e Corrosão de Armaduras Aparentes.



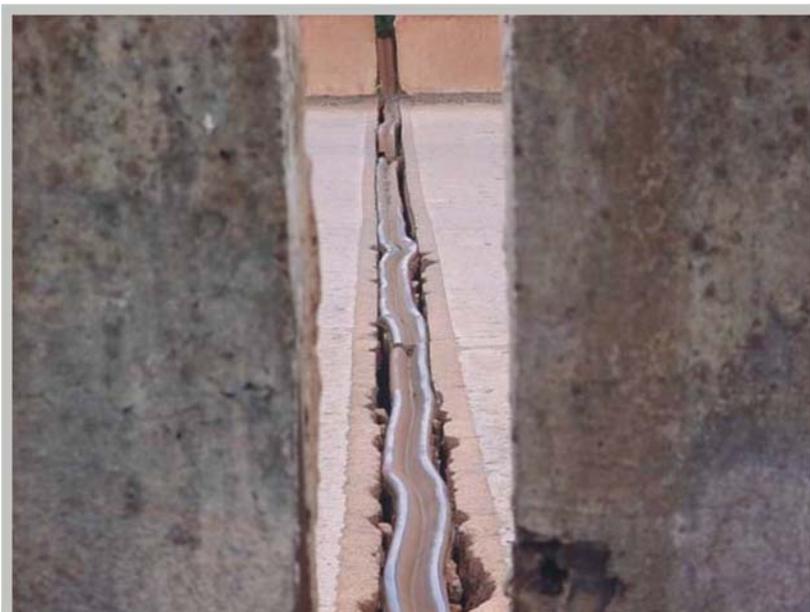
PONTE SOBRE O RIO VÁRZEA I, BR-407/PI, 24,00 X 10,00m

8.4.2.9 PATOLOGIAS EM JUNTAS DE DILATAÇÃO

a) Junta Mal Projetada e/ou Executada, Desgastada e Ineficaz.



VIADUTO DO MUTUCA-ANTIGO (RIO/BH), BR-040/MG, 497,00 X 15,10m



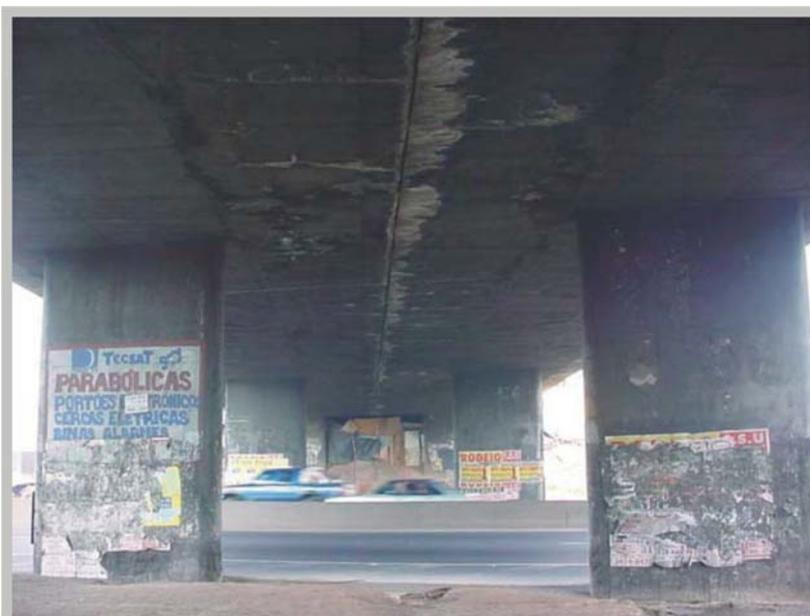
VIADUTO DO MUTUCA-ANTIGO (RIO/BH), BR-040/MG, 497,00 X 15,10m

- b) Pedacos de Junta Tipo Transiflex em Ponte Esconsa, “Emendadas” e Cobertas com Pavimento.



VIADUTO SÃO DIMAS, BR-040/MG, 26,00 X 10,10m

- c) Pontes Paralelas e Justapostas Sem Tratamento da Junta Longitudinal.



VIADUTO DUPLO SOBRE A BR-262/MG, BR-040/MG, 70,00 X 20,90m



PONTE SOBRE O RIO TITARA, BR-343/PI, 26,40 X 11,10

8.4.2.10 PATOLOGIAS EM DENTES DE ARTICULAÇÕES DE VIGAS PRINCIPAIS

- a) Dentes Ainda em Bom Estado, Ameaçados de Degradação Pelo Não Tratamento da Junta de Dilatação do Estrado.



PONTE SOBRE O RIBEIRÃO DAS ALMAS, BR-040/MG, 87,00 X 10,00m

b) Dentes em Estado de Pré-Ruína e Juntas de Dilatação Sem Tratamento



PONTE SOBRE O RIO DAS ALMAS, BR-040/MG, 93,00 X 10,00m



PONTE SOBRE O RIO SÃO FRANCISCO, BR-040/MG, 360,00 X 10,00m

8.4.2.11 PATOLOGIAS EM APARELHOS DE APOIO

a) Aparelhos de Apoio em Rolos Metálicos, Certamente Bloqueados Por Corrosão



b) Detalhe Correto De Utilização de Aparelhos de Apoio de Neoprene: Apoios Horizontalizados Através de Berços de Concreto e Placas de Neoprene Respeitando Distâncias Mínimas das Extremidades do Concreto.



c) Apoio Pendular de Concreto Com Inclinação Admissível



d) Apoio Pendular Com Fratura e/ou Desplacamento de Concreto e Armaduras Aparentes Corroídas.





PONTE SOBRE O RIO PIRACURUCA, BR-343/PI, 79,40 X 8,30m

e) Apoios Pendulares Com Contraventamento Transversal



PONTE SOBRE O RIO CÓRREGO FACÃO, BR-040/MG, 50,00 X 10,00m

8.4.2.12 PATOLOGIAS EM PILARES

a) Detalhes de Pilares Com Deslocamento de Concreto e Corrosão de Armaduras



PONTE SOBRE O ACESSO A OURO PRETO, BR-040/MG, 63,00 X 13,00m



VIADUTO SOBRE A EFCB I, BR-040/MG, 90,00 X 8,40m



VIADUTO SOBRE A EFCB I, BR-040/MG, 90,00 X 8,40m



PONTE SOBRE O RIO SÃO JOÃO, BR-316/PI, 34,80 X 10,00m

- b) Topo de Pilar Fraturado: Falta de Cintamento Adequado e Placa da Articulação Levada Até a Extremidade



- c) Pilar Com Falhas de Concretagem



- d) Pilar em Estado de Pré-Ruína: Lixiviação, Desplacamento de Concreto, Trincas e Armaduras Aparentes Corroídas



- e) Bases dos Pilares e Blocos Atacados Pela Lixiviação

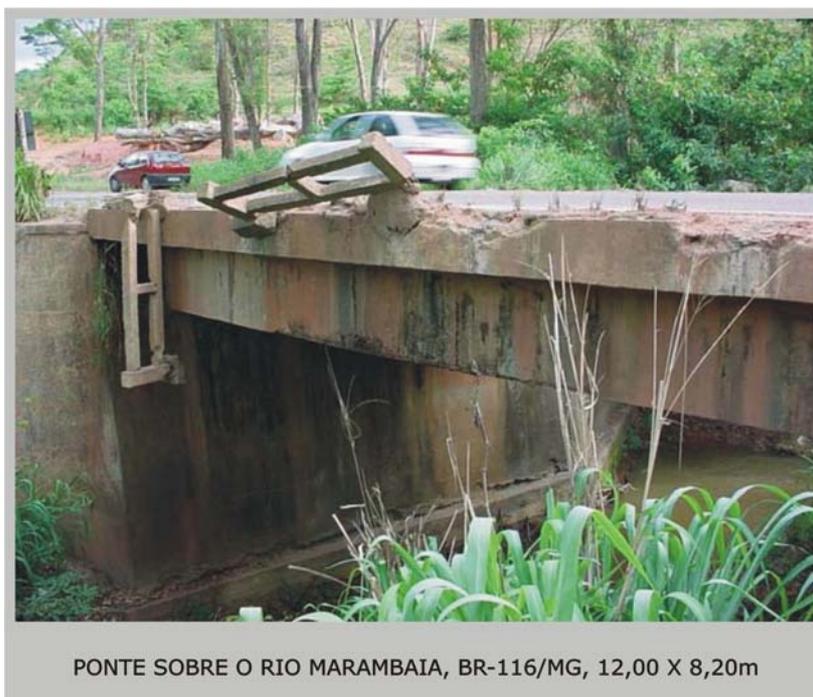


8.4.2.13 PATOLOGIAS E DEFICIÊNCIAS DIVERSAS

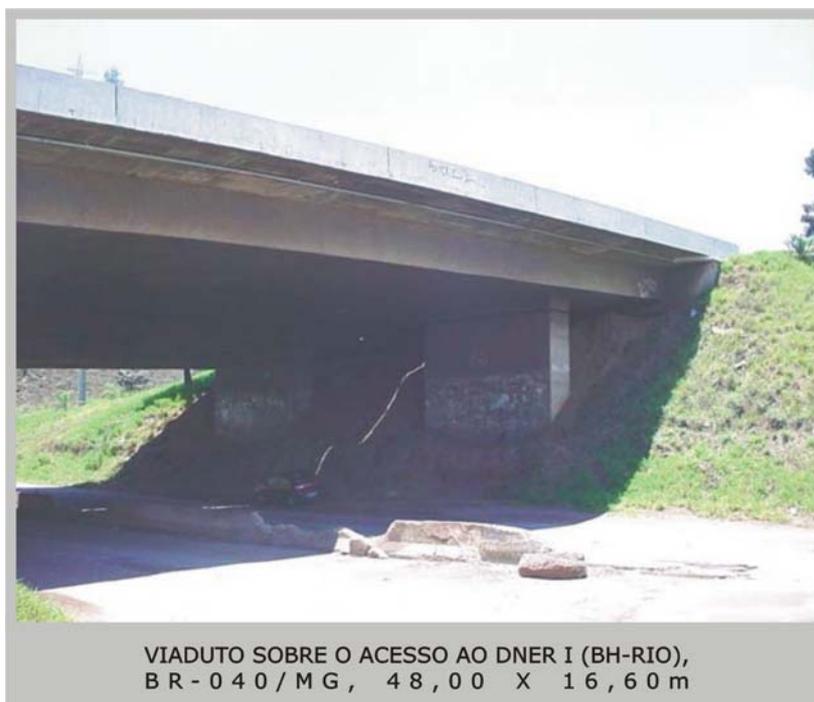
- a) Transição Perigosa de Ponte Antiga, Sem Acostamentos, Sem Faixas de Segurança e Sem Barreiras Laterais, com Rodovia com Acostamentos.



- b) Ponte Estreita Com Guarda-Corpos Destruídos



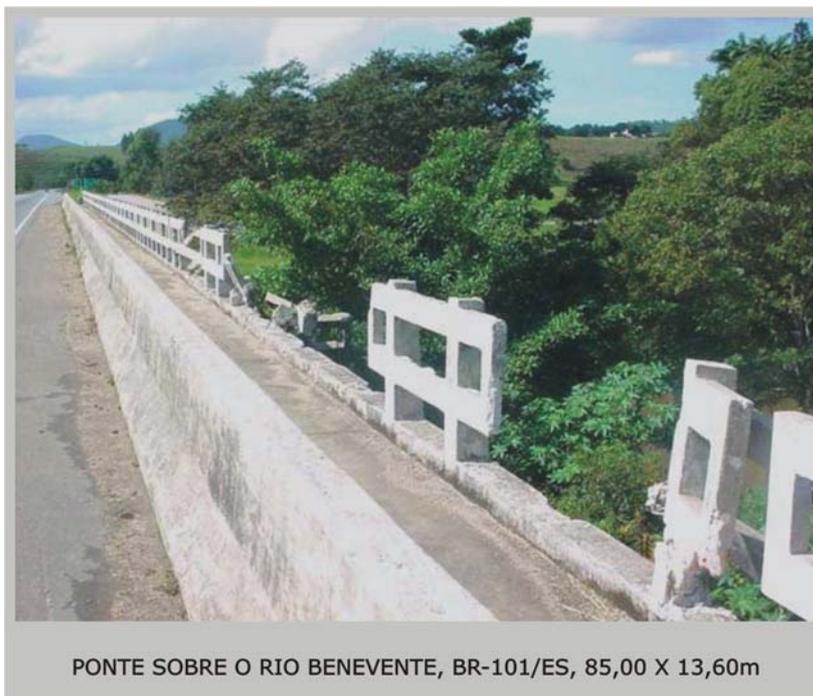
c) Detalhe Correto, Muitas Vezes Negligenciado, de Juntas na Barreira



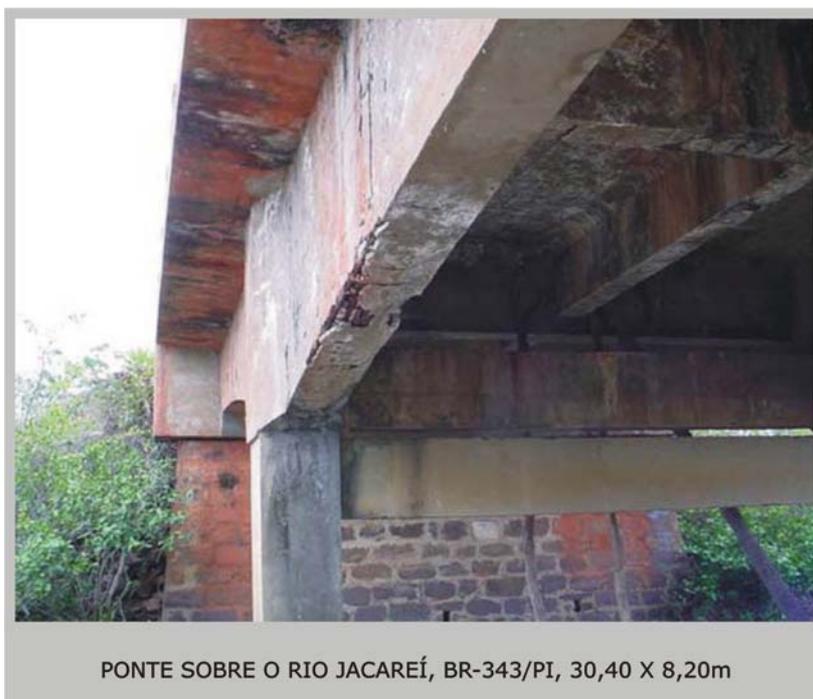
d) Postes de Iluminação Fixados Incorreta e Perigosamente na Barreira



e) Guarda-Corpos Destruídos, Apesar da Correta Proteção Por Barreira New-Jersey



f) Ponte Estreita Com Muitas Patologias e Deficiências: Ausência de Pingadeiras, Trincas e Fissuras, Carbonatação, Cobrimentos Insuficientes e Armaduras Aparentes e Corroídas.



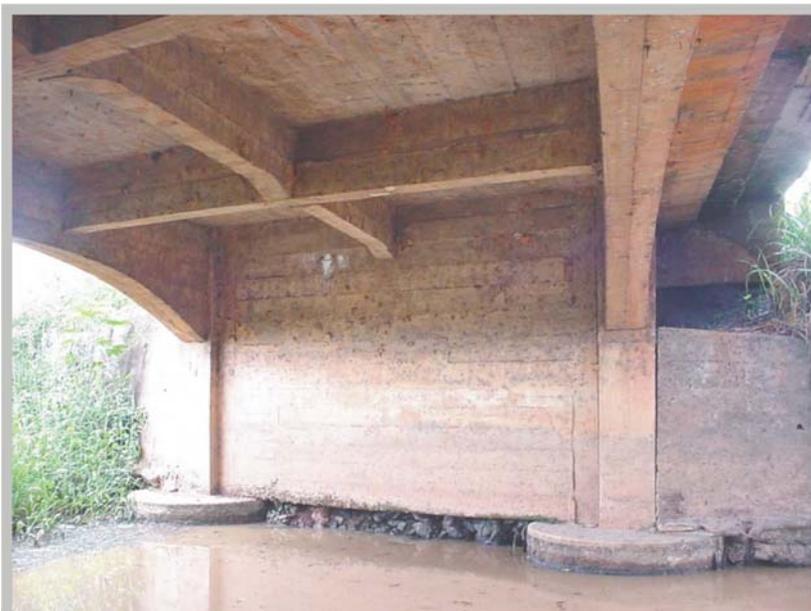
g) Corrosão Acentuada em Barreira New Jersey



PONTE MAUÁ SOBRE O RIO NOVO DO SUL, BR-101/ES, 40,00 X 9,00m



PONTE MAUÁ SOBRE O RIO RAPOSO, BR-343/PI, 18,60 X 10,10m



PONTE SOBRE O CÓRREGO PACIÊNCIA, BR-040/MG, 20,00 X 10,00m

9 - IDENTIFICAÇÃO E FUNÇÃO ESTRUTURAL DOS ELEMENTOS DAS PONTES



VISTA INFERIOR DE ESTRADO DE VIGAS MISTAS:
VIGAS E CONTRAVENTAMENTOS METÁLICOS
PONTE SOBRE O RIO DOCE, BR-101/ES, 660,00 X 13,00m

9 IDENTIFICAÇÃO E FUNÇÃO ESTRUTURAL DOS ELEMENTOS DAS PONTES

9.1 PRINCIPAIS ELEMENTOS COMPONENTES DAS PONTES

A maioria das pontes tem três componentes básicos: Estrado, Superestrutura e Infraestrutura, cujas características serão desenvolvidas a seguir.

9.1.1 ESTRADO

O estrado é o componente da ponte onde a carga móvel atua diretamente; o estrado deve ser capaz de permitir um tráfego seguro e fluente.

A função estrutural do estrado é a de transferir as cargas, permanente e móvel, a outros componentes da ponte.

Usualmente, o estrado é composto por lajes e um sistema estrutural secundário; em alguns tipos de pontes, as pontes em laje de concreto armado, por exemplo, o estrado e a superestrutura são um único elemento que transfere as cargas diretamente aos apoios.

Três materiais podem ser utilizados na construção dos estrados de pontes: a madeira, o concreto e o aço.

9.1.2 SUPERESTRUTURA

A superestrutura é o componente da ponte que suporta o estrado e todas as cargas nele aplicadas.

A função estrutural da superestrutura é a de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios.

As superestruturas podem ser caracterizadas pelo modo como transmitem as cargas aos apoios: por compressão, por tração, por flexão ou pela combinação dessas três solicitações.

De acordo com esta caracterização, as pontes podem ser grupadas em três tipos básicos:

- a) **Pontes em Viga:** quando transmitem as cargas aos apoios através de solicitações de compressão; podem ser:
 - Pontes em laje, de concreto armado ou protendido.
 - Pontes em viga, de madeira, de concreto ou de aço.
 - Pontes em caixão, de concreto ou de aço.
 - Pontes em treliça, de madeira ou de aço.
- b) **Pontes em Arco:** quando transmitem as cargas através de solicitações inclinadas, de compressão; podem ser construídas em madeira, em concreto ou em aço.

As solicitações nos arcos são, inteira ou predominantemente, de compressão.

- c) **Pontes Pênseis e Pontes Estaiadas:** as solicitações de tração dos cabos de suspensão são transmitidas às ancoragens na infra-estrutura, depois de provocar solicitações de compressão nas torres intermediárias.

9.1.3 INFRA-ESTRUTURA

A infra-estrutura da ponte é o componente que engloba todos os elementos que suportam a superestrutura. A função da infra-estrutura é a de transmitir as cargas da superestrutura, e a sua própria carga, às fundações, diretas ou profundas.

Os elementos da infra-estrutura funcionam como peças carregadas axialmente, com capacidade de absorver solicitações horizontais, que provocam momentos fletores.

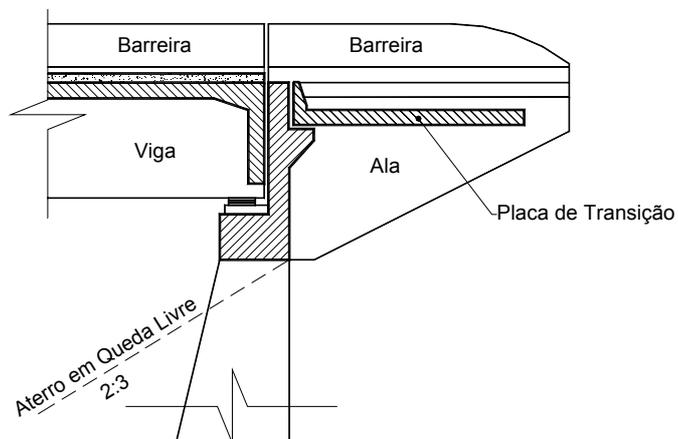
Há dois elementos básicos nas infra-estruturas: encontros e pilares. Os encontros, se existentes, são os elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo que arrimam os acessos rodoviários; os pilares, isolados, maciços ou aporticados, são os apoios intermediários.

Por razões econômicas, no Brasil somente as obras mais importantes têm encontros; na grande maioria das obras, os encontros são substituídos por superestruturas com extremos em balanço e aterros em queda livre, muitas vezes mal compactados e sem as proteções adequadas; o funcionamento deste conjunto heterogêneo, aterro / obra-de-arte, embora modernamente melhorado com a utilização de lajes de transição, é sempre deficiente: há assentamentos dos aterros de acesso, com os conseqüentes choques dos veículos na entrada das pontes.

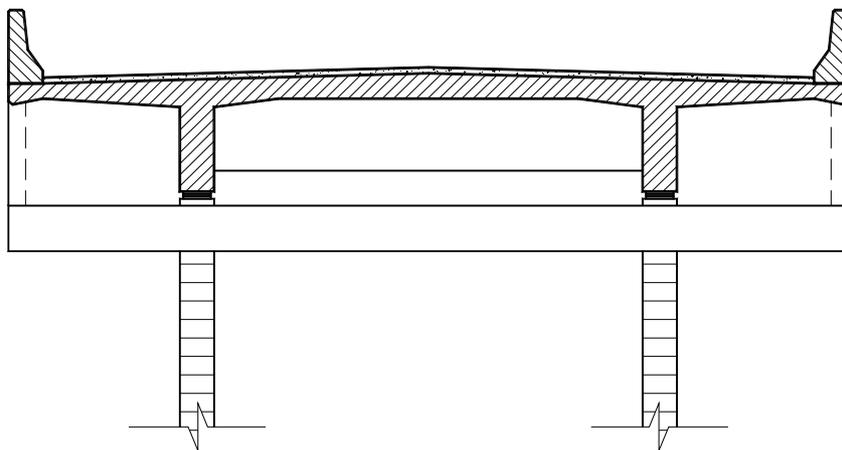
As figuras e/ou ilustrações que constam deste Capítulo, como de todos os outros deste Manual, indicam apenas soluções possíveis mas, geralmente, bastante conhecidas.

Ponte com Falso Encontro ou Encontro Leve

Corte Longitudinal

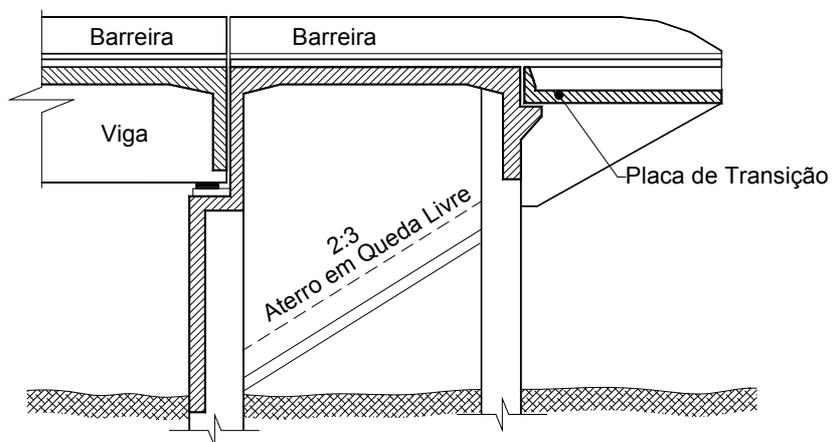


Corte Transversal

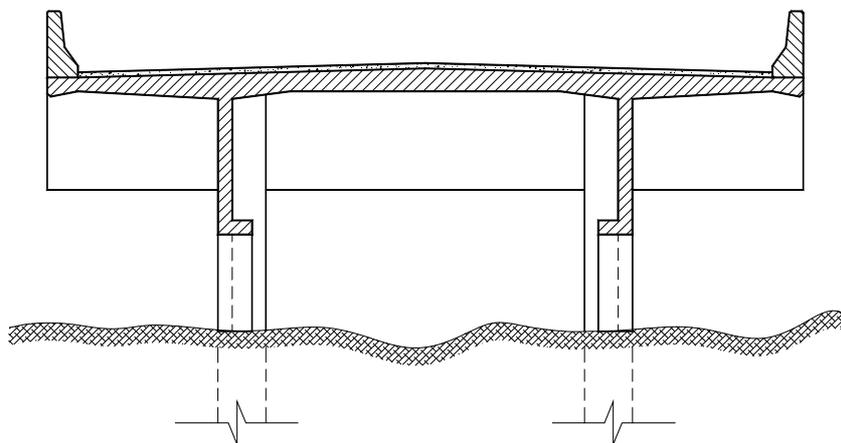


Ponte com Encontro Especial

Corte Longitudinal



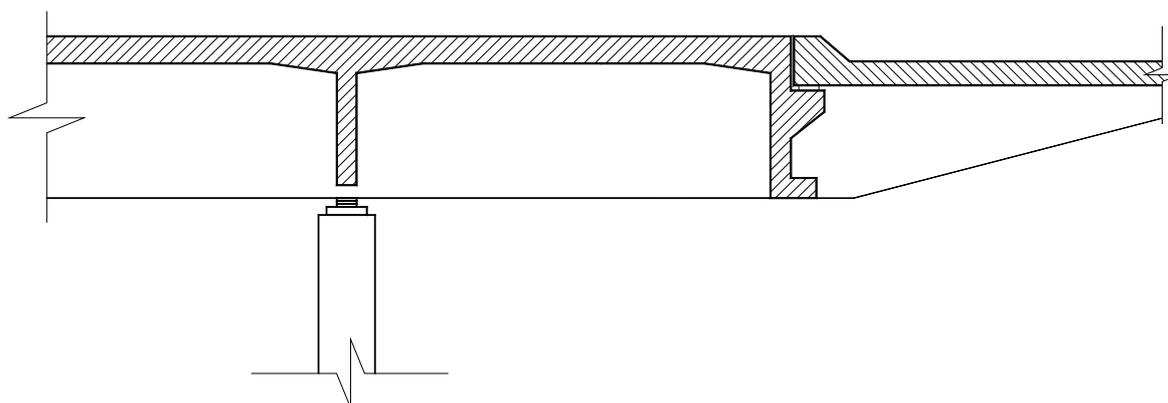
Corte Transversal



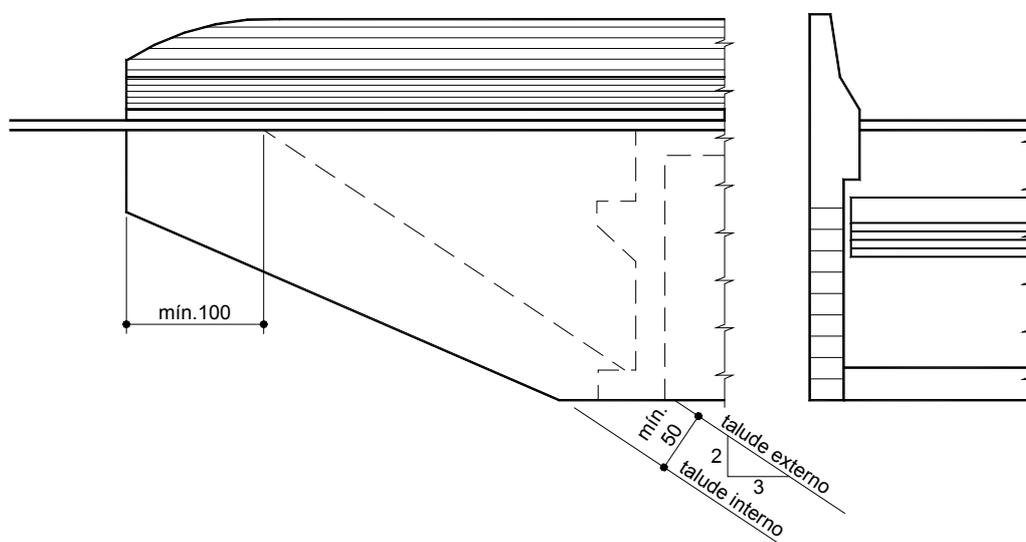
NOTA: Não estão representadas as juntas de dilatação e nem a proteção das saias de aterro.

Ponte com Extremo em Balanço

Corte Longitudinal



Detalhe da Ala



9.2 FORMAS BÁSICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

9.2.1 INTRODUÇÃO

Um bom conhecimento da função de cada elemento estrutural e das vantagens e desvantagens da utilização de cada material, concreto armado, concreto protendido ou aço, é indispensável para, no mínimo, uma acertada interpretação das anomalias e danos detectados nas inspeções.

A consideração de concreto armado e concreto protendido como dois materiais diversos é meramente didática; concreto armado e concreto protendido, na realidade, utilizam o mesmo concreto, com a diferença que, no concreto armado convencional, as armaduras são todas passivas e, no concreto protendido, há armaduras passivas e armaduras ativas, constituídas por fios ou cabos protendidos, que introduzem uma força de compressão na estrutura.

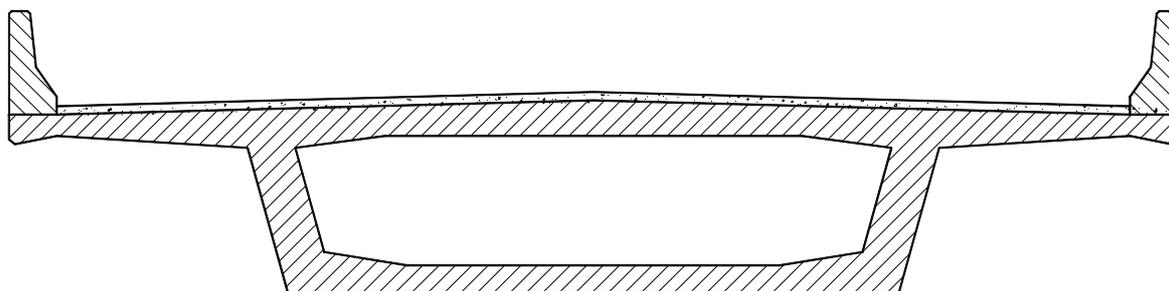
Cada elemento da ponte é projetado para resistir a uma particular combinação das três tensões básicas: tração, compressão e força cortante; as demais solicitações, momentos fletores e momentos torçores resultam de combinações das três tensões básicas.

Estas considerações permitem compreender melhor as principais formas características adotadas na utilização dos diferentes materiais, nos diversos elementos.

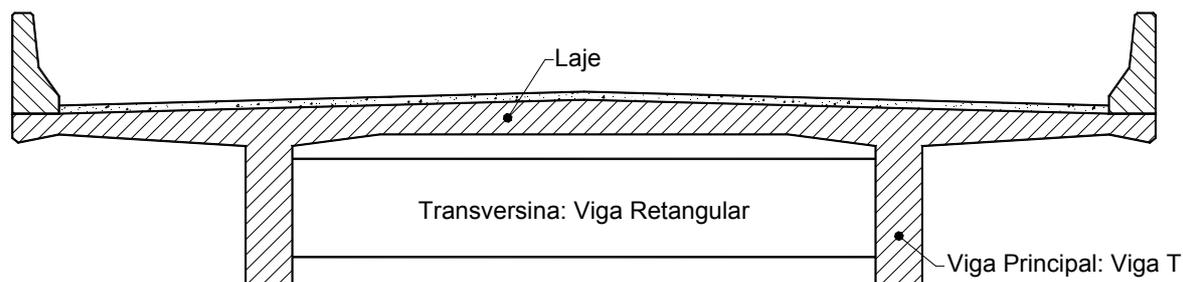
9.2.2 FORMAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO NÃO CARREGADOS AXIALMENTE

As formas mais comuns, no concreto armado convencional, em elementos onde as solicitações dominantes são momentos fletores, forças cortantes e momentos de torção, são: placas, vigas retangulares, vigas T, vigas-caixão e vigas-calha.

Viga-Caixão



Vigas T



As placas são usadas como lajes nos estrados das pontes; apoiam-se no vigaamento da superestrutura e, geralmente, possuem as extremidades em balanços transversais. A espessura média das lajes é de 20 a 25cm no trecho central, espessura esta que aumenta até cerca de 40 cm nos apoios.

As vigas retangulares são usadas nas transversinas desligadas da laje da superestrutura e na infra-estrutura, nas vigas-trave e nos contraventamentos.

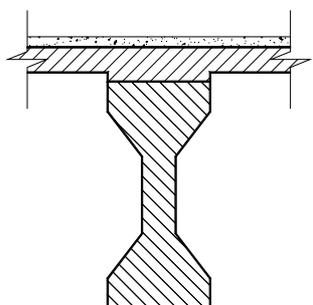
As vigas T normalmente se localizam na superestrutura, quando se solidarizam com as lajes do estrado.

As vigas-calha são, em geral, pré-moldadas, auto-portantes e dispensam a utilização de escoramentos e fôrmas; depois de posicionadas, são cheias de concreto e solidarizadas às lajes do estrado.

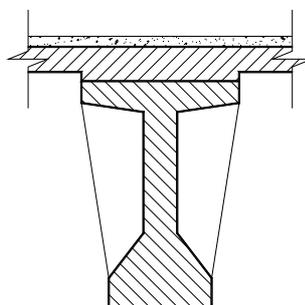
9.2.3 FORMAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO PROTENDIDO NÃO CARREGADOS AXIALMENTE

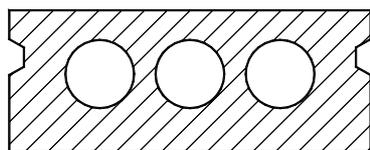
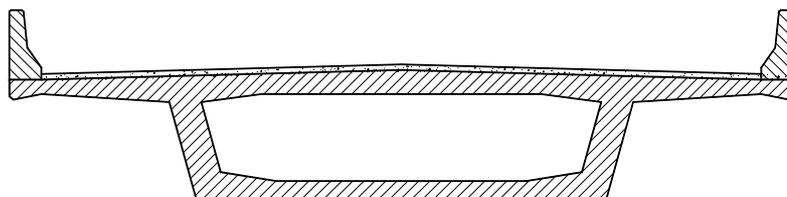
As formas mais comuns em elementos de concreto protendido, onde as solicitações dominantes são momentos fletores, forças cortantes e momentos de torção, são vigas I, vigas T, lajes alveoladas e vigas caixão; todas estas formas são válidas para elementos da superestrutura e as vigas I e T são, via de regra, pré-moldadas.

Viga I



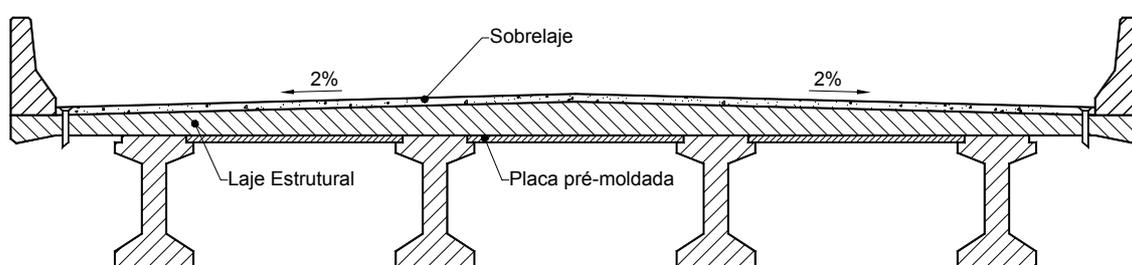
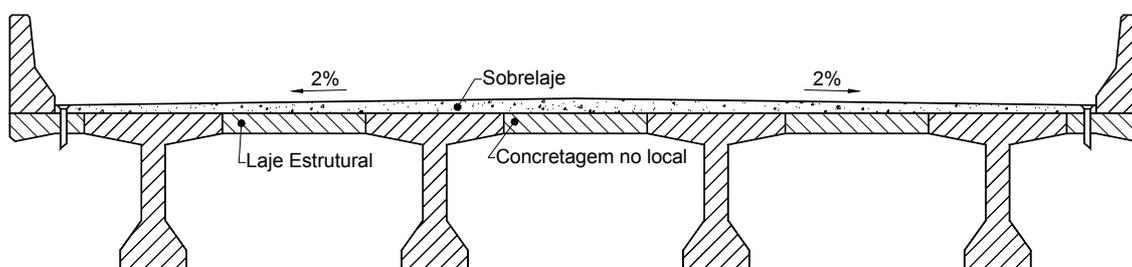
Viga T



Laje Alveolada**Viga-Caixão**

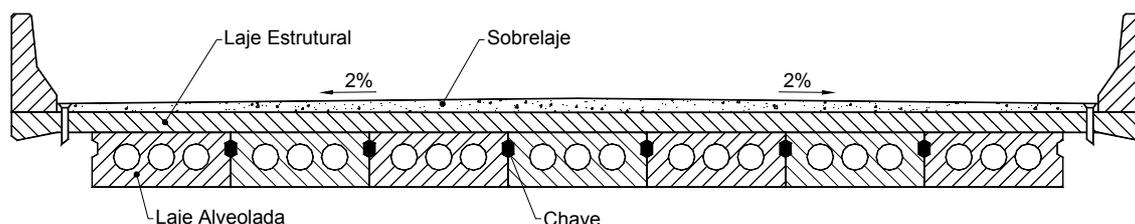
As vigas I são, geralmente, moldadas em fábricas e a protensão se faz em pistas, com fios protendidos; incorporam a laje do estrado depois de posicionadas e, por problemas de transporte, da fábrica ao local da obra, são usadas para vãos de cerca de 30 metros.

As vigas T são, geralmente, moldadas em canteiros, localizados nas proximidades das obras, para onde são transportadas depois de curadas; o posicionamento destas vigas se faz por treliças de grande porte ou por guindastes possantes. Por limitações de peso, e de utilização das treliças, o comprimento das vigas tem ficado limitado em 45 metros. A laje do estrado, pré-moldada ou moldada no local, deve ser superposta às vigas e a elas ligadas por armaduras de espera. Um processo antigo, que complementava a laje estrutural com a concretagem, no local, de painéis de lajes entre vigas é, hoje, condenado; apesar da protensão transversal que solidarizava as mesas das vigas pré-moldadas com as lajes concretadas entre vigas, há uma tendência à fissuração nestas ligações; a carbonatação, uma constante neste tipo de pontes, denuncia longos trechos de fissuras nas ligações.

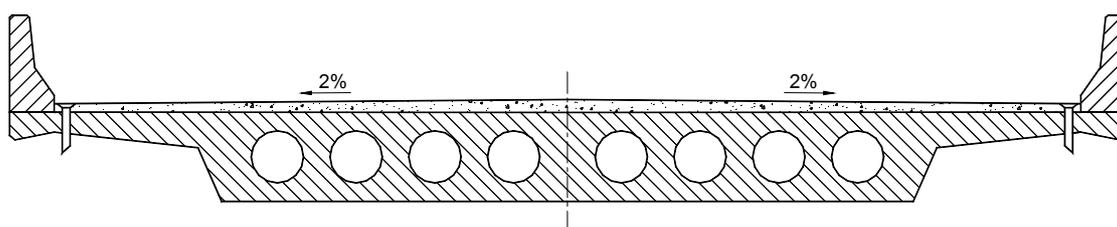
Seção Transversal: Vigas Pré-Moldadas e Laje Estrutural Moldada sobre Pré-Lajes**Seção Transversal: Laje Estrutural Moldada entre Vigas**

As lajes alveoladas são estruturas completas, substituindo vigas e lajes, podendo ser pré-moldadas, quando constituídas de elementos de largura reduzida, ou moldadas no local, quando ocupam toda a largura da obra; no primeiro caso há, ainda, a necessidade de uma laje estrutural para promover a ligação dos pré-moldados e, no segundo caso, apenas de uma sobrelaje. As lajes alveoladas têm a vantagem de proporcionar estruturas elegantes, estéticas, com grande simplicidade de fôrmas; o consumo de concreto é minorado pela presença dos alvéolos; usualmente utilizadas para vãos da ordem de 20 a 30 metros, com altura total de 1,20 metros.

Laje Alveolada de Elementos Pré-Moldados

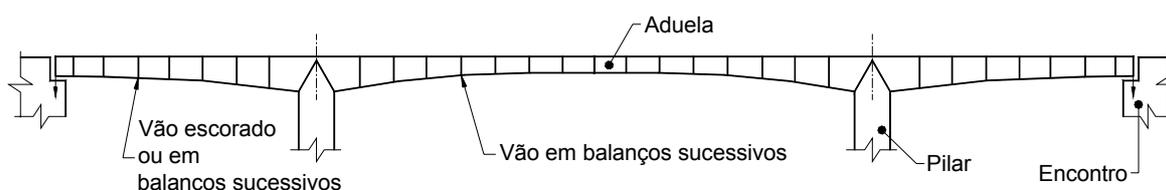


Laje Alveolada Moldada no Local



As vigas-caixão são a forma mais usada em estruturas de concreto protendido para vencer grandes vãos; podem ser moldadas no local, escoradas, ou pré-moldadas, em aduelas, posteriormente transportadas e posicionadas. Pelo processo construtivo de avanços sucessivos, este tipo de estrutura tem vencido vãos de cerca de 250 metros.

Seção Longitudinal: Estrutura Contínua Construída em Balanços Sucessivos



9.2.4 FORMAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO CARREGADOS AXIALMENTE

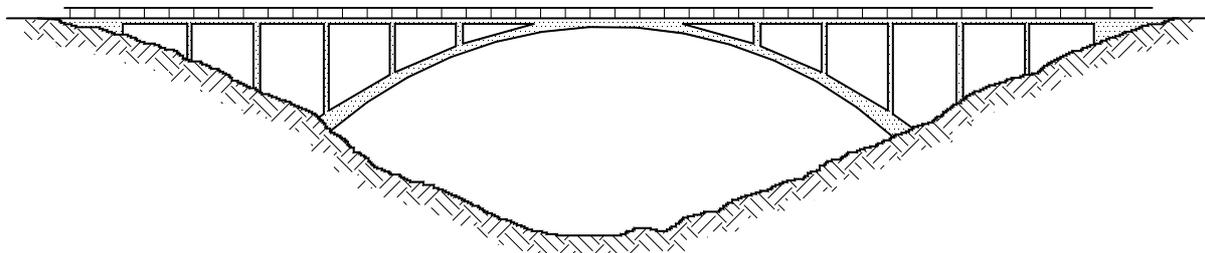
Os elementos carregados das pontes, predominante e axialmente por solicitações de compressão, são os pilares, os arcos e as fundações em tubulões ou estacas.

Em virtude da existência de forças horizontais, estes elementos estão sujeitos, também, a momentos fletores.

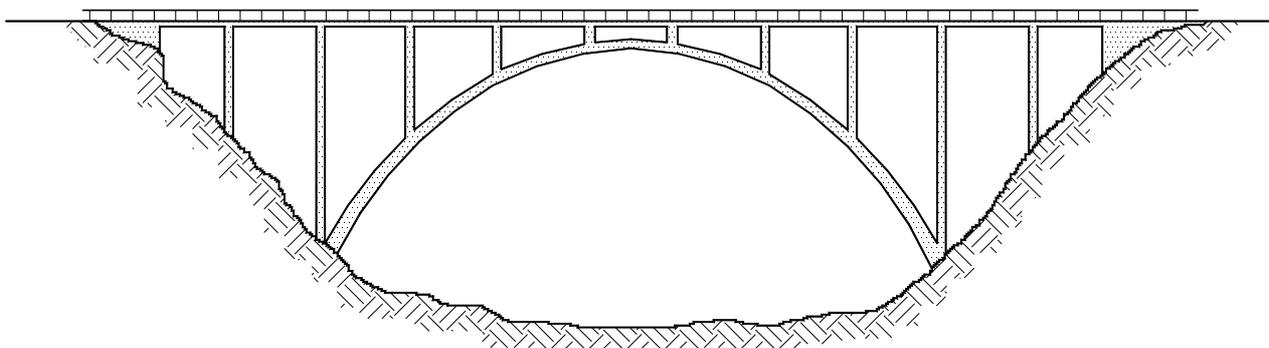
Os pilares são elementos retos, sujeitos a solicitações axiais, horizontais e de flexão; são elementos típicos de infra-estruturas com, usualmente, seções transversais quadradas, retangulares ou circulares.

Os arcos são elementos que podem ser considerados de mesoestrutura ou superestrutura; são equivalentes a colunas de grande curvatura; da adequação conveniente dos carregamentos e da curvatura do arco resultam estruturas econômicas, capazes de vencer grandes vãos. Embora econômicas e de grande beleza, as estruturas em arco de concreto armado, construídas sobre escoramentos, sempre muito difíceis, foram substituídos por estruturas de concreto protendido, construídas em avanços sucessivos. As seções transversais dos arcos podem ser quadradas, retangulares, em abóbadas alveoladas e, até, circulares. Modernamente, as estruturas em arco, que chegam a vencer vãos de 300 metros, estão sendo retomadas, mas construídas por processos sofisticados, em avanços sucessivos e aduelas atirantadas.

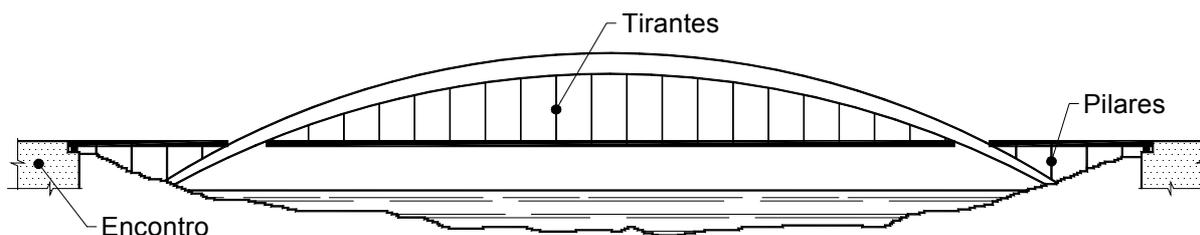
Ponte em Arco com Estrado Superior Ligado ao Arco



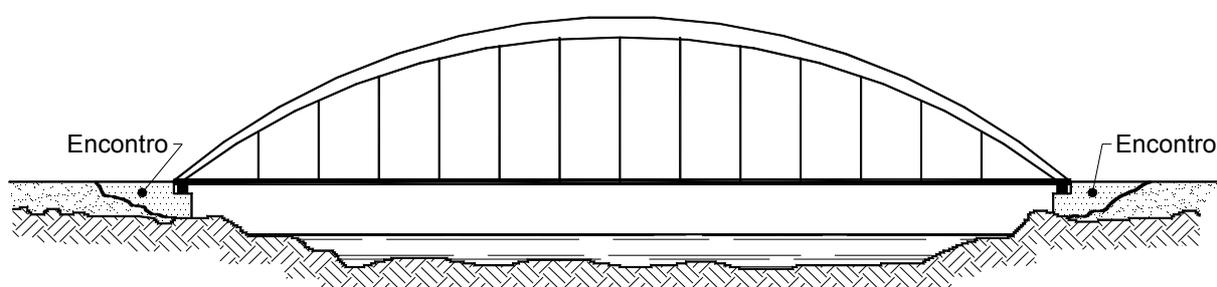
Ponte em Arco com Estrado Superior Desligado do Arco



Ponte em Arco com Estrado Intermediário



Ponte em Arco com Estrado Inferior

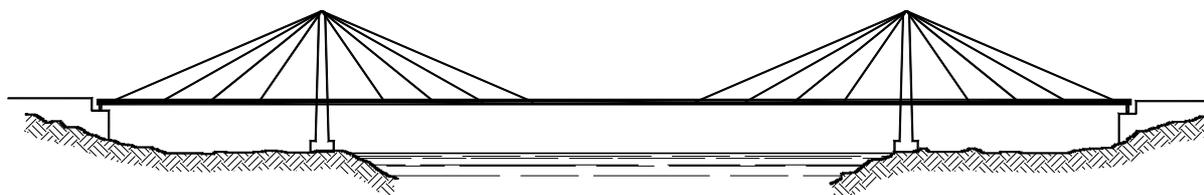


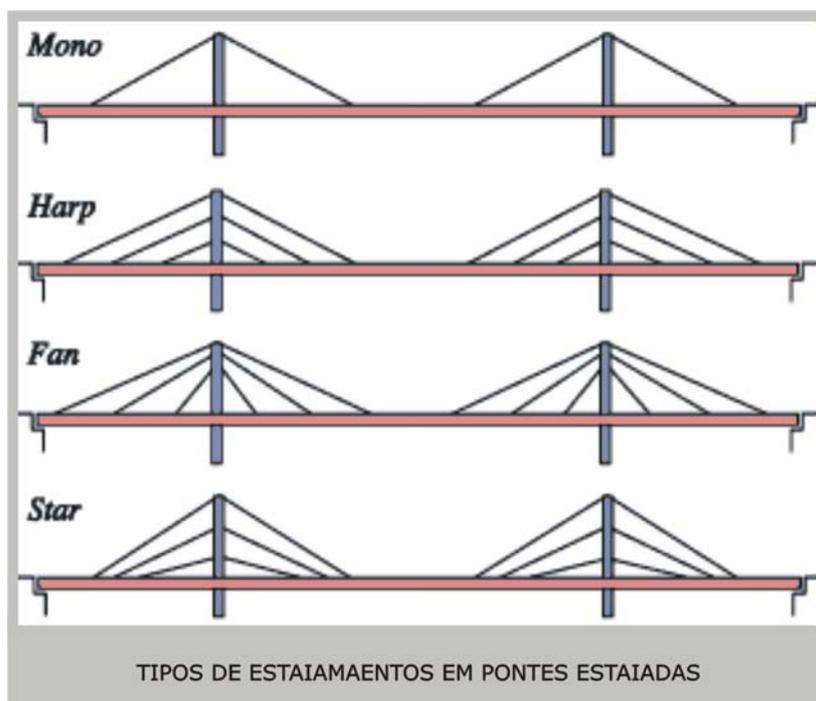
Os tubulões e as estacas são elementos de fundação; geralmente confinados, não são visíveis nas inspeções. Os tubulões são peças circulares, maciças e com diâmetros variando de 1,20 metros a 1,80 metros. As estacas podem ser de madeira, concreto ou aço; as de madeira não são mais utilizadas, as de concreto podem ser pré-moldadas ou moldadas no local e, as estacas de aço podem ser compostas por perfis ou trilhos.

9.3 ESTRUTURAS ESPECIAIS

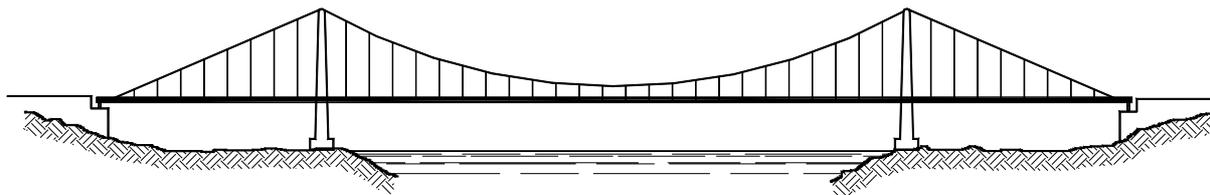
Estas estruturas, projetadas para vencer vãos excepcionais, não são objeto deste Manual e são apresentadas a título de ilustração apenas.

a) Pontes Estaiadas





SUNSHINE SKYWAY BRIDGE, EM TAMPA, FLÓRIDA, U.S.A.

b) Pontes Pênseis

SAN FRANCISCO GOLDEN GATE BRIDGE, CALIFORNIA, U.S.A.

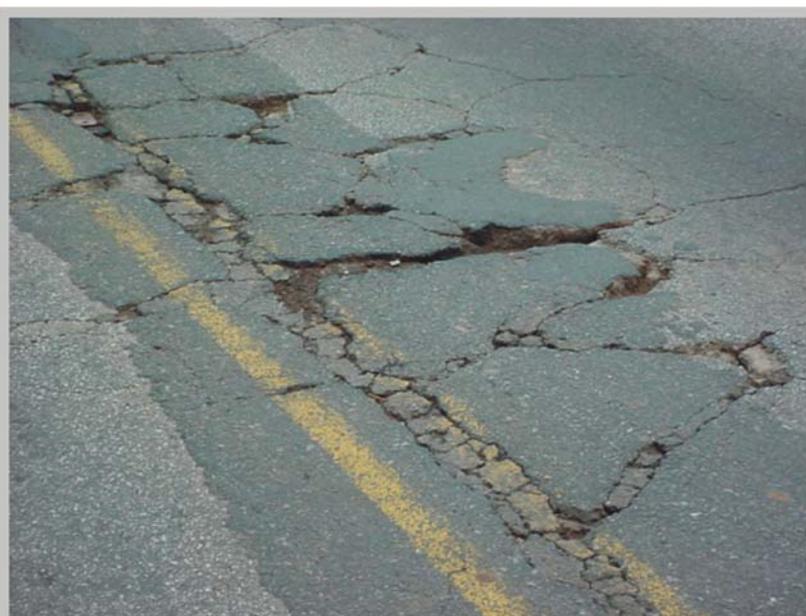


SAN FRANCISCO GOLDEN GATE BRIDGE, CALIFORNIA, U.S.A.



VIADUTO DO MUTUCA (BH-RIO), BR-040/MG, 466,00 X 15,10m

10 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ESTRADOS DAS PONTES



VIADUTO SOBRE A EFCB III, BR-040/MG, 50,00 X 8,20m

10 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ESTRADOS DAS PONTES

10.1 GENERALIDADES

10.1.1 FUNÇÃO DO ESTRADO

A principal função do estrado da ponte é a de suportar uma pista de rolamento sobre a qual o tráfego possa fluir livremente e com segurança; estando ou não solidário com os principais elementos estruturais da superestrutura, o estrado transfere as cargas dos veículos a estes elementos.

No estudo dos estrados incluem-se as lajes, a pista de rolamento, as juntas de dilatação, os sistemas de drenagem, os dispositivos de segurança, a sinalização, a iluminação, e a transição entre a rodovia e a obra-de-arte.

10.1.2 ESTRADO MISTO OU LIGADO

O estrado misto é o que está estruturalmente ligado aos elementos que o suportam, funcionando como um elemento estrutural único; ao mesmo tempo em que transfere as cargas, o estrado solidário aumenta a capacidade resistente dos citados elementos estruturais.

Nas estruturas de concreto, moldadas no local ou não, a monoliticidade do estrado com as vigas se faz com a concretagem simultânea do estrado e vigas ou com armaduras de espera tornando, posteriormente, solidários estrado e vigas; praticamente, todas as estruturas de pontes são monolíticas.

Nas estruturas mistas, vigas de aço e estrado de concreto, a solidarização se faz através de conectores metálicos; no caso de utilização de lajes pré-moldadas, estas são dotadas de aberturas a intervalos regulares, para passagem dos conectores.

10.1.3 ESTRADO DESLIGADO

O estrado desligado não aumenta a capacidade dos elementos estruturais que o suportam, ficando apenas com a responsabilidade de distribuir e transferir as cargas a estes elementos; são raras as estruturas que não aproveitam o estrado para aumentar sua capacidade suporte.

10.1.4 PRINCIPAIS ANOMALIAS DOS ESTRADOS

Os estrados são os elementos estruturais mais vulneráveis das pontes; as solicitações de cálculo, de difícil ou nenhuma redistribuição, são freqüentemente ultrapassadas por cargas excepcionais, ao mesmo tempo em que uma série de outros fatores contribui para apressar sua deterioração.

O tráfego e o impacto das cargas dos veículos causam desgaste e abrasão que podem ser agravados por vazamentos de óleo ou de produtos tóxicos.

O meio ambiente, agressivo ou não, através de chuvas e resfriamento rápido de grandes superfícies, pode provocar o aparecimento de trincas, encurtando a vida útil dos estrados.

Deficiências de projeto e de detalhamento, tais como hipóteses inadequadas de cálculo, cobrimento insuficiente das armaduras, armadura insuficiente e mal detalhada, concreto de má qualidade e mal vibrado e a retirada prematura das fôrmas são, em resumo, as causas principais de anomalias nos estrados.

Para evitar ou, pelo menos, reduzir os efeitos do desgaste e da abrasão, utiliza-se sobre o estrado uma sobre-laje, de concreto ou de pavimento; atualmente, prefere-se solidarizar a sobre-laje de concreto com a própria laje estrutural, detalhando-se um cobrimento mínimo da armadura superior não menor 5cm.

10.2 ESTRADOS DE CONCRETO

10.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS ESTRADOS

Os estrados de concreto são os mais comuns; suas propriedades físicas permitem que, com armaduras convenientemente dispostas, sejam pré-moldados ou moldados no local, com múltiplas formas e vãos; diversos processos construtivos podem ser utilizados para execução de estrados de concreto armado.

As armaduras incorporadas aos estrados de concreto, ao mesmo tempo em que os tornam exeqüíveis, corrigindo a fraca resistência do concreto à tração, podem, também, ser uma das causas mais importantes de sua prematura deterioração; chega-se a afirmar que a corrosão das armaduras é a principal causa.

Na inspeção de um estrado, o Inspetor deve identificar, com segurança, seu funcionamento estrutural para poder avaliar corretamente a gravidade das anomalias porventura existentes.

Em estrados de duas ou mais vigas principais longitudinais ou em estrados celulares, a armadura principal das lajes está disposta no sentido transversal, perpendicular ao tráfego e, com menor freqüência, em estrados com lajes apoiadas em transversinas, a armadura principal está disposta no sentido longitudinal, paralela ao tráfego; no primeiro caso, as fissuras mais perigosas são as longitudinais e, no segundo caso, as fissuras mais perigosas são as transversais.

10.2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE ESTRADOS DE CONCRETO

a) Estrado em Laje de Concreto Armado, Moldada no Local

As lajes de concreto armado são moldadas no local, sobre fôrmas removíveis ou não; as fôrmas removíveis são, em geral, de madeira e, as não removíveis, em chapas de metal corrugado.

b) Estrado em Laje Pré-Moldada de Concreto Armado

As lajes, em painéis de concreto armado, convencional ou protendido, são confeccionadas em locais outros que não a própria ponte; a incorporação destes painéis à superestrutura se faz, após seu transporte e colocação na posição definitiva, com a concretagem de aberturas regularmente espaçadas, propositalmente deixadas nos painéis, e por onde passam armaduras de espera da superestrutura.

c) Estrado em Laje Moldada no Local sobre Pré-Lajes

Geralmente utilizadas em estrados de vigas múltiplas, pouco afastadas, as pré-lajes, com espessura em torno de 7cm, já incorporam as armaduras definitivas da laje; apoiam-se, com vãos inferiores a 300cm, nas vigas principais, deixando livres as armaduras de espera; colocadas as armaduras secundárias, a laje toma dimensões definitivas com a concretagem adicional, no local.

10.2.3 SUPERFÍCIES DE ROLAMENTO PARA ESTRADOS DE CONCRETO

Para proteger o concreto estrutural da abrasão, das intempéries e de agentes agressivos oriundos de cargas transportadas, utilizam-se vários recursos, basicamente com camadas adicionais de concreto ou de asfalto, que constituem o pavimento.

O pavimento de concreto, com características especiais, é solidário ao concreto estrutural da laje; se executado simultaneamente com a laje estrutural pode ter espessura reduzida, desde que garanta um cobrimento das armaduras, mínimo, de 5cm; se executado em outra etapa, o estado de superfície da laje estrutural deve ser deixado áspero, irregular e com o aparecimento do agregado graúdo e tem uma espessura mínima da ordem de 7cm.

Os pavimentos de concreto devem ter juntas transversais de pequenas dimensões, 5 por 5mm, cheias de material selante, com espaçamento da ordem de 6,0m; estas juntas são executadas por serras, com o concreto já endurecido.

O pavimento de asfalto como superfície de rolamento apresenta a vantagem de ser de fácil aplicação e substituição; entretanto, não sendo impermeável, pode provocar efeitos danosos quando seus componentes são carregados através de trincas ou fissuras porventura existentes na laje de concreto. As tentativas de colocação de membranas impermeáveis entre o concreto e o asfalto nem sempre foram bem sucedidas.

10.2.4 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

A inspeção de um estrado de concreto é, basicamente, visual; eventualmente, instrumentos simples, tais como pequenos martelos e raspadeiras, podem ser necessários para evidenciar trincas, vazios e concreto em processo de desligamento.

Tanto topo como fundo das lajes de concreto devem ser examinados e, especificamente, os pontos mais importantes são:

- a) Áreas expostas ao tráfego: verificar desgaste e estado geral.
- b) Áreas de drenagem: verificar possível deterioração do concreto.
- c) Áreas de apoio: verificar existência de esmagamentos e trincas de força cortante.
- d) Áreas de ligação de elementos pré-moldados: verificar integridade das ligações.
- e) Restante da estrutura: verificar existência de manchas, trincas, fissuras, armaduras corroídas, contaminação por cloretos.

10.3 JUNTAS DE DILATAÇÃO

10.3.1 CONSIDERAÇÕES

As juntas de dilatação atenuam os efeitos da temperatura e da retração, permitem dividir o estrado em trechos isostáticos, definir sistemas estruturais diferentes em um mesmo estrado e têm papel importante na transição rodovia-obra-de-arte; são partes da estrutura que exigem observação e manutenção constante e, geralmente, têm reduzida vida útil.

Há um grande número de tipos de juntas mas, basicamente, elas podem ser classificadas em juntas abertas e juntas fechadas.

10.3.2 JUNTAS ABERTAS

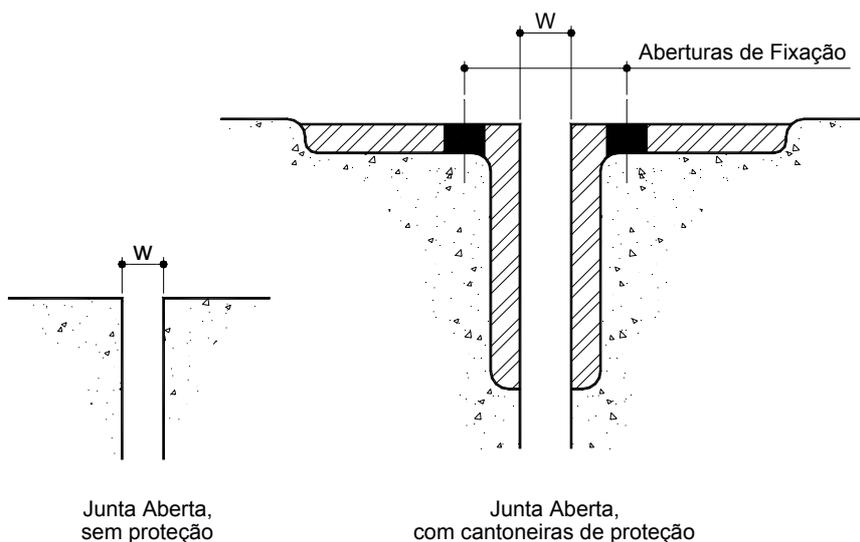
As juntas abertas permitem a passagem da água e dos detritos; de utilização restrita, não são uma boa solução visto que apressam a deterioração de elementos da infra-estrutura.

Há dois tipos de juntas abertas: as juntas definidas por fôrmas e dispositivos de proteção dos cantos e as juntas com chapas dentadas ou “finger plate joints”

a) Juntas Definidas Por Fôrmas

Essas juntas pouco mais são que aberturas entre pequenos vãos isostáticos ou entre a laje de transição e pequenos vãos extremos da ponte; somente são toleráveis quando as movimentações do estrado são diminutas.

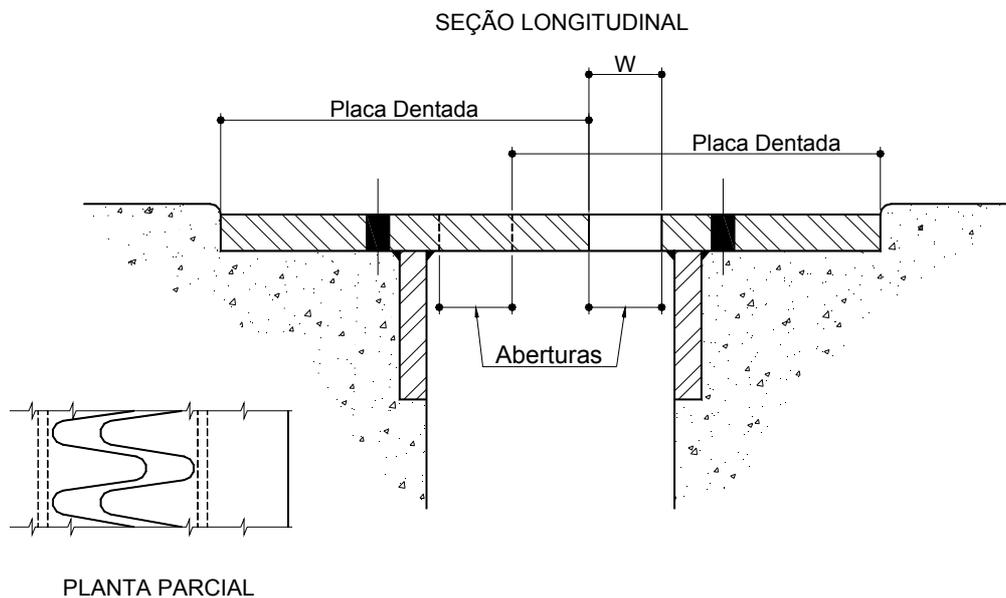
Podem ter os cantos desprotegidos ou protegidos por concreto especial, lábios poliméricos ou cantoneiras.



b) Juntas em Chapas Dentadas

Estas juntas são usadas em pontes de grandes vãos, com grandes movimentações das aberturas; uma junta consiste, basicamente, em duas chapas metálicas com extremidades em balanço ou não e com encaixes tipo macho e fêmea.

As chapas dentadas em balanço são usadas para aberturas menores e as chapas dentadas com suporte auxiliar são usadas para grandes movimentações.



10.3.3 JUNTAS FECHADAS

As juntas fechadas são projetadas para impedir que sejam atravessadas por água ou por detritos.

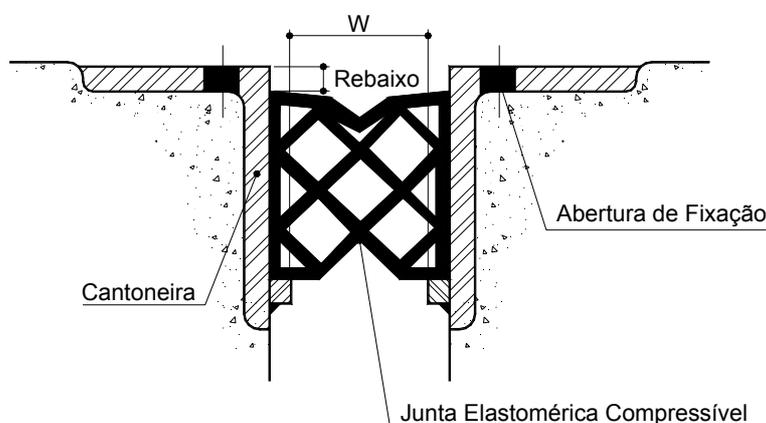
Há grande número de juntas fechadas, produzidas por diversos fabricantes: isto se deve ao alto custo das juntas, à sua reduzida vida útil e ao seu nem sempre bom

funcionamento; este grande número de juntas pode ser grupado em poucos tipos, dos quais serão citados os principais.

a) Juntas Elastoméricas de Compressão

A junta elastomérica de compressão consiste em um bloco retangular de neoprene, com aberturas alveolares, do tipo indicado na figura abaixo; as aberturas permitem que o bloco de neoprene, inserido sob compressão e trabalhando sempre comprimido, possa acompanhar os movimentos de expansão e contração da ponte. A junta de compressão deve ser encaixada entre cantoneiras de aço ou berços especiais de concreto armado.

As juntas de compressão podem ser encontradas em vários formatos e em vários tamanhos; são classificadas pela máxima abertura tolerável, que não deve ultrapassar 5cm.



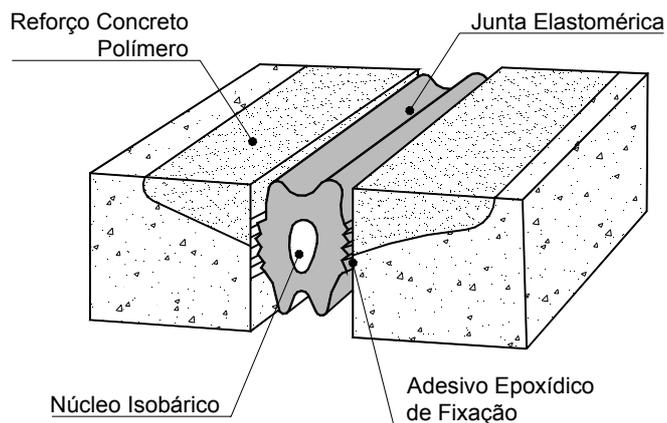
b) Junta Tipo “JEENE”

A junta “JEENE”, Junta Elástica Expansível Nucleada Estrutural é um tipo especial de junta elastomérica de compressão, constituída de três elementos básicos:

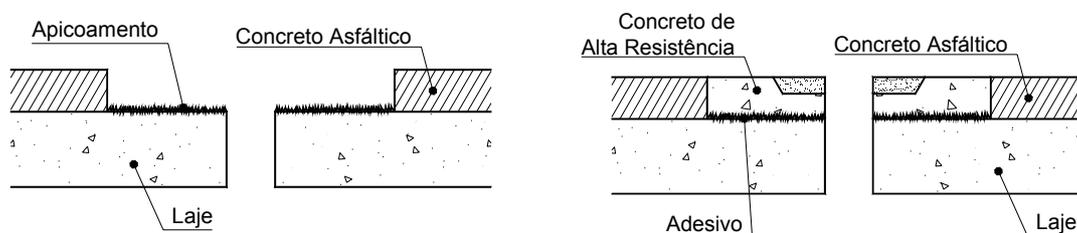
- Câmara Elástica: geralmente de elastômero, Policloropreno ou Neoprene, com uma ou mais cavidades, conforme a movimentação desejada.
- Adesivo: de natureza epoxídica.
- Pressurização e Nucleação: para obrigar a junta a dilatar-se contra as paredes da sede, comprimindo o adesivo e garantindo sua aderência e, quando necessário, para preencher os espaços vazios entre a Câmara e a Sede.

Em pontes, a utilização de juntas do tipo descrito se faz com a execução de lábios poliméricos, conforme ilustrado nas figuras que se seguem.

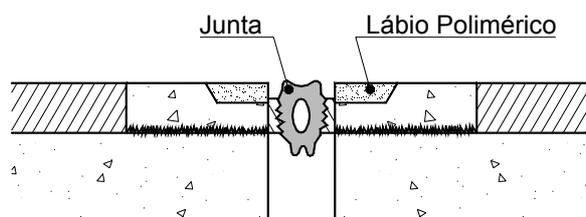
Seção Transversal



Processo de Execução



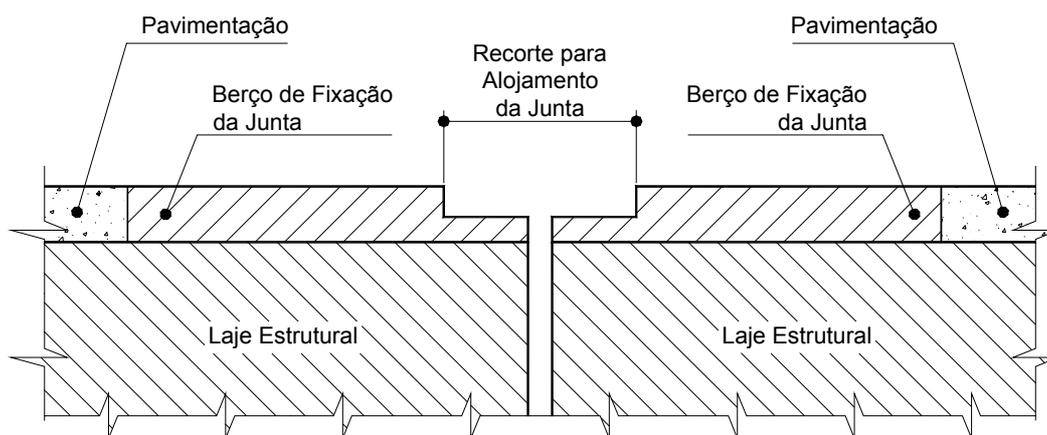
Detalhe do Alojamento da Junta



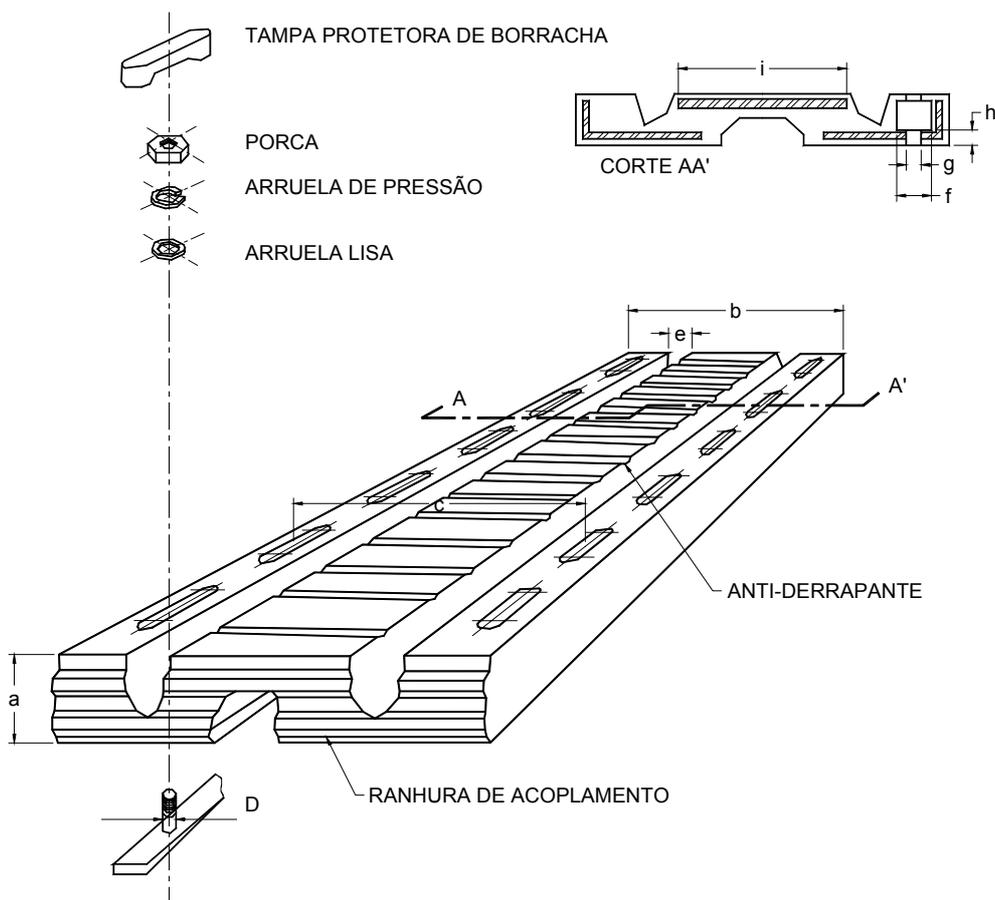
c) Juntas em Monobloco de Elastômero e Aço

Originárias da General Tire International, as juntas Transflex tomaram várias denominações, entre as quais, Transiflex e Juntaflex. São juntas de expansão e vedação para grandes movimentos estruturais, fabricadas em monobloco de elastômero e aço, com alta flexibilidade e resiliência; os graus de liberdade de flexão no sentido longitudinal são devidos às subdivisões das chapas fretantes de aço, embutidas no bloco de elastômero.

Detalhe do Alojamento da Junta



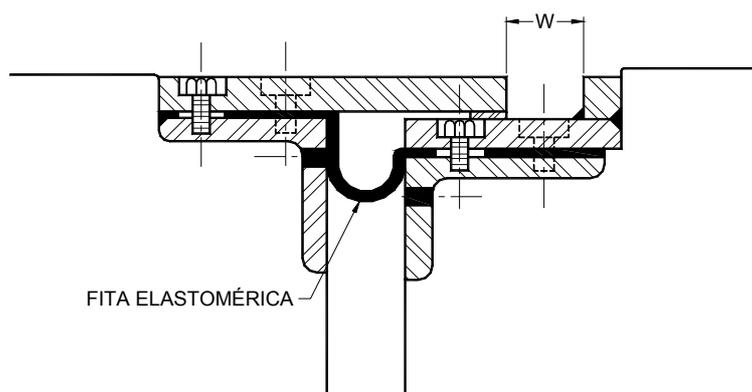
Detalhe da Junta



d) Juntas em Placas de Aço Deslizantes

Estas juntas são compostas de duas placas superpostas, uma deslizando sobre a outra, podendo acomodar uma movimentação de até 10 cm; sem o auxílio de uma folha, vedante, de neoprene, esta junta não poderia ser classificada como uma junta fechada.

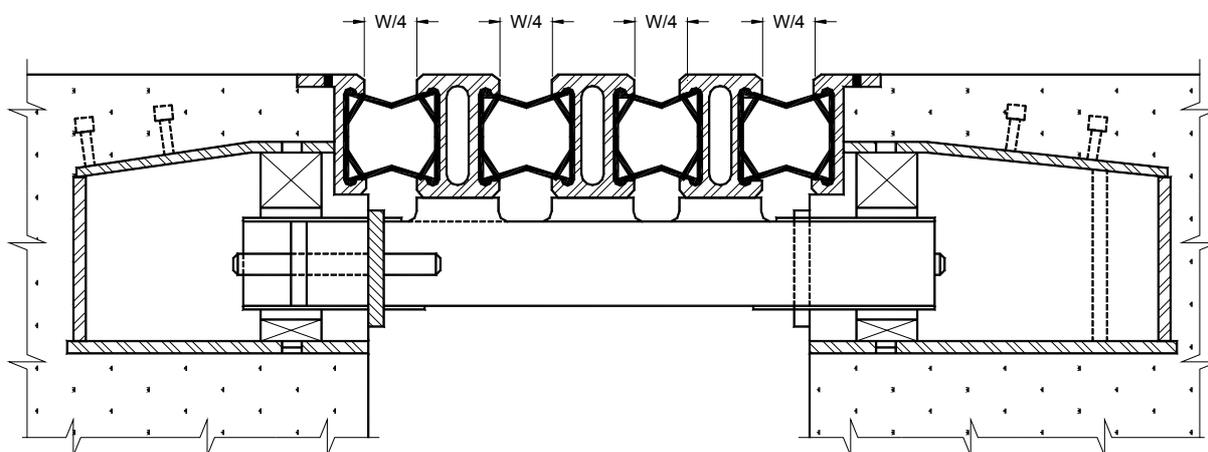
A figura seguinte ilustra uma junta fechada.



e) Juntas Elastoméricas Modulares

A junta modular elastomérica indicada na figura é um dos muitos tipos de junta elastomérica que têm capacidade de suportar cargas das rodas dos veículos; consiste em blocos vazados de neoprene, interconectados por peças de aço e suportados por um sistema estrutural próprio.

A movimentação habitual destas juntas é da ordem de 10cm a 60cm; eventualmente, pode acomodar movimentações maiores.



10.3.4 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

As principais observações que o Inspetor deverá fazer, no que se refere às juntas dos estrados, são:

a) Acumulação de Detritos

A acumulação de detritos nas juntas pode prejudicar sua livre movimentação, causando, em casos extremos, o aparecimento de trincas ou fissuras no estrado.

b) Alinhamento Adequado

Os dois trechos separados pela junta devem estar no mesmo nível e, em pontes em tangente, a abertura da junta deve estar alinhada e paralela aos trechos que separa.

Nas juntas em placas dentadas, os dentes devem se encaixar perfeitamente e devem estar no mesmo plano que a superfície do estrado.

Deve ser observado se os movimentos das juntas são consistentes com as variações de temperatura, reduzindo suas aberturas com o aumento da temperatura e aumentando suas aberturas com a redução da temperatura.

c) Juntas Danificadas

Deve ser verificado se as movimentações, o tráfego e os detritos provocaram danos às juntas, descolando-as de suas sedes ou provocando avarias outras que prejudicam sua estanqueidade.

d) Recapeamentos da Pista

Em pontes de pequenos vãos, recapeamentos de pista, executados sem a orientação devida, são, às vezes, contínuos, cobrindo as juntas; o aparecimento de trincas transversais no pavimento, exatamente sobre as juntas, é a resposta quase imediata da estrutura.

10.4 SISTEMAS DE DRENAGEM

A finalidade dos sistemas de drenagem é remover rapidamente as águas pluviais do estrado, evitando acidentes de tráfego e as danosas conseqüências da permanência de águas que se tornam poluídas, no estrado; são os seguintes os dispositivos utilizados na drenagem do estrado:

a) Drenagem Natural

Em estrados não muito longos, inseridos em trechos de greide com rampa superior a 2%, a drenagem do estrado pode ser natural, sem necessidade de drenos ou qualquer outro dispositivo especial.

b) Drenagem de Pontes Rurais: Somente Drenos

Os drenos, em geral tubos de 10cm de diâmetro, afastados de 4,0m e colocados nos dois alinhamentos transversais da pista, são a forma mais comum de escoar as águas pluviais; devem ter comprimento suficiente para impedir que as águas escoadas, impelidas pelo vento, atinjam o fundo da laje e a face da viga mais próxima.

Podem ser dotados de pequenas grelhas na face superior e, se também colocados diretamente sobre as saias de aterro, deve ser verificado se provocam erosões; em estruturas celulares, deve ser verificada a existência de drenos, bem como seu funcionamento.

Nos viadutos, deve ser verificado se foi evitada a colocação de drenos diretamente sobre as pistas inferiores; em caso contrário, avaliar a possibilidade de bloqueá-los.

c) Drenagem de Pontes Urbanas

Em pontes urbanas, ou em pontes sobre complexos rodoviários importantes, utilizam-se dispositivos completos de drenagem, às vezes com parte do sistema, inclusive tubos de queda, embutidos; deve ser pesquisada a existência de entupimentos, de vazamentos e de manchas no concreto.

10.5 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

10.5.1 TIPOS E HISTÓRICO

Basicamente, há dois tipos de dispositivos de segurança:

Dispositivos de segurança para veículos: guarda-rodas, barreiras e defensas.

Dispositivos de segurança para pedestres: guarda-corpos metálicos ou de concreto.

Durante muito tempo, as pontes rodoviárias foram projetadas e construídas, considerando satisfatórias as proteções oferecidas por tipos padronizados de guarda-rodas e de guarda-corpos, aos veículos e aos pedestres, respectivamente. Na realidade, a segurança oferecida por estas peças de concreto armado, de baixa altura e baixa resistência, era muito precária: os guarda-rodas nada mais eram que balizadores do tráfego.

Somente na década de 70 foram introduzidas, e padronizadas, as barreiras de concreto, rígidas e de padrão internacional; as defensas são peças flexíveis, metálicas e geralmente usadas em pontes metálicas e nas rodovias.

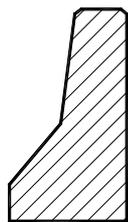
Os guarda-corpos, atualmente, somente são utilizados em passarelas ou em passeios laterais de pontes rodoviárias; pela leveza e pela estética, são, preferencialmente, metálicos.

10.5.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

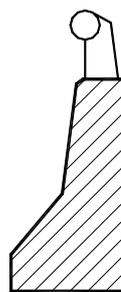
a) Barreiras de Padrão Internacional

Há alguns tipos de barreira, já bastante testados, de ampla aceitação pela indiscutível segurança que oferecem; uma das barreiras mais usadas é a conhecida como New Jersey.

Neste tipo de barreira, representado nas figuras seguintes, basta verificar as patologias convencionais.



Barreira Sem Complementação



Barreira Com Complementação

b) Barreiras Não Padronizadas

Para analisar uma barreira de perfil desconhecido é preciso verificar se ela cumpre suas principais finalidades, que são:

- resistir a choques de veículos, equivalentes a $6tf / m$;
- redirecionar o veículo, após o choque, para sua faixa de tráfego;
- não desacelerar o veículo bruscamente;
- não provocar o capotamento do veículo;
- ter um perfil interno projetado e testado para que o veículo permaneça na posição vertical, durante e após o choque.

Após esta avaliação, tão completa quanto possível, serão verificadas as eventuais patologias existentes.

c) Guarda-Corpos

Verificar se têm altura segura, cerca de 1,20 m, se nesta altura oferecem uma satisfatória dificuldade de transposição, se estão íntegros e se resistem a uma força horizontal da ordem de 80 kgf/m.

10.5.3 TRANSIÇÃO RODOVIA – OBRA-DE-ARTE

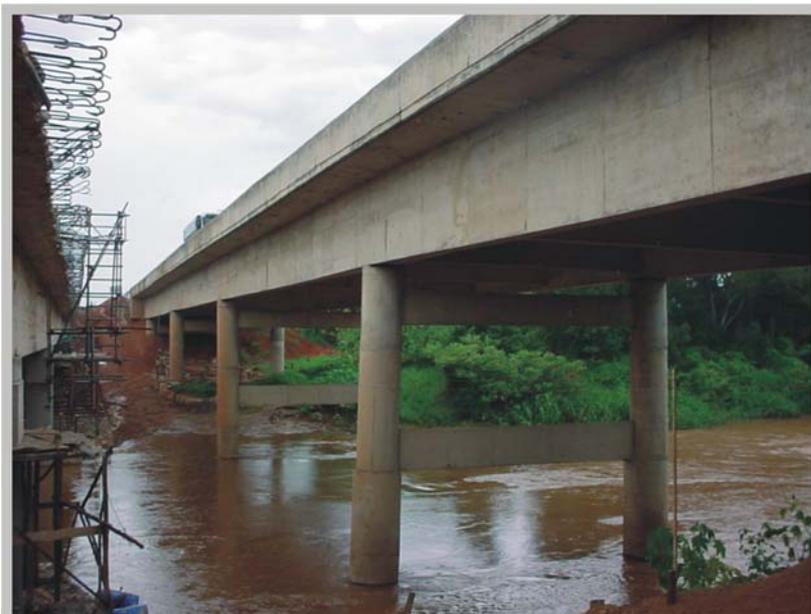
Da mesma forma que as lajes de transição promovem entradas e saídas mais suaves nas obras-de-arte, as barreiras não devem se apresentar bruscamente, em toda sua altura, nas entradas das pontes; deve ser verificado e anotado se, nas extremidades, e geralmente no mesmo comprimento das lajes de transição, as barreiras se reduzem, contínua e esteticamente, até um mínimo de 15 cm.

10.6 SINALIZAÇÃO

Deve ser verificado e anotado se existem placas ou pórticos com indicações, quando couber, de identificação da obra, da carga máxima permitida, do gabarito vertical, do gabarito horizontal e da velocidade máxima.

10.7 ILUMINAÇÃO

Havendo iluminação na obra-de-arte, o que, em geral, somente ocorre nas obras urbanas ou obras especiais, deve ser verificado e anotado o seu funcionamento.



PONTE SOBRE O RIO, SAPUCAÍ GRANDE, BR-381/MG, 113,00 X 11,00m

11 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE CONCRETO



PONTE SOBRE O RIO CÓRREGO PACIÊNCIA, BR-040/MG, 20,00 X 10,00m

11 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE CONCRETO

11.1 INTRODUÇÃO

A superestrutura de uma ponte abrange todos os elementos estruturais situados acima dos apoios; os componentes básicos da superestrutura são:

- a) **Estrado:** prolongamento físico da rodovia, compreendendo pista de rolamento, lajes, juntas de dilatação, sistema de drenagem, dispositivos de segurança, sinalização, iluminação e transição entre rodovia e obra-de-arte.
- b) **Elementos Principais:** basicamente os elementos estruturais longitudinais, que resistem às solicitações de flexão, força cortante e torção e que transmitem as cargas aos apoios.
- c) **Elementos Secundários:** são os elementos estruturais transversais, projetados para contraventar a superestrutura ou distribuir as cargas entre as diversas vigas longitudinais.

As superestruturas de concreto podem ser classificadas de acordo com o processo construtivo, em moldadas no local e pré-moldadas e, de acordo com o tipo de armaduras, segundo critério antigo, em concreto armado e concreto protendido; o tipo de armaduras orientará o desenvolvimento deste Capítulo.

11.2 ANOMALIAS PRINCIPAIS

Antes de detalhar os Procedimentos de Inspeção, é oportuno citar as principais causas das patologias que podem ocorrer nas estruturas de concreto, e que já foram apontadas no Capítulo 8; elas serão resumidas a seguir:

- a) Fissuração
- b) Corrosão das Armaduras
- c) Desagregações
- d) Disgregações
- e) Carbonatação
- f) Reação Álcali-Agregado
- g) Desgaste da Superfície
- h) Vazios de Concretagem
- i) Perda de Aderência
- j) Danos de Colisões
- k) Deterioração do Concreto Protendido

11.3 INSPEÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Na maioria das pontes antigas, as superestruturas são de concreto armado convencional e moldadas no local; nos itens seguintes serão alinhados as características de projeto e os procedimentos de inspeção dos seguintes tipos de superestruturas:

- a) Lajes Moldadas no Local
- b) Vigas "T"
- c) Vigas-Caixão
- d) Arcos
- e) Pórticos

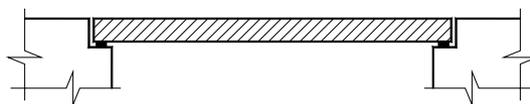
11.3.1 SUPERESTRUTURAS EM LAJES MOLDADAS NO LOCAL

11.3.1.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

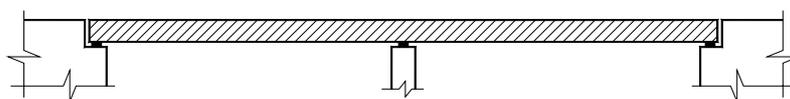
a) Descrição Sumária

A superestrutura em laje de concreto armado convencional é a superestrutura mais simples: é completa, sem vigas longitudinais ou transversais; construída com fôrmas simples, presta-se apenas para vencer pequenos vãos, em geral da ordem de dez metros. As superestruturas em laje podem ser de um só vão ou contínuas.

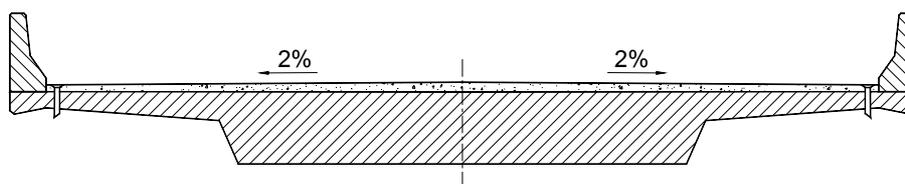
Laje Isostática: Seção Longitudinal



Laje Contínua: Seção Longitudinal



Seção Transversal



b) Elementos Principais e Elementos Secundários

Os Elementos Principais são as próprias lajes e os Secundários, vigas transversais, não existem.

c) Armaduras

Nas pontes em laje, isostáticas, de apenas um vão ou de vãos separados por juntas, a armadura principal está no fundo da laje, no sentido longitudinal e se estende de apoio a apoio e, as armaduras secundárias, são transversais; nas pontes em laje, contínuas, as armaduras principais são, ainda, longitudinais, mas estão localizadas no fundo da laje, nos vãos, e no topo da laje, nos apoios.

11.3.1.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

- a) Examinar os apoios para verificar se os aparelhos de apoio, se existentes, estão íntegros e desbloqueados e se o concreto apresenta alguma anomalia.
- b) Examinar as áreas junto aos apoios para verificar a existência de trincas inclinadas, de força cortante.
- c) Examinar as áreas mais solicitadas e onde serão encontradas as patologias porventura existentes: trincas, fissuras, eflorescências, manchas no concreto, sinais de corrosão das armaduras e armaduras expostas.
- d) Examinar as áreas onde se efetua a drenagem do estrado: pode haver deterioração do concreto, especialmente junto aos drenos.
- e) Examinar eventuais danos provocados por colisões ou fogo.
- f) Examinar os ângulos agudos das pontes esconsas: verificar existência de trincas.
- g) Verificar eventuais deslocamentos do estrado.
- h) Todas as anomalias devem ser classificadas, localizadas e anotadas.

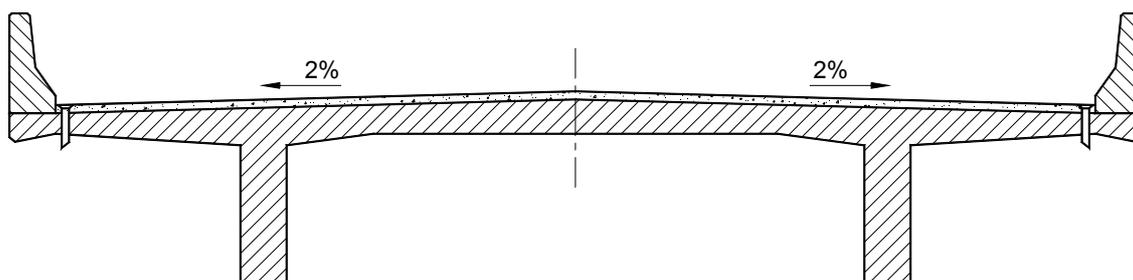
11.3.2 SUPERESTRUTURAS EM VIGAS “T”

11.3.2.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

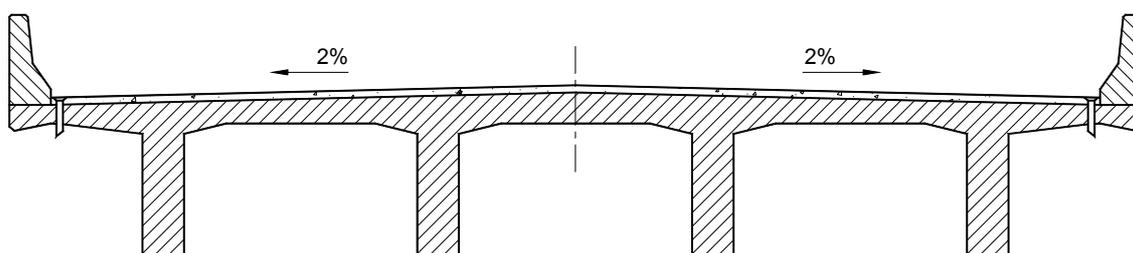
a) Descrição Sumária

A maioria das pontes de concreto armado com superestrutura moldada no local tem suas vigas principais, longitudinais, em Vigas “T”; as vigas, em número mínimo de duas ou múltiplas, estão monoliticamente ligadas às lajes, com ganho de resistência e de rigidez. Existindo vigas transversais, as transversinas, elas poderão estar ligadas às lajes ou, por facilidades construtivas, desligadas; as superestruturas em Vigas “T” podem ser de um só vão ou isostáticas e contínuas, de dois ou mais vãos.

Seção Transversal em Duas Vigas Principais



Seção Transversal em Vigas Múltiplas



b) Elementos Principais

Os Elementos Principais são as vigas principais, longitudinais.

c) Elementos Secundários

Os Elementos Secundários, que podem existir ou não, são as transversinas de apoio, as transversinas intermediárias e as transversinas extremas, também denominadas cortinas.

d) Armaduras

Nas Vigas Principais, há três tipos de armaduras:

- **Armaduras de Flexão:** no fundo das vigas, nos vãos, e no topo das vigas, nos apoios.
- **Armaduras de Força Cortante:** preferencialmente somente estribos, mas, podendo também ser parcialmente em estribos e parcialmente em barras dobradas; os estribos garantem, também, a ligação das almas das vigas com as lajes.
- **Armaduras de Pele:** nas faces laterais das vigas, para combater os efeitos da temperatura e da retração.

Nas Transversinas há armaduras de flexão no fundo e no topo; nas faces há armaduras de pele, bem como estribos, para conformação da peça e absorção de forças cortantes.

11.3.2.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Os procedimentos de inspeção são praticamente os mesmos já listados para as superestruturas em laje.

11.3.3 SUPERESTRUTURAS EM VIGAS-CAIXÃO

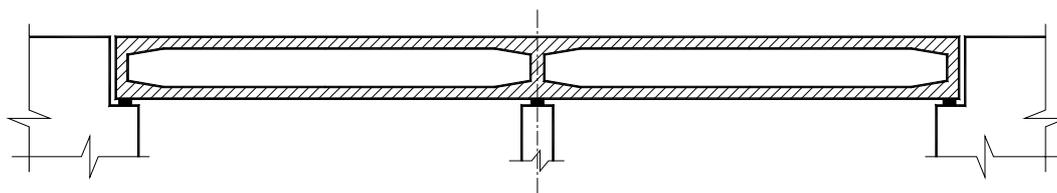
11.3.3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

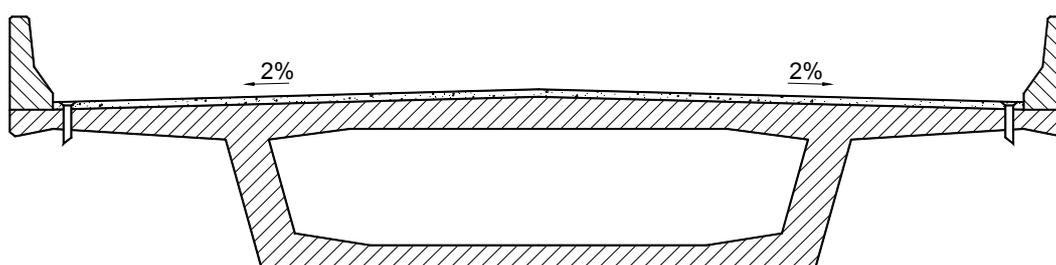
As Vigas-Caixaão, em geral monocelulares, são soluções estéticas, estruturalmente recomendadas para pontes em curva e para vãos maiores, acima de 25m, para concreto armado e acima de 35m, para concreto protendido; podem ser isostáticas, de um só vão e com extremos em balanço, ou contínuas, com dois ou mais vãos e extremos em balanço, ou apoiadas em encontros.

São compostas por vigas longitudinais, laje superior, laje inferior, transversinas de apoio, transversinas extremas e transversina central, para vãos superiores a 40m.

Seção Longitudinal de Viga-Caixaão de Dois Vãos



Seção Transversal



b) Elementos Principais

Os Elementos Principais são as vigas principais.

c) Elementos Secundários

Os Elementos Secundários são as lajes e as transversinas.

d) Armaduras

Durante muito tempo, as Vigas-Caixaõ foram projetadas com concepção e detalhamento inadequados: concentravam-se as armaduras de flexão nas nervuras, as lajes inferiores eram muito esbeltas e mal armadas e as armaduras de pele eram pouco densas e insuficientes; hoje, há regulamentos e normas que procuram disciplinar o detalhamento das vigas-caixaõ e suas armaduras mínimas.

Nas **Vigas Principais**, há três tipos de armaduras:

- **Armaduras de Flexão:** no fundo das vigas, nos vãos e, no topo das vigas, nos apoios.
- **Armaduras de Força Cortante e de Torção:** preferencialmente somente estribos mas, podendo ser parcialmente em estribos e parcialmente em barras dobradas; os estribos garantem, também, a ligação das vigas com as lajes.
- **Armaduras de Pele:** nas faces laterais das vigas, para combater os efeitos da temperatura e da retração, bem como da torção.

Na **Laje Superior**, se parte das armaduras de flexão longitudinal nos apoios não foi distribuída em toda a largura da laje, certamente serão encontradas trincas transversais na laje; em geral, as próprias armaduras de flexão da laje são suficientes para absorver as tensões de torção do caixaõ, não devendo haver trincas longitudinais.

Na **Laje Inferior**, se parte das armaduras de flexão longitudinal nos vãos não foi distribuída em toda a largura da laje, certamente serão encontradas trincas transversais na laje; como somente as armaduras de flexão da laje não são suficientes para absorver as tensões de torção do caixaõ, salvo se eles tiverem sido convenientemente reforçadas, será muito provável a existência, também, de trincas longitudinais na laje.

11.3.3.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Além dos procedimentos habituais, comuns a todos os tipos de superestruturas, os principais procedimentos adicionais, específicos das vigas-caixaõ, são:

- a) Verificar a existência de aberturas para acesso ao interior do caixaõ; não existindo estas aberturas, deverá ser providenciado um acesso seguro, através da laje inferior.
- b) Verificar se as transversinas, intermediárias e dos apoios, permitem a livre circulação no interior do caixaõ.
- c) Verificar se eventuais vazamentos da laje superior, permitem acúmulo de água no interior do caixaõ.
- d) Verificar se existem drenos no interior do caixaõ e se eles são adequados, em quantidade e em diâmetro, mínimo de 3".

11.3.4 SUPERESTRUTURAS EM ARCOS DESLIGADOS DO VIGAMENTO LONGITUDINAL

11.3.4.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

O arco é uma estrutura curva, de forma parabólica, elíptica ou circular, que, bem dimensionada, pode trabalhar exclusivamente à compressão; desconsideradas as dificuldades construtivas é o tipo de estrutura que melhor se presta ao concreto armado.

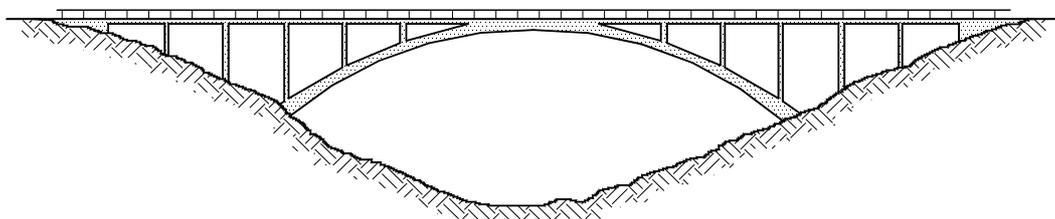
Como, em geral, por imposições topográficas não se pode dar, ao eixo do arco, a configuração ideal, as suas seções estarão sujeitas, simultaneamente, à compressão e à flexão.

Os arcos poderão suportar estrados superiores, estrados intermediários e estrados inferiores; somente serão abordados os arcos com estrados superiores.

As cargas do estrado, permanentes e móveis, chegam aos arcos, em número de dois para cada ponte, através de vigas longitudinais e colunas pouco espaçadas.

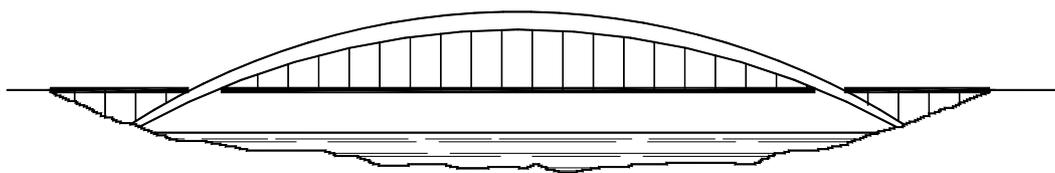
Nos arcos desligados do vigamento principal e, conseqüentemente do estrado, o contraventamento, vigas ligando um arco ao outro, é de extrema importância, para evitar a instabilidade transversal e diminuir os efeitos de segunda ordem.

Ponte em Arco com Estrado Superior

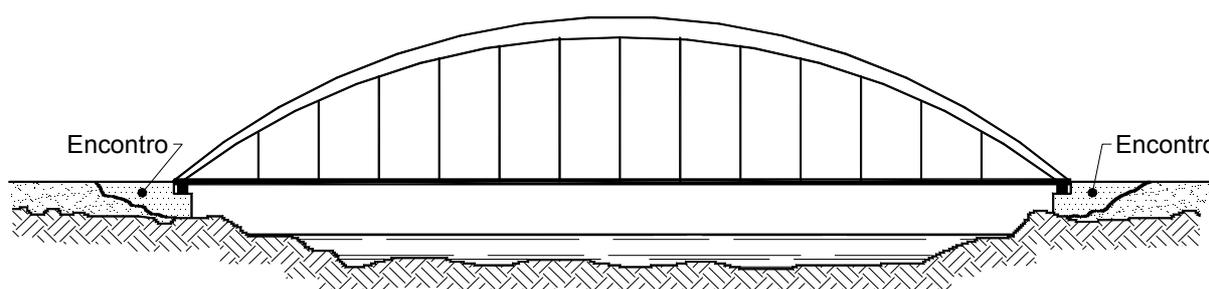


PONTE DA AMIZADE, SOBRE O RIO PARANÁ, LIGAÇÃO BRASIL-PARAGUAI

Ponte em Arco com Estrado Intermediário



Ponte em Arco com Estrado Inferior



b) Elementos Principais

Os **Arcos** são os elementos principais da superestrutura; os outros elementos, todos suportados pelos arcos, são:

- **Estrado:** em laje simples ou em vigas contínuas e laje, compondo as vigas “T”.
- **Pilares:** suportados pelos arcos; são os apoios do estrado.
- **Transversinas:** vigas transversais nos topos dos pilares e solidárias com o estrado.
- **Contraventamentos:** vigas transversais, ligando pilares muito altos.

c) Elementos Secundários

Os elementos secundários são os contraventamentos dos arcos, vigas transversais ligando os dois arcos, evitando a instabilidade transversal e minorando os efeitos de segunda ordem.

d) Armaduras

- **Nos Arcos:** armadura corrida, com reforços localizados e seguindo a conformação dos arcos; as armaduras principais estão no fundo e no topo e são dimensionadas para flexão composta, onde a sollicitação principal é de compressão. Estribos e armaduras de pele complementam as armaduras dos arcos.
- **Nos Pilares:** armadura convencional, de ferros verticais e estribos.

- **No Estrado:** as armaduras são semelhantes às já descritas para as Superestruturas em Lajes Moldadas no Local e para as Superestruturas em Vigas “T”; as pequenas dimensões dos vãos podem ser enganosas, visto que os Arcos, sendo apoios elásticos, modificam bastante as envoltórias convencionais.
- **Nas Vigas de Contraventamento:** armaduras convencionais, em todo o perímetro, com evidente predominância do fundo e do topo das vigas.

11.3.4.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Além dos procedimentos habituais, comuns a todos os tipos de superestruturas, os procedimentos específicos às Superestruturas em Arco, são:

- a) Verificar a existência de trincas longitudinais e disgregações de concreto nos arcos: podem ser indicações de arcos sobrecarregados.
- b) Verificar existência de trincas nos pilares, principalmente nas ligações com os arcos e com o estrado; os pilares mais curtos são os mais afetados pelos efeitos da temperatura e retração.
- c) Verificar existência de trincas de força cortante nas vigas de contraventamento: pode ser indicação de importantes deflexões diferenciais nos arcos.
- d) Examinar, minuciosamente, todo o perímetro das seções dos arcos; trabalhando essencialmente à compressão, qualquer redução de seção, seja por degradação do concreto, seja por corrosão das armaduras, é altamente prejudicial à capacidade resistente dos arcos.

11.3.5 SUPERESTRUTURAS EM ARCOS LIGADOS AO VIGAMENTO LONGITUDINAL

11.3.5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

Somente serão considerados os arcos que, no fecho e em curtos trechos longitudinais, se confundem com o vigamento longitudinal da superestrutura.

Os arcos ligados ao vigamento longitudinal e, conseqüentemente, ao estrado, trabalham em condições mais favoráveis que os arcos desligados; isto porque, além do ganho de resistência com a incorporação do estrado em seções muito solicitadas, os arcos são, adicionalmente, muito bem contraventados no topo.

Outros contraventamentos intermediários, constituídos por vigas, poderão existir.

b) Elementos Principais e Secundários, Armaduras e Procedimentos de Inspeção

Válidos os textos referentes aos Arcos Desligados ao Vigamento Longitudinal.

11.3.5.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

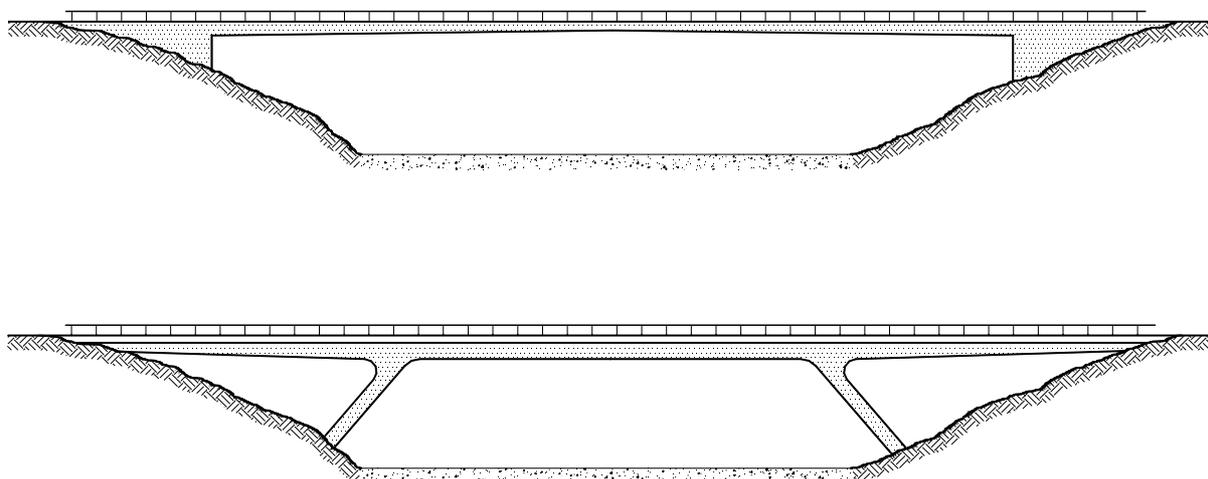
Os procedimentos de inspeção são praticamente os mesmos já relacionados para as superestruturas de arcos desligados.

11.3.6 SUPERESTRUTURAS EM PÓRTICOS RÍGIDOS

11.3.6.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

O título ficaria melhor se fosse Estruturas em Pórticos Rígidos, visto que se trata de pontes onde superestrutura e infra-estrutura estão ligadas monoliticamente; estas estruturas podem se apresentar em um só vão ou em vários vãos, contínuas.



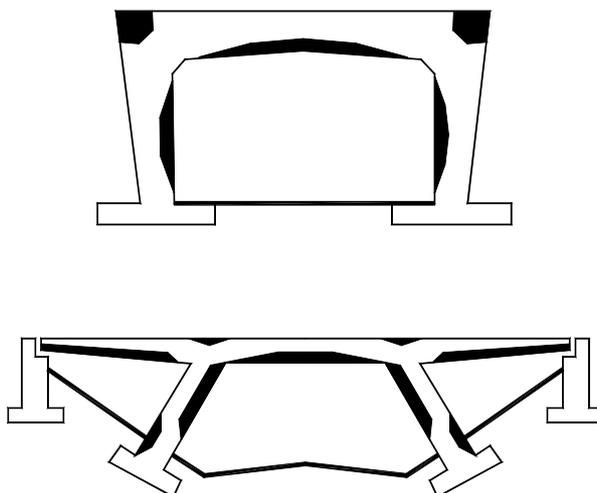
b) Elementos Principais e Elementos Secundários

Estando os elementos estruturais ligados monoliticamente, a diferenciação não é nítida, sendo conveniente considerar primários todos os elementos.

c) Armaduras

Nestas estruturas, a posição das armaduras depende da geometria do pórtico e, também, se o pórtico é apenas de um vão ou contínuo.

Nas Figuras que se seguem, estão representados os trechos com armaduras tracionadas, para dois exemplos de pórticos, de um só vão e de três vãos.



11.3.6.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Além dos procedimentos habituais, comuns a todos os tipos de superestruturas, os principais procedimentos adicionais, específicos dos Pórticos, são:

- a) Examinar os trechos das junções das infra e superestruturas.
- b) Verificar a eventual existência de trincas de força cortante nas vigas do pórtico, começando nas pernas do pórtico e continuando nos vãos e, nas pernas do pórtico, começando no topo e continuando em direção à base.

11.4 INSPEÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO

Com o aumento de largura dos estrados, o aumento das cargas móveis e a necessidade de vencer maiores vãos, as estruturas de concreto armado convencional tornaram-se inadequadas; a partir da década de 50, as pontes de concreto protendido começaram a ser utilizadas.

Vãos que ficavam limitados a cerca de 40m, construídos sobre escoramento direto, puderam ser estendidos a cerca de 300m, construídos em avanços sucessivos e sem escoramento direto; treliças superiores, de pequeno comprimento, são suficientes para fazer avançar a superestrutura, com a construção de aduelas de cerca de 5m, uma por semana, para cada treliça utilizada.

Os elementos estruturais protendidos são projetados para trabalhar comprimidos; as tensões de tração são indesejáveis e aberturas de fissuras maiores que 0,2mm, quase sempre, indicam falta de protensão ou sobrecargas excessivas.

As armaduras principais são constituídas de aço de alta resistência, pré ou pós-tensionados; as armaduras convencionais, aqui chamadas de armaduras passivas, são armaduras complementares.

Nos itens seguintes serão alinhadas as características de projeto e os procedimentos de inspeção dos seguintes tipos de superestruturas:

- a) Lajes Alveoladas Pré-Moldadas Protendidas
- b) Vigas-Celulares Pré-Moldadas Protendidas
- c) Vigas “I” ou Vigas “T” Pré-Moldadas Protendidas
- d) Vigas-Caixaão Protendidas

11.4.1 SUPERESTRUTURAS EM LAJES ALVEOLADAS PRÉ-MOLDADAS

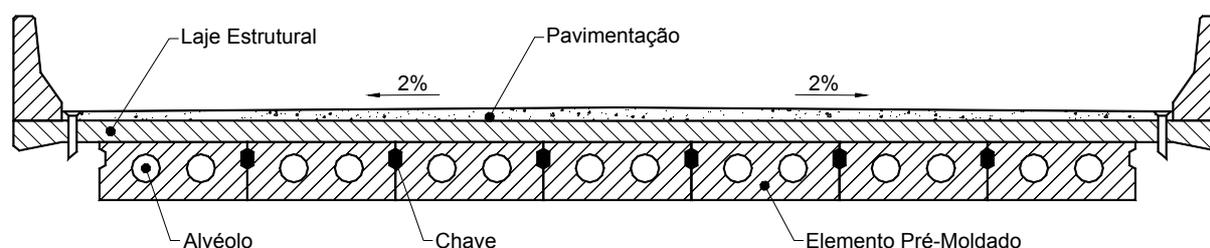
11.4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

Este tipo de superestrutura protendida é a alternativa pré-moldada da laje de concreto armado convencional, moldada no local; consiste de elementos pré-fabricados, retangulares, com vazios circulares; os vazios proporcionam economia de material e redução de peso.

Os elementos são acoplados lateralmente por “chaves” de concreto e o trabalho do conjunto pode ser melhor garantido por armaduras de espera e a concretagem de uma laje superior; este tipo de estrutura não deve ultrapassar vãos da ordem de 25m e são isostáticas, de apenas um vão.

Seção Transversal



b) Elementos Principais e Elementos Secundários

Os Elementos Principais são cada um dos elementos vazados protendidos; não há Elementos Secundários.

c) Armaduras

As armaduras principais são fios aderentes, situados no fundo dos elementos e protendidos em pista, nas fábricas; as armaduras secundárias são os estribos e os ferros nas faces e no topo, de aço convencional, que dão conformação aos elementos.

11.4.1.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Além dos procedimentos habituais, comuns a todos os tipos de superestruturas, os principais procedimentos, específicos das Lajes Alveoladas Pré-Moldadas, são:

- a) Verificar a eventual existência de fissuras ou trincas na face inferior dos elementos; estando sujeitos à forte compressão em toda a seção, a existência dessas anomalias indicará perda de protensão ou a atuação de sobrecargas excessivas.
- b) Verificar a eventual existência de fissuras ou trincas na face superior dos elementos, junto aos apoios; a existência dessas anomalias poderá indicar protensão excêntrica excessiva, nesta região.
- c) Verificar a existência de flechas, que poderá indicar perda de protensão.
- d) Verificar se há fios protendidos expostos ; estes fios estão sujeitos a um tipo especial de corrosão, a “stress corrosion” ou corrosão sob tensão, de evolução rápida e que pode levar a estrutura a uma ruptura brusca.
- e) Verificar a integridade das ligações longitudinais entre os elementos pré-moldados; na parte superior, pode ser feita pela verificação da propagação, na pavimentação, das eventuais aberturas nas ligações dos pré-moldados e, na parte inferior, por vazamentos ou por deflexões de elementos isolados, quando da passagem da carga móvel.
- f) Verificar se a drenagem dos vazios dos elementos está desobstruída e funcionando.

11.4.2 SUPERESTRUTURAS EM VIGAS CELULARES PRÉ-MOLDADAS

11.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

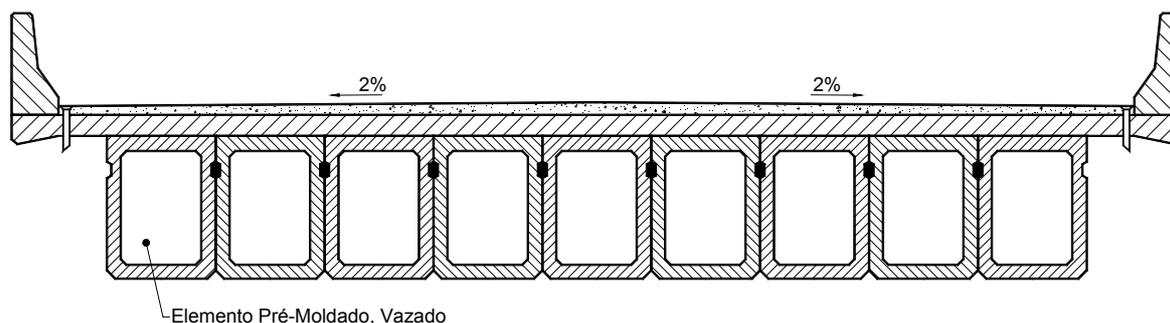
a) Descrição Sumária

As superestruturas em Vigas Celulares Pré-Moldadas são isostáticas e constituídas por elementos retangulares protendidos, com apenas um vazio, geralmente também retangular; o topo e o fundo atuam como mesas e, as paredes laterais, como almas das vigas.

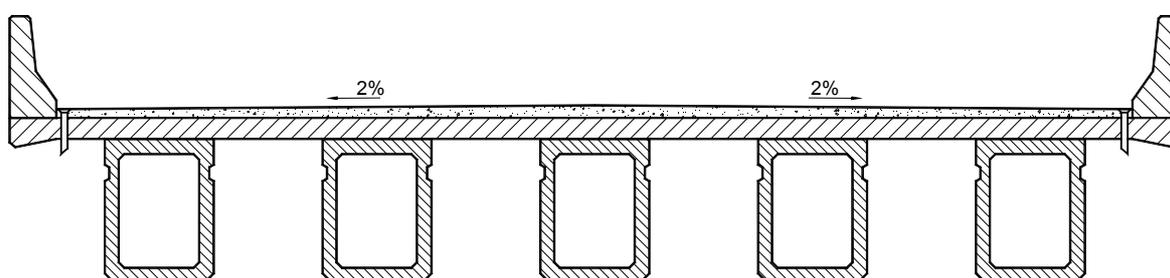
Como ordem de grandeza desses elementos, pode ser dito que a largura pode variar entre 90cm e 120cm e, as alturas, entre 60cm e 150cm; as espessuras das mesas e das almas pode variar entre 8cm e 15cm.

Basicamente, os elementos pré-moldados podem ser dispostos de duas maneiras, em uma seção transversal: justapostos ou separados.

Seção Transversal: Elementos Justapostos



Seção Transversal: Elementos Separados



b) Seção Transversal com Elementos Justapostos

Na seção transversal com elementos justapostos, os pré-moldados protendidos são colocados lado a lado e tornados monolíticos através de “chaves” concretadas no local e da laje superior de concreto armado convencional, ligada aos elementos pré-moldados por armaduras de espera.

No Brasil, este tipo de superestrutura, que pode vencer vãos de até cerca de 40m, não é muito utilizado, provavelmente por falta de programação de obras e de continuidade de encomendas.

Todos os elementos devem ter drenos em sua parte inferior.

c) Seção Transversal com Elementos Separados

Para vãos menores, de até cerca de 25m, o número de elementos pré-moldados pode ser reduzido, não havendo necessidade de coloca-los lado a lado: espaçamentos de 50cm a 150cm, entre elementos, têm sido usados.

Neste tipo de superestrutura, somente a laje superior, em concreto armado convencional e ligada aos elementos protendidos por armaduras de espera, torna solidário o conjunto.

d) Elementos Principais

Cada uma das vigas celulares é um Elemento Principal.

e) Elementos Secundários

Os Elementos Secundários são a laje superior e os eventuais diafragmas transversais, intermediários e de extremidades.

f) Armaduras

As armaduras principais são fios protendidos aderentes, colocados na mesa inferior e na parte inferior das almas; as armaduras secundárias são estribos, armadura de pele e armadura de espera.

11.4.2.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Válidos os procedimentos indicados no Item 11.4.1, Superestruturas em Lajes Alveoladas Pré-Moldadas.

11.4.3 SUPERESTRUTURAS EM VIGAS “I” OU VIGAS “T”, PRÉ-MOLDADAS

11.4.3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

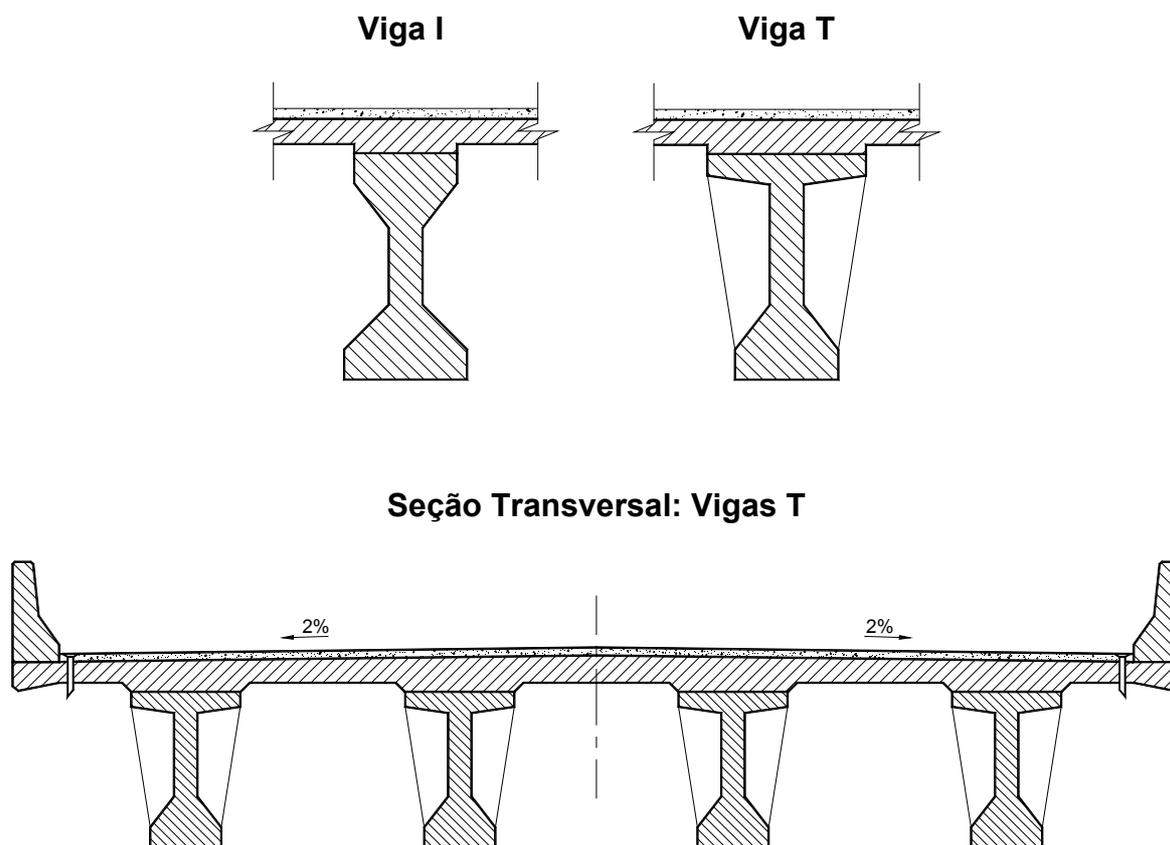
As superestruturas em Vigas “I” ou Vigas “T”, Pré-Moldadas e Protendidas, são as estruturas isostáticas mais econômicas; com grande redução de material, pode-se vencer vãos de até cerca de 45m. Os vãos são limitados pelas capacidades das treliças de lançamento.

As Vigas “I” são mais utilizadas nos Estados Unidos, onde existem tipos padronizados pela AASHTO e largamente aceitos; no Brasil, há preferência pelas Vigas “T”, sendo livre a escolha das dimensões do talão, da mesa e da alma e, conseqüentemente, do rendimento da viga.

As possibilidades que existem para transformar as vigas isostáticas em contínuas para carga móvel, com protensão e armaduras passivas adicionais, introduzidas após o posicionamento das vigas, são limitadas e de resultados pouco compensadores.

A incorporação posterior da laje, possibilitada pelas armaduras de espera das vigas, é, praticamente obrigatória e aumenta consideravelmente a capacidade portante das vigas.

Posicionadas as vigas, as peças secundárias, transversinas e laje, são concretadas no local, com concreto armado convencional.



b) Elementos Principais

Os elementos principais são as próprias vigas pré-moldadas.

c) Elementos Secundários

Os elementos secundários são a laje e as transversinas, centrais e extremas.

d) Armaduras

Nas vigas de pequenos vãos pode-se utilizar, como armadura principal, fios protendidos aderentes e protensão em pista, dispensando-se as ancoragens metálicas, peças caras; com o aumento dos vãos, a armadura principal é constituída de cabos protendidos colocados em bainhas, geralmente metálicas, corrugadas e galvanizadas.

A protensão dos cabos se processa após o concreto atingir a resistência indicada no projeto e segundo uma ordem, também indicada no plano de protensão, que procura não introduzir excentricidades laterais nas vigas; a protensão poderá ser totalmente realizada no canteiro ou parte no canteiro e parte após o posicionamento das vigas.

Os cabos são ancorados em ancoragens metálicas, todas ou quase todas posicionadas nas extremidades das vigas pré-moldadas.

As armaduras secundárias, em Aço CA-50 ou Aço CA-25, são as armaduras longitudinais, de complementação ou de conformação, e os estribos, que são também aproveitados para armaduras de espera, de ligação dos pré-moldados com a laje.

11.4.3.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

- a) Examinar as áreas próximas aos apoios.
- b) Verificar a existência de trincas de forças cortantes nas transversinas: podem indicar movimentação transversal anormal do estrado.
- c) Verificar a existência de trincas no talão: podem indicar deficiências de protensão.
- d) Verificar a existência de deflexões nas vigas: podem indicar perda de protensão.
- e) Verificar a existência de danos provocados por colisões; estes danos são freqüentes em viadutos com gabarito insuficiente.
- f) Verificar a existência de recuperações anteriores e seu desempenho.
- g) Ter em mente que fissuras em obras protendidas, além de indesejáveis são perigosas, principalmente em virtude da corrosão em tensão.

11.4.4 SUPERESTRUTURAS EM VIGAS-CAIXÃO

11.4.4.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

a) Descrição Sumária

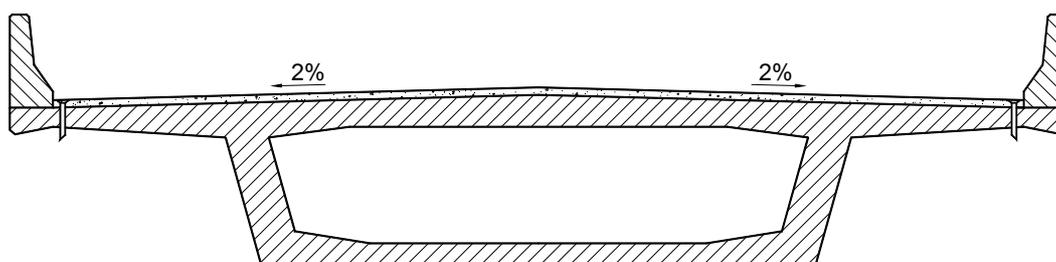
As Vigas-Caixaão possibilitam soluções de alto valor estético, são ideais para vencer grandes vãos e podem ser construídas com escoramento direto, por avanços sucessivos e por lançamentos incrementais; os dois últimos processos de construção dispensam escoramentos.

As Vigas-Caixaão constam, basicamente, de vigas principais laterais, laje superior e laje inferior; podem ser unicelulares, com apenas duas vigas principais laterais, ou multicelulares, com vigas principais laterais e centrais.

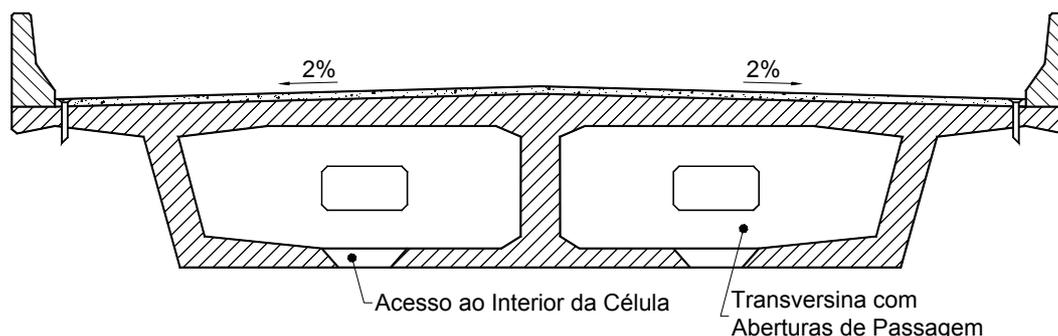
Geralmente, somente as vigas principais são protendidas; em obras de grandes vãos ou de grandes larguras, a laje superior é, também, protendida.

Atualmente, costuma-se limitar o número de transversinas, consideradas obrigatórias apenas nos apoios; tem sido satisfatório projetar uma transversina a cada 40m.

Caixaão Unicelular



Caixão Multicelular



b) Elementos Principais

Nas Vigas-Caixão, todos os elementos representados nas seções transversais, isto é, nervuras, laje superior e laje inferior, são elementos principais.

c) Elementos Secundários

Os elementos secundários são as transversinas, intermediárias, de apoio e extremas.

d) Armaduras

As armaduras das Vigas-Caixão Protendidas são, geralmente, protendidas na direção longitudinal e passivas na direção transversal; ou, mais precisamente:

- nas longarinas, para eliminar ou minimizar as solicitações de flexão, são utilizadas as armaduras protendidas e, para as solicitações de forças cortantes e de torção, utilizam-se as armaduras passivas;
- nas lajes, superior e inferior, as armaduras são em aço convencional, isto é, passivas; excepcionalmente, em lajes superiores de grandes vãos, utilizam-se armaduras protendidas e passivas;
- nas transversinas intermediárias e extremas, as armaduras são passivas e, nas transversinas de apoio, dependendo de sua função estrutural, podem ser somente passivas ou protendidas e passivas.

São válidas todas as observações já listadas para as Vigas-Caixão de concreto armado convencional, no que se refere à distribuição das armaduras, agora protendidas e passivas, em toda a zona de tração.

11.4.4.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Além dos procedimentos habituais, comuns a todos os tipos de superestruturas, e alguns particulares citados nas Vigas-Caixão de concreto armado, vale repetir alguns outros, referentes a estruturas de concreto protendido:

- Examinar minuciosa e cuidadosamente toda a superestrutura; salvo algumas pequenas fissuras de retração, admissíveis, todas as outras, eventualmente existentes, devem ser anotadas, mapeadas e investigadas.

- b) Examinar as zonas de ancoragem dos cabos e registrar as possíveis anomalias.
- c) Verificar se os aparelhos de apoio permitem a livre movimentação da estrutura.
- d) Verificar se há vazamentos e comprometimento do concreto ou das armaduras.
- e) Verificar se a superestrutura apresenta deformações.
- f) Verificar, em pontes curvas com superelevação, se a protensão introduziu deformações torcionais indesejadas.

11.4.5 OUTROS TIPOS DE SUPERESTRUTURAS

Não serão tratados aqui tipos especiais de superestruturas, em vãos ou em processos construtivos, tais como pontes construídas em avanços sucessivos ou em lançamentos incrementais.



CHUM BRIDGE, ENGLAND, EM VIGAS MISTAS:
VISTAS LONGITUDINAL E INFERIOR

12 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE AÇO



PONTE SOBRE O RIO DOCE, BR-101/ES,
VIGAS MISTAS E CONTRAVENTAMENTOS METÁLICOS

12 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUPERESTRUTURAS DE AÇO

12.1 CONSIDERAÇÕES

As estruturas de aço ainda não são, no Brasil, tão comuns como as estruturas de concreto; diversos fatores contribuem para esta preferência, dos quais os mais importantes são: o baixo custo da mão de obra não especializada utilizada nas construções de concreto, os impostos incidentes nas estruturas metálicas e a formação profissional, mais direcionada para as estruturas de concreto.

Os principais tipos de superestruturas de aço são:

- a) Vigas Mistas Múltiplas de Perfis Usinados
- b) Vigas Mistas de Chapas Soldadas
- c) Vigas-Caixão
- d) Treliças
- e) Pórticos

As patologias mais comuns em superestruturas de aço, são:

- a) Corrosão
- b) Fadiga
- c) Flambagem Lateral
- d) Danos de Colisão
- e) Danos de Cargas Excessivas
- f) Danos de Altas Temperaturas

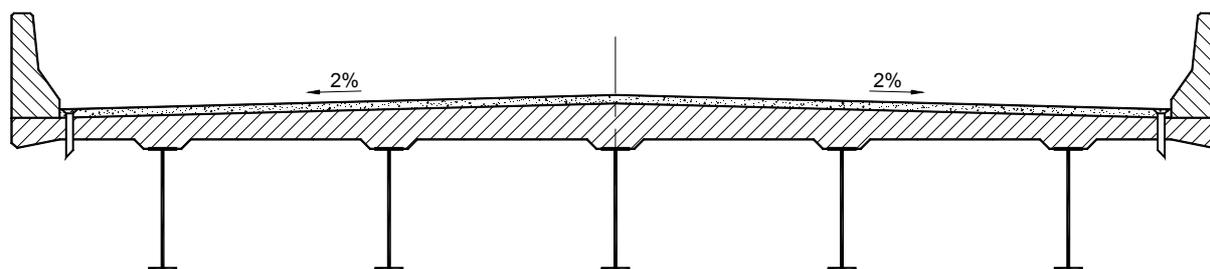
12.2 VIGAS MISTAS MÚLTIPLAS DE PERFIS USINADOS

12.2.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Em virtude das limitações das dimensões padronizadas dos perfis usinados, este tipo de superestrutura somente se presta para pequenos vãos, da ordem de dez a quinze metros; os vãos são geralmente isostáticos, sendo usados perfis múltiplos, solidarizados com a laje.

O recurso de aumentar a capacidade resistente do perfil usinado com chapas soldadas nos flanges é válido, se forem bem avaliadas as possibilidades de ocorrência da fadiga e de fissuras dela decorrentes.

Seção Transversal: Vigas Mistas Múltiplas de Perfis Usinados



12.2.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS E ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Os Elementos Principais são as Vigas Longitudinais e os Elementos Secundários são as Transversinas, intermediárias e extremas.

Nas pontes mais antigas, as ligações dos Elementos Secundários com os Elementos Principais, bem como as eventuais ligações das chapas de reforço com os flanges, eram feitas com rebites ou parafusos; atualmente, somente soldas são usadas.

12.2.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

- Examinar se há anomalias, tais como corrosão, trincas e perdas de seção, junto aos apoios, onde é maior a atuação das forças cortantes.
- Verificar, ao longo de todo o comprimento dos perfis, principalmente no centro do vão e proximidades, onde maior é a atuação dos momentos fletores, a existência de anomalias tais como corrosão, trincas, perdas de seção e avarias nos flanges e nas ligações com a laje.
- Verificar a existência, nos Elementos Secundários, das anomalias já citadas, ao longo da peça e, principalmente, nas ligações com os Elementos Principais.
- Verificar o funcionamento da drenagem, o estado da pintura e se há acúmulo de detritos, principalmente no flange inferior.
- Verificar a existência de fissuras na pintura; se estas fissuras já tiverem sido contaminadas pela ferrugem, a verificação de sua propagação no próprio perfil é obrigatória e urgente.

12.3 VIGAS MISTAS DE CHAPAS SOLDADAS

12.3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

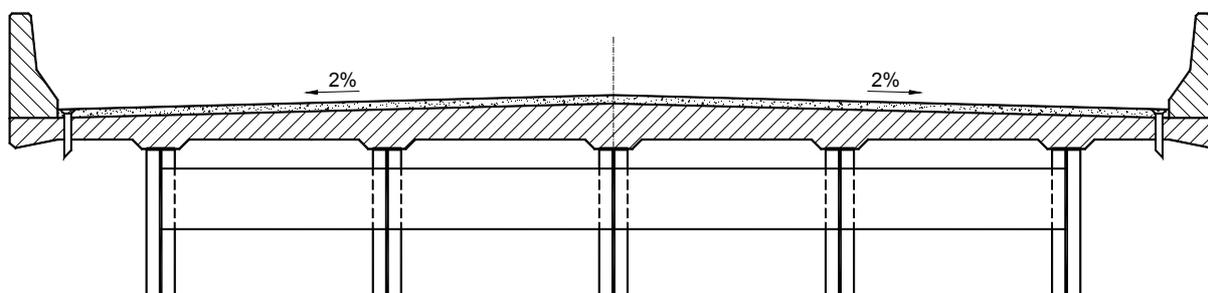
As vigas compostas de chapas soldadas, não tendo limites fixos de altura e nem de forma, podem ter altura variável e podem vencer maiores vãos, isostáticos ou contínuos; as vantagens de solidarizar as vigas com a laje, já foram enumeradas.

Com o aumento de altura das vigas, crescem as probabilidades de ocorrência de flambagem lateral das almas; os recursos usados para evitar esta flambagem lateral são vários: aumento da espessura da alma ou colocação de enrijecedores, que podem ser verticais ou horizontais, dos dois lados da alma ou apenas de um lado.

As ligações das almas com os flanges, das almas com os enrijecedores e das almas com as transversinas, primitivamente executadas com rebites ou parafusos, são, atualmente, soldadas.

As pontes em Vigas Mistas de Chapas Soldadas podem utilizar apenas duas vigas principais ou vigas múltiplas; no primeiro caso, para não sobrecarregar a laje, haverá necessidade de projetar longarinas, vigas longitudinais intermediárias, apoiadas nas transversinas.

Seção Transversal: Vigas Mistas Múltiplas de Chapas Soldadas



12.3.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS

Os Elementos Principais são as vigas principais soldadas e, em pontes curvas, as transversinas, que têm a finalidade principal de combater as solicitações de torção, além de garantir o posicionamento e a estabilidade das vigas na fase construtiva e de melhor distribuir as cargas móveis na fase operacional.

12.3.3 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Os Elementos Secundários são as transversinas, em geral soldadas aos enrijecedores transversais das vigas principais, e que têm a finalidade de garantir o posicionamento e a estabilidade das vigas na fase construtiva e de melhor distribuir as cargas móveis na fase operacional.

12.3.4 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

- Examinar se há anomalias, tais como corrosão, trincas e perdas de seção, junto aos apoios, onde é maior a atuação das forças cortantes.
- Verificar, ao longo de todo o comprimento dos perfis, principalmente nos centros dos vãos e proximidades, bem como nos apoios e proximidades, onde maior é a atuação dos momentos fletores, a existência de anomalias tais como corrosão, trincas, perdas

de seção e avarias nos flanges e nas ligações com a laje. Nos centros dos vãos, especial atenção deve ser dada aos flanges inferiores e, nos apoios de estruturas contínuas, aos flanges superiores.

- c) Verificar a existência, nos Elementos Secundários, das anomalias já citadas, ao longo da peça e, principalmente, nas ligações com os Elementos Principais.
- d) Verificar o funcionamento da drenagem, o estado da pintura e se há acúmulo de detritos, principalmente no flange inferior.
- e) Verificar a existência de fissuras na pintura; se estas fissuras já tiverem sido contaminadas pela ferrugem, a verificação de sua propagação no próprio perfil é obrigatória e urgente.

12.4 VIGAS-CAIXÃO

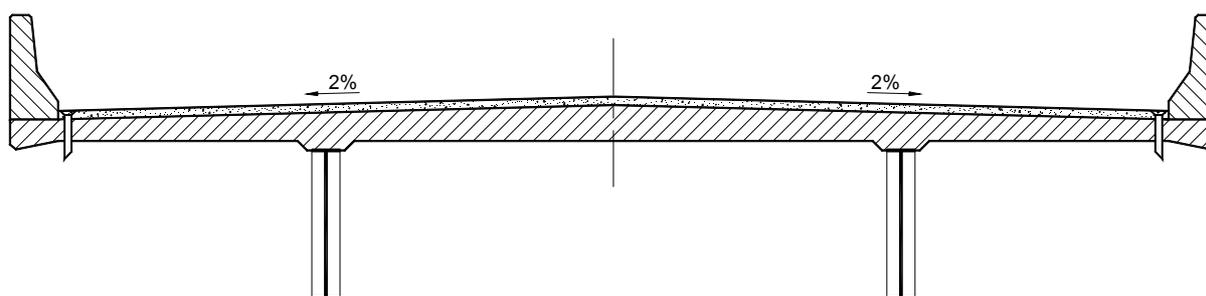
12.4.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

A superestrutura em Viga-Caixaõ consiste, basicamente, em um caixaõ metálico, de forma retangular ou trapezoidal, constituído, geralmente, de apenas duas vigas laterais, uma chapa metálica inferior e um elemento superior; para o elemento superior há, pelo menos três possibilidades: laje de concreto armado, chapa metálica e placa ortotrópica, todas com largura maior que a do caixaõ.

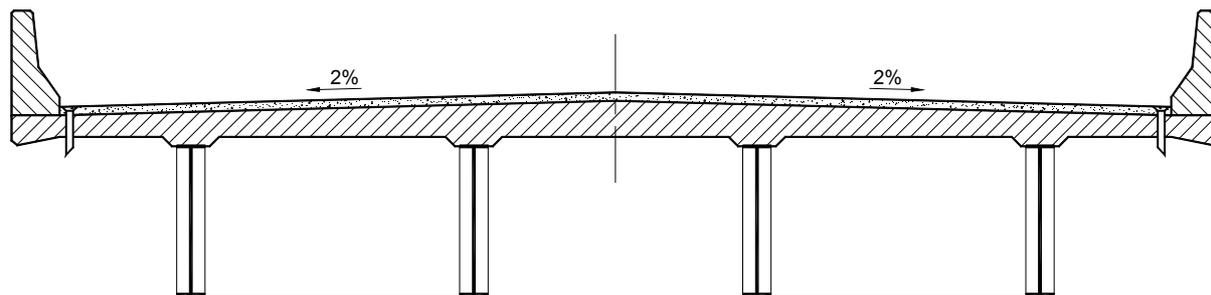
O elemento superior é sempre elasticamente ligado às vigas laterais, transformando-as em vigas-mistas e, conseqüentemente, aumentando suas capacidades resistentes; atualmente, todas as ligações são soldadas. As vigas e a chapa inferior devem ser enrijecidas nas zonas de compressão, bem como as lajes ortotrópicas que são, também, enrijecidas. Por razões estéticas, todos os enrijecedores são soldados no interior do caixaõ. Todas as Vigas-Caixaõ devem ter aberturas de acesso ao seu interior, para possibilitar a inspeção.

As soluções estruturais em Vigas-Caixaõ são muito estéticas e prestam-se às estruturas curvas e às estruturas de grandes vãos; no Brasil, uma obra pioneira de grande vão foi a Ponte Iapú – Ipatinga / MG, com vários vãos contínuos de 80m e o recorde mundial de vãos em viga-caixaõ reta e altura variável pertence à Ponte Rio-Niterói, com três vãos contínuos de 200m-300m-200m.

Seção Transversal: Viga-Caixaõ com Caixaõ Único



Seção Transversal: Viga-Caixaão com Caixaão Duplo



12.4.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS

Os Elementos Principais de uma viga-caixaão são todos os elementos longitudinais e, apenas nas pontes curvas, os diafragmas.

Os diafragmas são importantes enrijecedores do caixaão e podem ser constituídos de chapas enrijecidas ou de quadros compostos de cantoneiras, vigas “T” e chapas.

12.4.3 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Em pontes retas, apenas os diafragmas são Elementos Secundários.

12.4.4 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

As Vigas-Caixaão devem ser cuidadosamente inspecionadas nas partes externa e interna; na parte interna, as dificuldades são bem maiores, em virtude da iluminação deficiente, da pouca oxigenação do ar e, até, da possível existência de gases tóxicos ou explosivos, de aracnídeos e de morcegos.

Os procedimentos de inspeção são análogos aos já descritos para os outros tipos de superestruturas metálicas, acrescentando-se a necessidade da verificação do funcionamento da drenagem e da possível existência de infiltrações e acúmulo de água no interior do caixaão.

12.5 TRELIÇAS



QUEBEC BRIDGE, CANADÁ, FAMOSA PELA BELEZA E PELOS COLAPSOS NA FASE CONSTRUTIVA

12.5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

A Treliça pode ser descrita como sendo uma associação estável de elementos retos, compondo triângulos, e apresentando as seguintes características principais:

- a) os eixos dos elementos são retos e concorrem em pontos denominados *nós*;
- b) os carregamentos são aplicados somente nos *nós*;
- c) os carregamentos provocam, basicamente, somente forças axiais nos elementos;
- d) como a execução de *nós* ideais, que seriam materializados pela inserção de pinos que permitissem pequenas movimentações sem atrito, é impraticável, os *nós* são, na verdade, ligações rígidas, sujeitas a momentos fletores indesejáveis; estes momentos fletores, são, porém, pequenos e absorvidos pelas próprias dimensões dos elementos da treliça e por técnicas de acoplamento.

A superestrutura de uma ponte em treliça consiste em duas treliças paralelas, estrado e contraventamentos; as treliças têm sido usadas para vencer pequenos ou grandes vãos, em sistemas estruturais que podem ser de um único vão, de vários vãos isostáticos, de vãos contínuos e de construção com balanços, ligados por vão isostático.

Uma ponte em treliças tem duas vantagens estruturais principais:

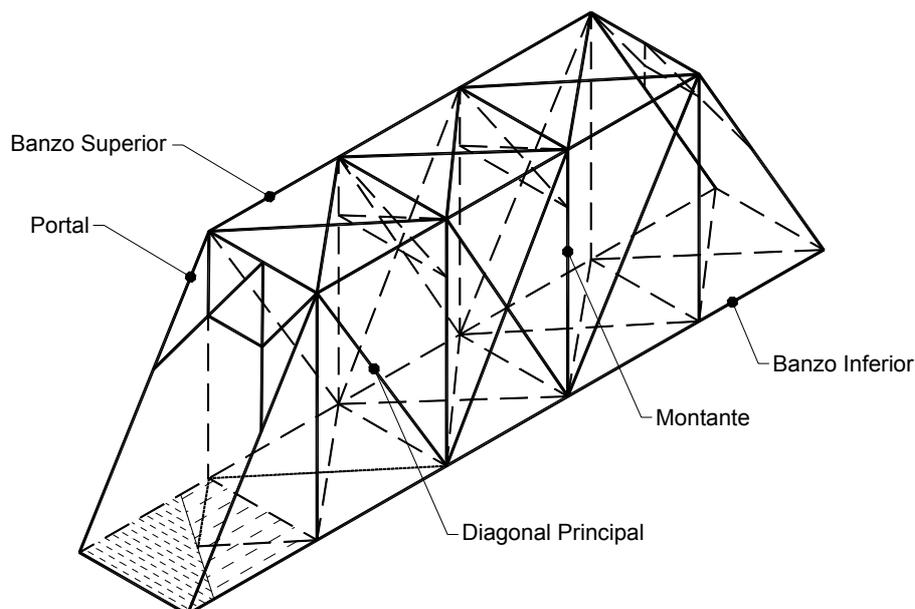
- a) as forças nos elementos principais são forças axiais;
- b) o sistema de alma aberta permite uma altura de viga bem maior que uma viga de alma cheia de peso equivalente; do aumento de altura, resultam menores deformações e uma estrutura mais rígida.

As duas vantagens citadas permitem sensível economia em material e em peso, mas também provocam maiores custos de fabricação e de manutenção.

Embora uma treliça conste, basicamente, de membrura ou banzo superior, membrura ou banzo inferior, diagonais e, eventualmente, de barras verticais, elas têm sido projetadas com grande variedade de arranjos; muitos destes arranjos foram inicialmente patenteados e ainda conservam os nomes de seus projetistas.

A título de ilustração, pode ser mencionado que, em uma treliça isostática, o banzo inferior está sempre tracionado e, o banzo superior, sempre comprimido. Quanto às diagonais e aos montantes, há várias regras práticas que podem indicar se estão tracionadas ou comprimidas; estas regras não serão reproduzidas neste Manual, visto que, em pontes, com o aumento das cargas móveis, há diagonais que, conforme a posição das cargas, podem estar tracionadas ou comprimidas.

A seguir, será reproduzido um esquema completo de um vão de ponte em treliça.

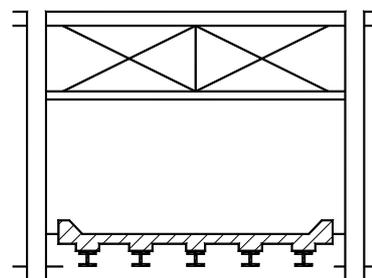
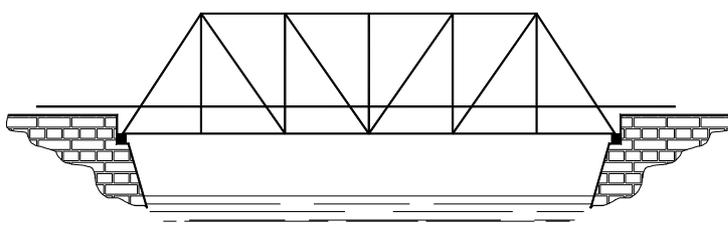


12.5.2 TIPOS PRINCIPAIS DE TRELIÇAS

a) Conforme Posição Relativa do Estrado

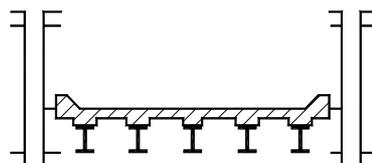
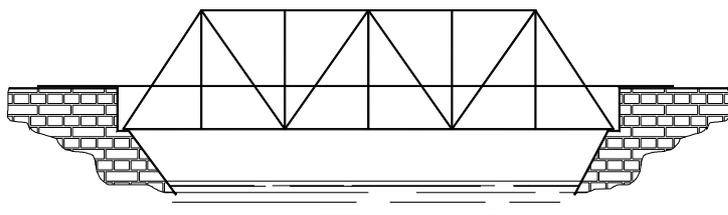
- Trelças com Estrado Inferior e Contraventamento Superior

O estrado fica entre as duas treliças; projetadas quando há limitações de gabarito inferior.



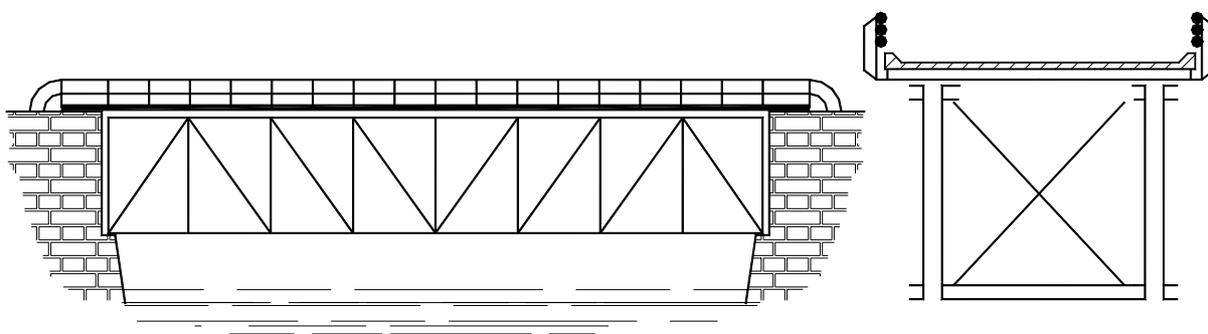
- Trelças com Estrado Inferior e sem Contraventamento Superior

Estas treliças têm altura menor que as com Contraventamento Superior e deixaram de ser projetadas, sendo substituídas por superestruturas de vigas múltiplas.



- Treliças com Estrado Superior

Neste tipo de treliças, o estrado fica sobre os elementos principais e os gabaritos vertical e horizontal não sofrem restrições: o vertical é livre e, o horizontal pode ser aumentado, se necessário, com o alargamento do estrado, sem deslocamento das treliças.

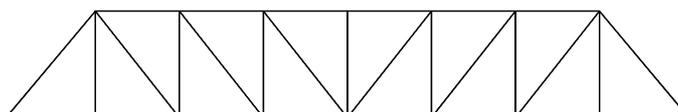


b) Conforme Geometria

- Treliça Pratt

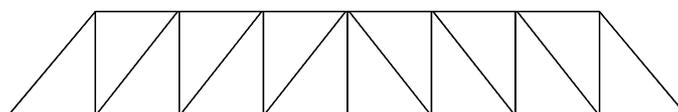
A Treliça Pratt, por definição, é uma treliça em que as diagonais são tracionadas; para carregamentos usuais; esta definição corresponde ao arranjo, básico, esquematizado a seguir e que pode sofrer variações, conforme o estrado seja inferior ou superior.

A Treliça Pratt é considerada uma boa solução visto que os elementos verticais, que trabalham comprimidos, são mais curtos que as diagonais, que trabalham tracionadas.



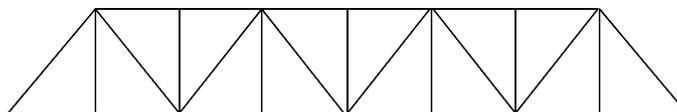
- Treliça Howe

A Treliça Howe, esquematizada a seguir, é basicamente o inverso da Treliça Pratt.



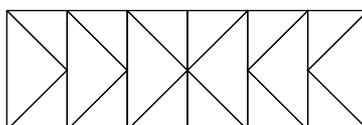
- Treliça Warren

A Treliça Warren, representada a seguir, em dois esquemas, um básico e outro modificado pela presença de elementos verticais, tem diagonais comprimidas e tracionadas.



- Treliça "K"

A Treliça "K", esquematizada a seguir, é indicada quando a altura de uma célula é da ordem de duas a três vezes o seu comprimento.



12.5.3 ELEMENTOS PRINCIPAIS

Os Elementos Principais de uma ponte em treliças são as duas treliças longitudinais e o vigamento do estrado.

12.5.4 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Os Elementos Secundários de uma ponte em treliças são os contraventamentos, inferior e superior.

12.5.5 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

a) Elementos da Treliça

A treliça é composta de elementos sujeitos a forças axiais, havendo elementos em que, conforme a posição das cargas móveis, estas forças possam ser de tração ou de compressão; neste caso, para efeitos de inspeção, os elementos devem ser considerados como tracionados.

b) Elementos Tracionados

Verificar se os elementos permanecem retilíneos: qualquer abaulamento pode ser causado por uma reversão permanente da força de tração.

Verificar a existência de fissuras e de sinais de corrosão.

Em pontes onde a ligação dos elementos se realiza por pinos, verificar a integridade dos olhais das barras de olhal, bem como dos pinos.

c) Elementos Comprimidos

Verificar se há princípio de flambagem de elementos, que é uma indicação de tensão elevada de compressão; ondulações nos flanges e nas almas são formas comuns de flambagem.

Verificar a existência de fissuras e de sinais de corrosão.

d) Banzo Inferior e Banzo Superior

Verificar a existência de fissuras e de sinais de corrosão.

Verificar a existência de detalhes que possibilitem o acúmulo de água ou de detritos.

e) Elementos Sujeitos à Ruptura Frágil

Uma ponte consta de, apenas, duas treliças; trata-se, basicamente, de uma estrutura não redundante; acrescenta-se, ainda, que as treliças são formadas por um conjunto de elementos conectados nos *nós* e a ruptura de um elemento tracionado pode ou não provocar o colapso total da estrutura.

O Inspetor deve considerar que todos os elementos tracionados, tais como banzo inferior, diagonais e pendurais, bem como os eventuais pinos de conexão, são elementos sujeitos à ruptura frágil e, como tal, merecedores de especial atenção.

f) Vigamento do Estrado

O vigamento do estrado de uma ponte em treliças consta de longarinas, vigas longitudinais, apoiadas em transversinas, vigas transversais, que se apóiam nos *nós* das treliças.

Estes elementos estruturais são vigas convencionais, que estão sujeitas a momentos fletores e a forças cortantes; aos procedimentos de inspeção já enumerados para peças semelhantes, cabe acrescentar mais um: a verificação de eventuais ruídos causados pela passagem de veículos, que poderiam ser causados por peças com ligações defeituosas.

g) Elementos Secundários

Verificar se há danos resultantes de eventuais colisões de veículos..

Verificar se os contraventamentos estão íntegros e alinhados.

Verificar se as chapas de ligações dos elementos, os *gussets*, estão íntegras e isentas de corrosão; estas chapas, pela sua geometria e seu posicionamento são, principalmente as horizontais, as mais suscetíveis de uma prematura degradação.

h) Detalhes com Maior Tendência à Fadiga

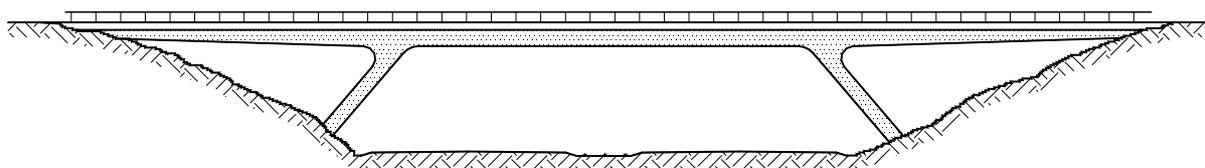
Todos os detalhes que permitam o acúmulo de detritos ou da umidade são os mais suscetíveis de serem atacados pela corrosão, com a conseqüente redução de seção; esta redução de seção, dependendo da grandeza e da flutuação de tensões a que o elemento está sujeito, pode provocar um colapso local, por fadiga.

12.6 PÓRTICOS

12.6.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Uma ponte metálica com estrutura aporticada tem a superestrutura e a mesoestrutura rigidamente ligadas; esta ligação rígida, além de conveniente estruturalmente, pela repartição de solicitações, traz benefícios econômicos e estéticos.

Um exemplo típico de estrutura aporticada, simples e de uso generalizado em viadutos, é a que está representada na figura seguinte.



Uma rápida análise deste exemplo de estrutura aporticada permite apontar algumas de suas vantagens principais:

- a) Partido estético agradável.
- b) Possibilita vencer vãos maiores e elimina apoios centrais.
- c) Permite economia de materiais, em virtude da continuidade da superestrutura e da repartição de solicitações com a mesoestrutura.
- d) Transmite pequenas reações aos encontros extremos.
- e) As pernas do pórtico, se rotuladas nas bases, são suportadas por fundações leves.

12.6.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS

Em pontes de aço aporticadas, os elementos principais são os pórticos como um todo; entretanto, para facilitar sua caracterização, o pórtico é considerado como constituído de três partes:

- a) Vigas Aporticadas: elementos horizontais.
- b) Pernas do Pórtico: elementos verticais e/ou inclinados.
- c) Nós do Pórtico: interseções das Vigas Aporticadas com as Pernas dos Pórticos.

As vigas do Vigamento do Estrado são consideradas Elementos Principais.

12.6.3 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Os Elementos Secundários são os contraventamentos e os diafragmas, intermediários e extremos, e as chapas de ligação dos nós.

12.6.4 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

a) Vigas Aporticadas

Verificar, nos trechos mais solicitados por flexão ou forças cortantes, a eventual existência de fissuras e de perda de seção por corrosão.

Verificar, nos flanges comprimidos das vigas, sinais característicos de flambagem.

Verificar, nos apoios das vigas, existência de corrosão e/ou de mau funcionamento.

b) Elementos Secundários

Examinar as chapas de ligação, especialmente as horizontais, que podem acumular detritos e umidade, tornando-se mais vulneráveis à corrosão e deterioração.

Examinar os trechos junto aos dispositivos de drenagem e às juntas de dilatação, que são os mais afetados pelo escoamento das águas do pavimento.

c) Áreas Expostas ao Tráfego

Examinar todas as peças acima do pavimento para identificar eventuais danos de colisões de veículos.

d) Detalhes com Maior Tendência à Fadiga

Examinar os trechos tracionados para identificar eventuais fissuras em soldas de ligação de chapas.



PONTE SOBRE O CÓRREGO FACÃO, BR-040/MG, 50,00 X 10,00m

13 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO



PONTE SOBRE O CÓRREGO RICO, BR-040/MG, 84,00 X 10,00m

13 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO

13.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O aparelho de apoio é um dispositivo que faz a transição entre a superestrutura e a mesoestrutura, ou a infra-estrutura, nas pontes não aporticadas; as três principais funções do aparelho de apoio são:

- a) Transmitir as cargas da superestrutura à mesoestrutura ou à infra-estrutura.
- b) Permitir os movimentos longitudinais da superestrutura devidos à retração própria da superestrutura e aos efeitos da temperatura, expansão e retração.
- c) Permitir rotações da superestrutura, motivadas pelas deflexões provocadas pela carga permanente e pela carga móvel.

13.2 TIPOS DE APARELHO DE APOIO

Os aparelhos de apoio podem ser grupados em aparelhos de apoio fixos e aparelhos de apoio móveis.

13.2.1 APARELHOS DE APOIO FIXOS

Os aparelhos de apoio fixos de maior simplicidade são mais conhecidos como “articulações” e, os mais sofisticados, são os aparelhos de apoio metálicos; as articulações podem ser de chumbo ou de concreto.

13.2.1.1 ARTICULAÇÕES DE CHUMBO

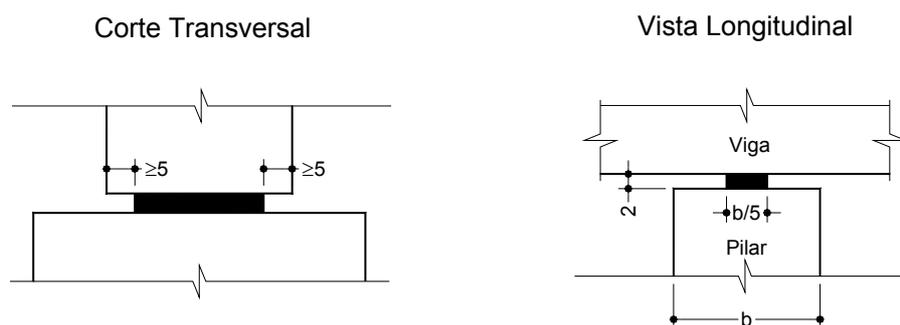
Estas articulações estão sendo citadas apenas pelo seu valor histórico; largamente usadas antes das articulações de concreto e das de neoprene, as articulações de chumbo foram abandonadas quando o chumbo se revelou um material inadequado: com algum tempo de uso, o material escoava, permitindo que sua forma geométrica inicial, bem definida, se transformasse em uma lâmina delgada de contorno irregular. Dimensionada para uma tensão máxima de compressão da ordem de 100 kg/cm^2 , ou 1 kN/cm^2 , a placa de chumbo era, usualmente, retangular, com altura inicial, ainda indeformada, de 2cm.

13.2.1.2 ARTICULAÇÕES DE CONCRETO

a) Articulações Freyssinet

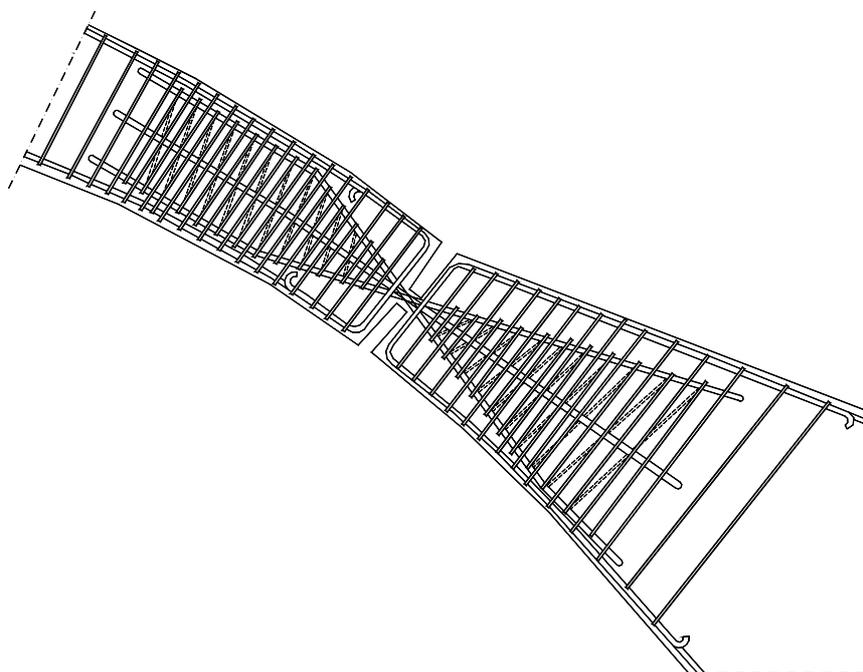
A Articulação Freyssinet é uma articulação fixa de concreto que consiste em uma redução de seção da peça a articular; tem, em geral, 2cm de altura e deve trabalhar com tensões elevadas, visto que a plastificação da articulação é desejável. A utilização de barras de aço passantes é um hábito generalizado e precaução desnecessária: segundo estudos teóricos e experimentações práticas, a presença

destas barras perturba o funcionamento da articulação. Trata-se de uma articulação barata e confiável.



b) Articulações Mesnager

As Articulações Mesnager são articulações fixas que transmitem esforços por aderência, através de barras cruzadas ancoradas nos blocos a articular, e cuja função é transmitir a força normal e resistir à força cortante que se manifestam entre os dois blocos; a articulação Mesnager não se confunde com a articulação Freyssinet porque o concreto que reveste a armadura na seção reduzida tem, na articulação Mesnager, apenas a função de proteger o aço, não colaborando na transmissão de esforços. É uma articulação de uso mais restrito e, provavelmente, para solicitações mais modestas.

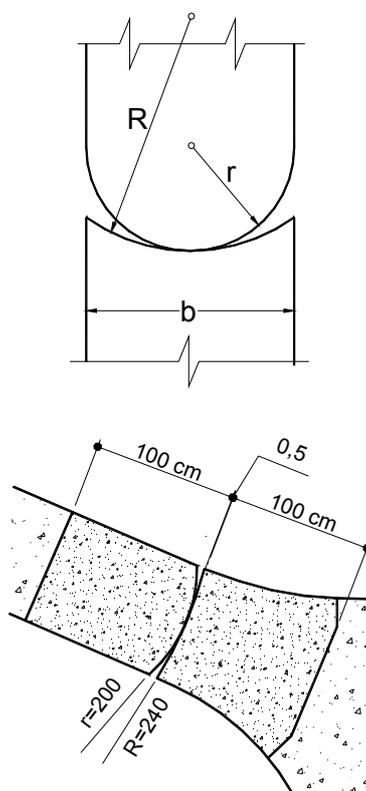


c) Articulações de Contato de Superfícies Cilíndricas

São articulações fixas de concreto armado ou de concreto armado blindado, com rotações garantidas pelas superfícies de contato cilíndricas; este tipo de contato admite tensões de compressão elevadas, justificadas pela teoria de Hertz. Nas figuras seguintes são representadas diversos tipos de Articulações de Contato de Superfícies Cilíndricas.

d) Articulação de Contato

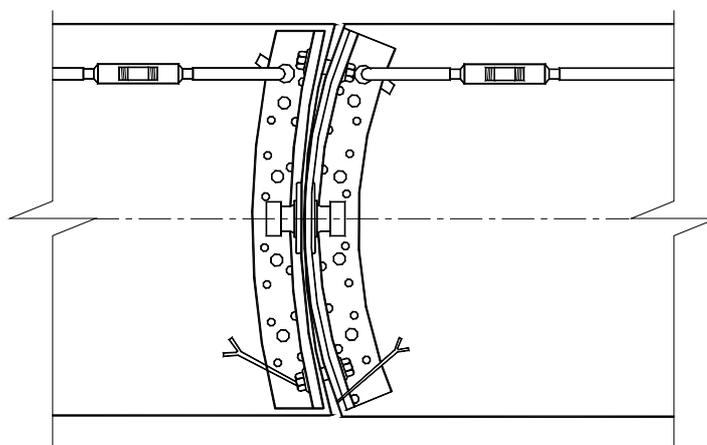
Armaduras não representadas, a articulação trabalha, basicamente, à compressão.



Nas Articulações de Contato de grande porte, para evitar concentração não prevista de tensões, por motivo de defeitos construtivos pode-se intercalar, entre as duas superfícies cilíndricas uma placa de chumbo, ou de aço.

e) Articulação Blindada ou Articulação Burkhardt

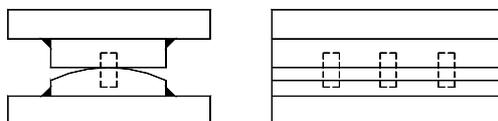
Utilização de duas chapas de aço, de 8mm de espessura, envolvendo as superfícies cilíndricas.



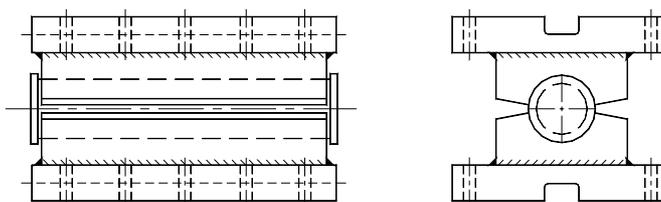
13.2.1.3 ARTICULAÇÕES METÁLICAS

Alguns tipos básicos de articulações metálicas fixas, com liberdade à rotação, são os que se apresentam a seguir:

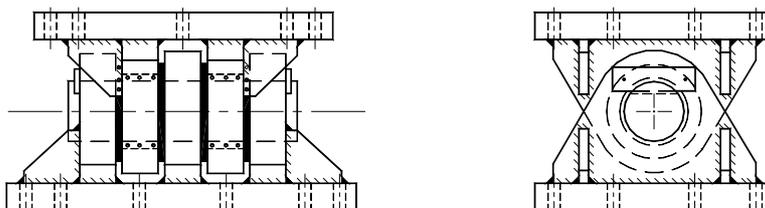
a) Articulações Sem Rolo Metálico



b) Articulações Com Rolo Metálico



c) Articulações Para Cargas Verticais Reversíveis: Compressão ou Tração



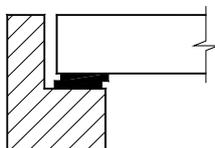
13.2.2 APARELHOS DE APOIO MÓVEIS

13.2.2.1 APARELHOS DE APOIO DE DESLIZAMENTO

Os primeiros aparelhos de apoio de deslizamento foram usados para pequenos vãos e antes do aparecimento das placas de neoprene fretado. Consistiam, basicamente, em duas placas de aço polido, com um lubrificante entre elas; o funcionamento deste tipo de aparelho de apoio era, além de precário, temporário: o lubrificante retinha detritos que prejudicavam o deslizamento e absorviam umidade que provocava corrosão prematura.

Mais recentemente tem sido utilizado o teflon em substituição ao lubrificante; o teflon é um material pouco resistente e de confiabilidade temporária, sendo empregado quando são necessários deslocamentos significativos em curto espaço de tempo.

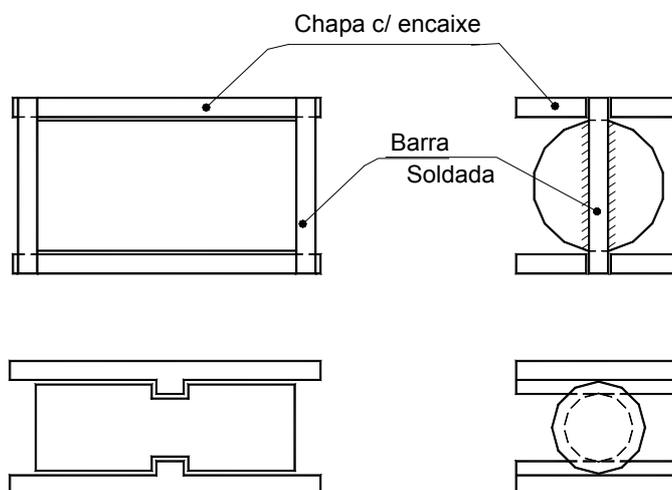
Os aparelhos de apoio de deslizamento devem ter, obrigatoriamente, batentes de limitação de percurso.



13.2.2.2 APARELHOS DE APOIO DE ROLAMENTO

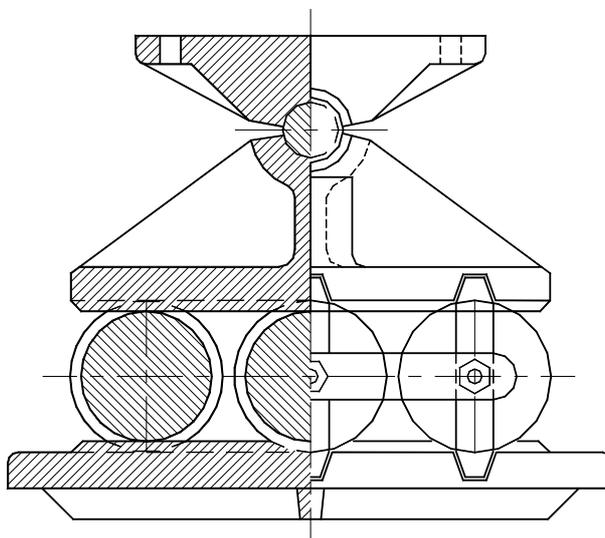
a) Aparelhos de Rolo Único

São os mais simples, visto que um rolo isolado pode absorver, simultaneamente, movimentos de rotação e translação; geralmente usados para pequenas cargas.



b) Aparelhos de Rolos Múltiplos

Quando um rolo único não é suficiente para suportar a reação vertical, utilizam-se rolos múltiplos; como a rotação da superestrutura fica impedida, haverá necessidade de ser introduzida uma rótula, o que complica e onera a usinagem do aparelho de apoio.

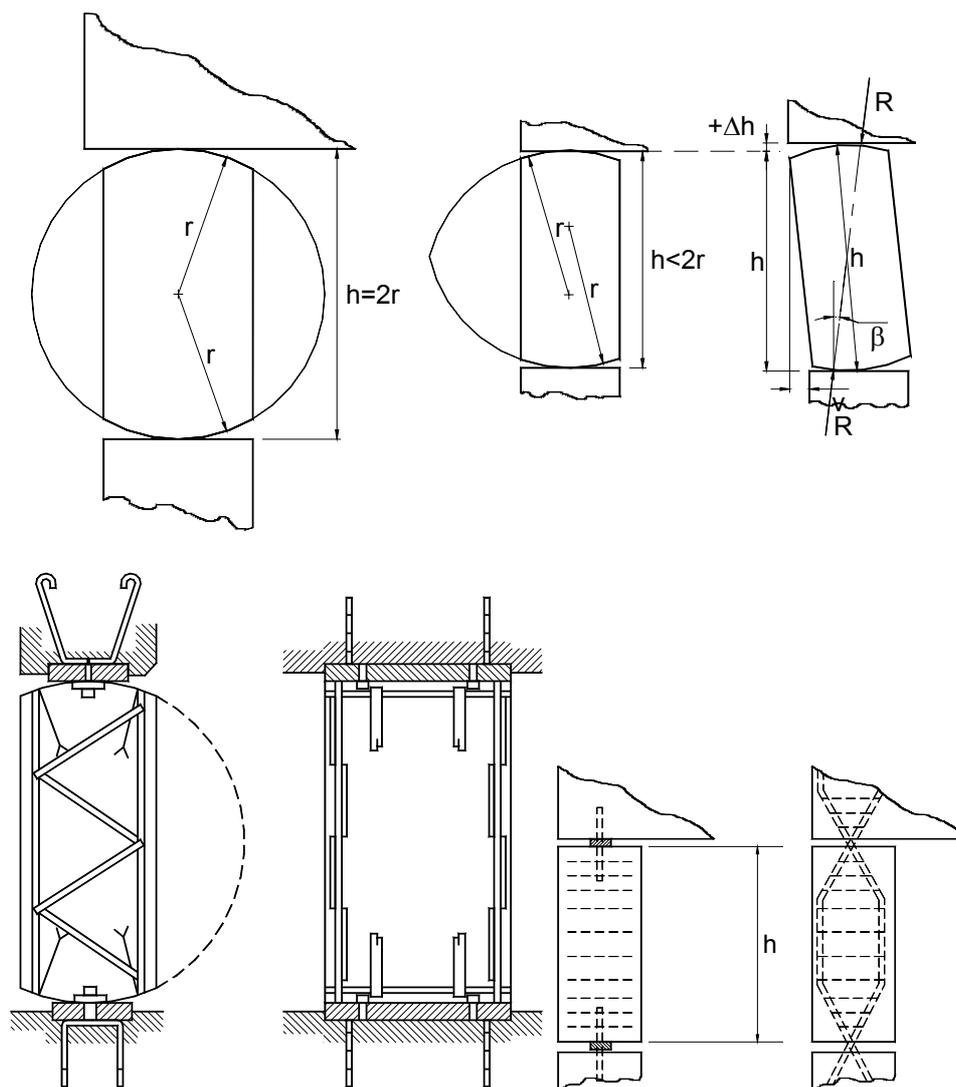


13.2.2.3 APARELHOS DE APOIO PENDULARES

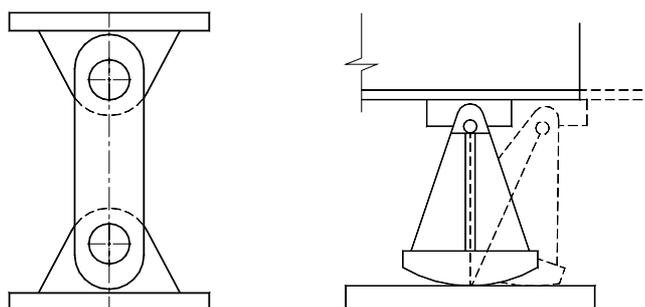
a) Apoios Pendulares de Concreto

São peças prismáticas de concreto, duplamente articuladas, na base e no topo, no sentido longitudinal; praticamente, são dois blocos de apoio opostos pelas bases.

As articulações são as já citadas nas articulações fixas: de contacto, placas de chumbo, blindadas, Tipo Mesnager e Tipo Freyssinet; os pêndulos de concreto têm certas limitações geométricas e também físicas, no que refere a deslocamentos admissíveis.



b) Apoios Pendulares de Aço



13.2.2.4 APARELHOS DE APOIO ELASTOMÉRICOS

Os aparelhos de apoio elastoméricos são o tipo mais simples de aparelhos de apoio; consistem, basicamente, em blocos retangulares ou circulares compostos de camadas de material elastomérico, o neoprene, separadas por chapas de aço de pequena espessura. Quando reforçadas por chapas de aço os aparelhos de apoio elastoméricos são conhecidos por *aparelhos de neoprene fretado* ou, conforme designação da ABNT, *aparelhos de apoio de elastômero fretado*.

O neoprene é um elastômero sintético, com propriedades elásticas semelhantes às da borracha natural, mas com algumas outras características, entre as quais pode ser citada uma elevada resistência ao envelhecimento.

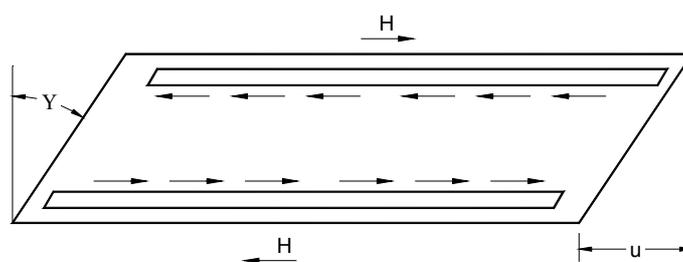
A integração do elastômero com o aço, através da vulcanização entre camadas, não prejudica os deslocamentos horizontais do elastômero em qualquer direção, permite pequenas rotações, também em qualquer direção, e reduz significativamente as deformações verticais, nas cargas de compressão.

Externamente, todo o bloco é envolvido por uma camada fina de neoprene, também vulcanizada, para proteção e aumento da durabilidade; esta película protetora não permite que sejam identificadas as camadas internas de neoprene e de aço.

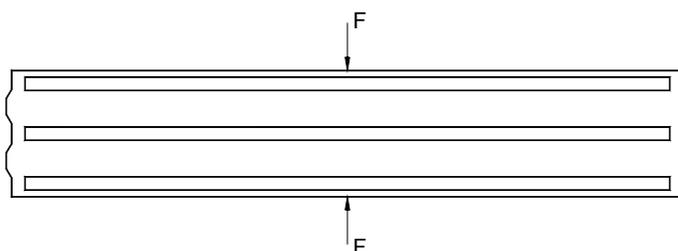
Há Normas recentes, a NBR 9783 e a Euronorma EN 1337, que possibilitam tornar os aparelhos de apoio elastoméricos mais confiáveis e mais duráveis.

Nas Figuras seguintes são representados os comportamentos dos aparelhos de elastômero fretado para diversos tipos de solicitações.

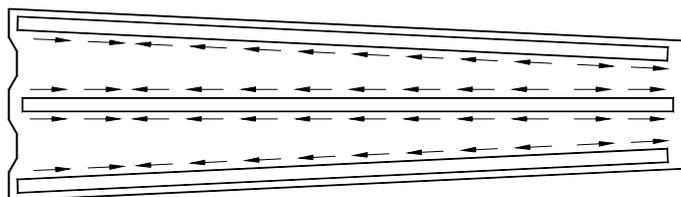
Comportamento ao Cisalhamento



Comportamento à Compressão



Comportamento à Rotação

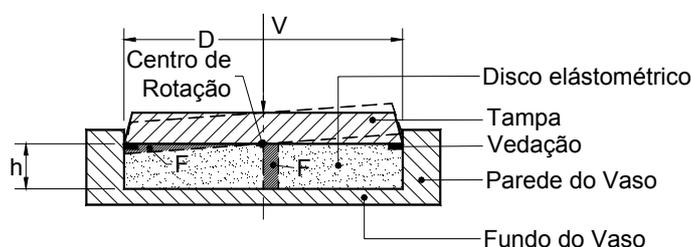


13.2.2.5 APARELHOS DE APOIO DE NEOPRENE CONTIDO (NEOTOPFLAGER OU POT BEARINGS)

Desenvolvidos a partir de 1950, estes aparelhos de apoio combinam as duas propriedades desejáveis em aparelhos de apoio: capacidade de rotação com pequena resistência e transmissão da reação de apoio em uma área bem definida.

Basicamente, o aparelho de apoio consiste em um vaso de aço contendo um disco elastomérico e uma tampa ou êmbolo na parte superior do vaso; quando sujeito a altas forças de compressão, o elastômero, que não é fretado, tem um comportamento similar ao de um líquido. A estanqueidade entre o disco elastomérico e a tampa é de grande importância, para não permitir o escapamento do elastômero, que seria semelhante ao escapamento de um líquido viscoso.

O tipo padrão do Aparelho de Apoio de Neoprene Contido permite somente a rotação; as forças verticais são transmitidas ao disco elastomérico enquanto que as forças horizontais são transmitidas da tampa diretamente ao vaso.



Com dispositivos adequados, os aparelhos de apoio de neoprene contido podem ter alguns ou todos os deslocamentos horizontais impedidos.

No Brasil há, pelo menos, dois fornecedores destes aparelhos: a Usimec e a Vasoflon; a Usimec, que tem três tipos disponíveis, o Neoprene Contido Fixo, o Neoprene Contido Móvel em Uma Direção e o Neoprene Contido Móvel, apresenta as seguintes características como vantagens dos aparelhos de neoprene contido

- Absorve pequenos recalques diferenciais de fundação, redistribuindo uniformemente as tensões no topo do pilar.
- Permite grandes deslocamentos horizontais e grandes rotações.
- Alcança até 5.000 tf de capacidade de carga.
- Possui altura muito pequena e peso próprio muito baixo, facilitando a sua utilização.

13.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO DE APARELHOS DE APOIO

13.3.1 PROCEDIMENTOS GERAIS

Os aparelhos de apoio, em virtude de sua localização, são elementos estruturais difíceis de serem inspecionados; entretanto, pela sua importância, o seu comportamento deve ser acompanhado por Inspetores ou por técnicos sob sua direta supervisão, observando-se os seguintes procedimentos gerais:

- a) Verificação da capacidade do aparelho de apoio de movimentar-se livremente para variações de temperatura da superestrutura.
- b) Verificação da posição do aparelho de apoio e da posição relativa de seus elementos componentes.
- c) Verificação da possibilidade de movimentação indesejada do aparelho de apoio.
- d) Verificação da eventual existência de fraturas, fissuras ou deformações nos elementos do aparelho de apoio.
- e) Verificação da eventual existência de fissuras nos berços de apoio dos aparelhos bem como na infra e superestruturas.
- f) Verificação das ancoragens dos aparelhos de apoio.
- g) Verificação da proteção anti-corrosiva.
- h) Verificação da estanqueidade das juntas da superestrutura sobre aparelhos de apoio, quando for o caso.

13.3.2 INSPEÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO METÁLICOS

13.3.2.1 GENERALIDADES

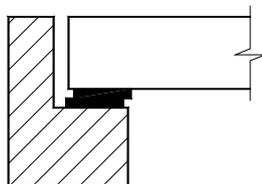
As anomalias que afetam as estruturas de aço são as mesmas que afetam os aparelhos de apoio metálicos e, muitas delas, independentes do tipo de aparelho.

As partes componentes dos aparelhos de apoio devem estar corretamente alinhadas, isentas de detritos, e em completo e mútuo contacto; caso o contacto seja incompleto, poderão surgir danos aos componentes dos aparelhos, à superestrutura ou à infra-estrutura.

Os aparelhos de apoio devem estar firmemente fixados, sem folgas; na eventualidade da existência de folgas, estas serão denunciadas por ruídos quando da passagem dos veículos mais pesados.

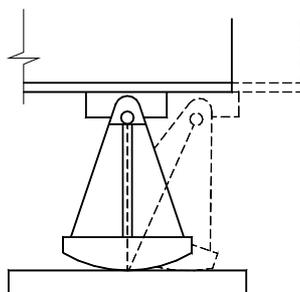
13.3.2.2 APARELHOS DE APOIO DE DESLIZAMENTO

As duas placas de deslizamento, quando da construção da ponte, são posicionadas com eixo comum, para uma determinada temperatura, em geral 25° C; qualquer movimento do aparelho de apoio é facilmente mensurável, sendo obrigatória a anotação da temperatura ambiente por ocasião da inspeção.



13.3.2.3 APARELHOS DE APOIO PENDULARES

Além das anomalias comuns às estruturas de aço, é importante a verificação do alinhamento e da centralização do aparelho de apoio, conforme ilustrado na figura abaixo.



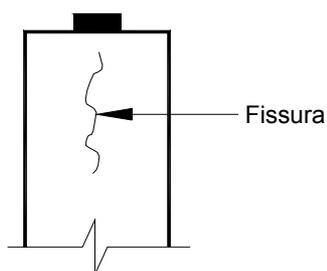
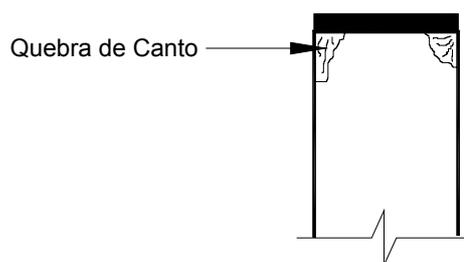
13.3.2.4 APARELHOS DE APOIO DE ROLO

A dimensão da movimentação do rolo pode ser obtida medindo-se a distância do centro do rolo ou dos rolos ao centro das placas de apoio; é obrigatória a anotação da temperatura ambiente por ocasião da inspeção.

13.3.3 INSPEÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO DE CONCRETO

13.3.3.1 ARTICULAÇÕES FREYSSINET E ARTICULAÇÕES MESNAGER

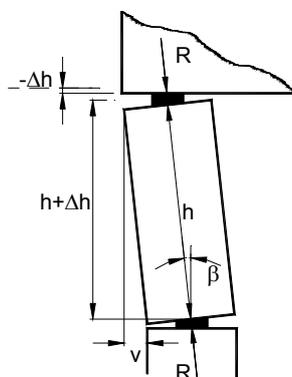
São articulações fixas de concreto e a inspeção deve concentrar-se na verificação de eventuais trincas ou fissuras existentes, em cima e em baixo da seção reduzida, e nas quebras de cantos do concreto; no primeiro caso, as fissuras podem denunciar uma fretagem inadequada e, no segundo, a inobservância de distâncias mínimas, em torno de 10cm, entre os limites da articulação e as faces do concreto.

Seção Longitudinal**Seção Transversal****13.3.3.2 ARTICULAÇÕES DE CONTACTO DE SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS**

Nestas articulações, que admitem um certo deslocamento em virtude da deformação de parte das superfícies cilíndricas em contacto, tornadas planas pela compressão que sofrem, compressões excessivas provocam esmagamento de concreto e armaduras de fretagem insuficientes permitem o aparecimento de trincas.

13.3.3.3 ARTICULAÇÕES PENDULARES

Nestas articulações, além das verificações já indicadas para as Articulações Freyssinet, é de grande importância a medição das inclinações dos pêndulos, para temperaturas extremas; a componente horizontal da reação de apoio, em um pêndulo inclinado, pode ser calculada conforme indicado na figura abaixo.

**13.3.4 INSPEÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO ELASTOMÉRICOS**

Além de eventuais danos físicos, desgastes e rupturas, porventura existentes nos aparelhos de apoio, devem ser verificados e, na medida do possível, avaliados seus respectivos Comportamentos à Compressão, à Rotação e ao Cisalhamento.

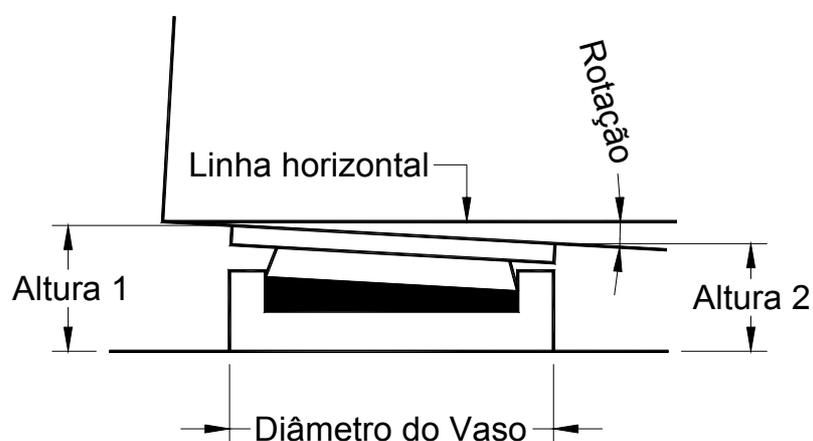
13.3.5 INSPEÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO DE NEOPRENE CONTIDO

13.3.5.1 MOVIMENTOS HORIZONTAIS

Na direção longitudinal ou na direção transversal, os deslocamentos serão iguais à metade das diferenças entre as distâncias das faces anterior e posterior das placas superior e inferior respectivamente.

13.3.5.2 ROTAÇÃO

As rotações deste tipo de aparelho de apoio somente devem ser medidas quando forem suspeitadas excessivas; a figura seguinte ilustra uma forma de medir o ângulo de rotação.



13.3.5.3 ANOMALIAS

Verificar a integridade da fixação do aparelho de apoio. Verificar eventual existência de fissuras nas soldas. Verificar existência de eventuais vazamentos do neoprene contido.



PONTE SOBRE O RIO PRETO-NORTE, BR-101/ES, 40,00 X 8,90m

14 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DAS INFRA-ESTRUTURAS



PONTE SOBRE O RIO ITAMBACURÍ III, BR-116/MG, 17,00 X 8,30m

14 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DAS INFRA-ESTRUTURAS

14.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Nas Infra-estruturas serão analisados todos os elementos estruturais comprometidos na sustentação da superestrutura; não será efetuada a separação, às vezes tênue e às vezes inexistente, em mesoestrutura e infra-estrutura.

Basicamente há três tipos de unidades estruturais nas infra-estruturas:

- a) Encontros
- b) Apoios Intermediários
- c) Fundações

Neste Capítulo, além de descrições sucintas dos tipos mais comuns de cada uma das unidades estruturais, serão recomendados os procedimentos nas inspeções dos elementos que compõem cada uma destas unidades.

14.2 ENCONTROS

14.2.1 PRINCIPAIS TIPOS

- a) Encontros em Aterros Estabilizados
- b) Encontros Vazados
- c) Encontros de Contenção, Sem Estrado
- d) Encontros Fechados, Com Estrado Completo

14.2.2 ENCONTROS EM ATERROS ESTABILIZADOS

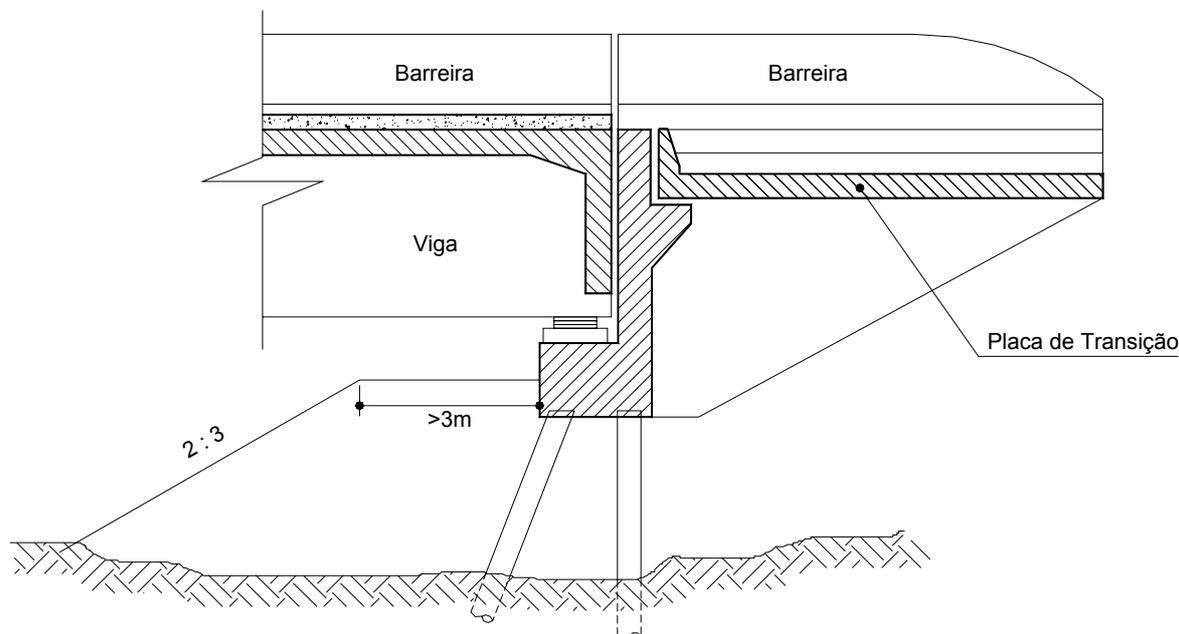
Considera-se aterro estabilizado, para este tipo de encontro, o aterro executado com solo selecionado e com todos os cuidados de compactação, antes da construção do encontro.

O encontro compõe-se de um bloco corrido de concreto armado, de comprimento maior que a largura do estrado da ponte e com um recorte para abrigar sua superestrutura; lateralmente, duas alas de concreto armado têm a função de conter um aterro residual. Convém observar que o aterro compactado será integralmente executado e posteriormente recortado para encaixar a ponte e o próprio encontro.

O apoio da ponte no encontro se faz através de almofadas de concreto e aparelhos de apoio; o bloco corrido, através de estacas, ou de tubulões, estará apoiado em terreno natural, situado abaixo da configuração final da travessia.

A estabilidade da obra, ou de seus vãos extremos, é totalmente dependente da estabilidade do aterro, motivo pelo qual sua integridade deverá ser constantemente verificada.

Corte Longitudinal



NOTA: Não estão representadas as juntas.

14.2.3 ENCONTROS VAZADOS

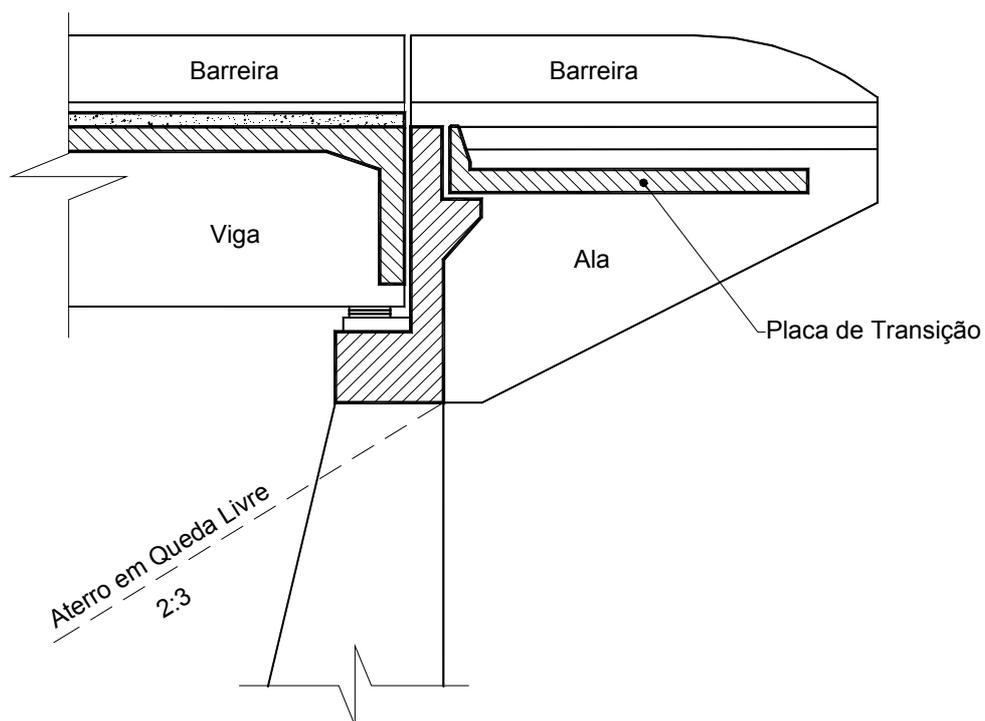
Os encontros vazados são, na realidade, apoios extremos com estabilidade própria: têm capacidade de absorver as reações da ponte, solicitações normais e horizontais, bem como as solicitações dos empuxos de terra e da sobrecarga.

O encontro compõe-se de uma viga-travessa, alas laterais, pilares e fundações. A viga-travessa é uma viga larga, com recorte para abrigar a superestrutura da ponte e de comprimento um pouco maior que a largura do estrado; através de almofadas de concreto e de aparelhos de apoio, suporta o vão extremo da ponte e, complementada por duas alas laterais, de concreto armado, contém o aterro de acesso.

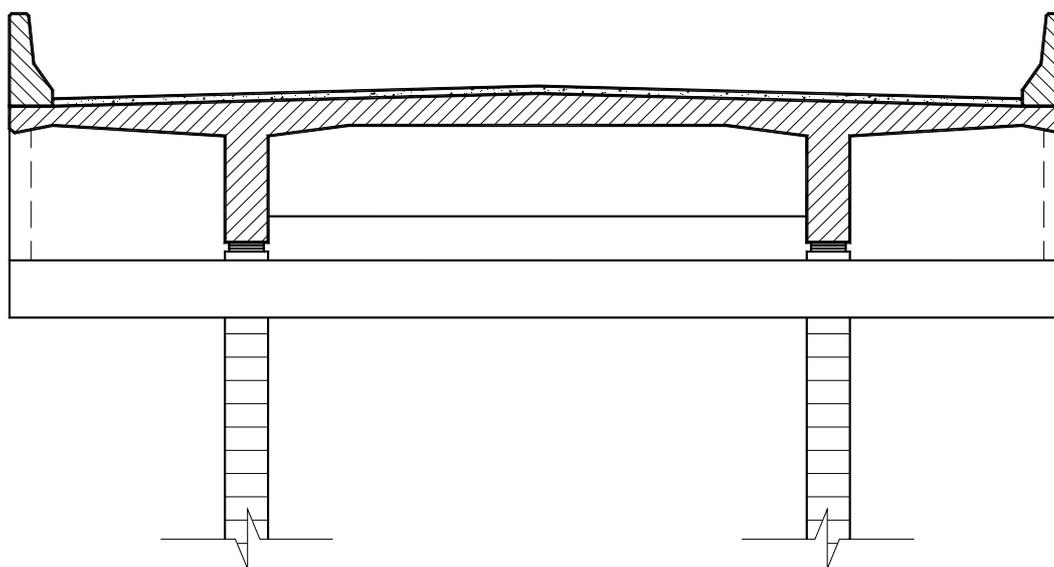
Não dispendo de parede frontal, o encontro permite que a saia do aterro caia livremente na altura entre terreno natural e fundo da viga-travessa.

A viga-travessa está apoiada em pilares e estes em fundações, diretas ou em blocos sobre estacas ou tubulões.

Corte Longitudinal



Corte Transversal, na Ponte



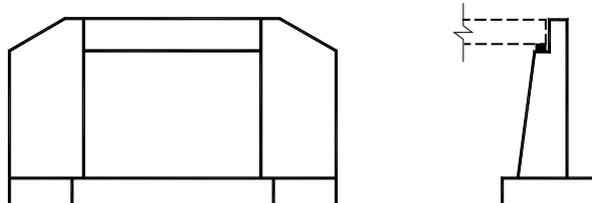
14.2.4 ENCONTROS DE CONTENÇÃO, SEM ESTRADO

Basicamente, os encontros de contenção, sem estrado, são os encontros vazados e com paredes frontais para impedir a queda livre dos aterros de acesso.

Dependendo da altura de aterro a arrimar, diversos são os sistemas estruturais que podem ser adotados: muros de gravidade ou paredes de concreto armado, apoiadas em pilares ou em contrafortes; todos os tipos serão complementados por alas laterais.

As fundações dos muros de gravidade, também conhecidos como muros de peso, são fundações diretas e corridas; as fundações dos pilares e dos contrafortes podem ser diretas, em blocos ou sapatas de concreto armado, ou profundas, em blocos de concreto armado apoiados em estacas ou tubulões.

Vista Frontal **Corte Longitudinal**

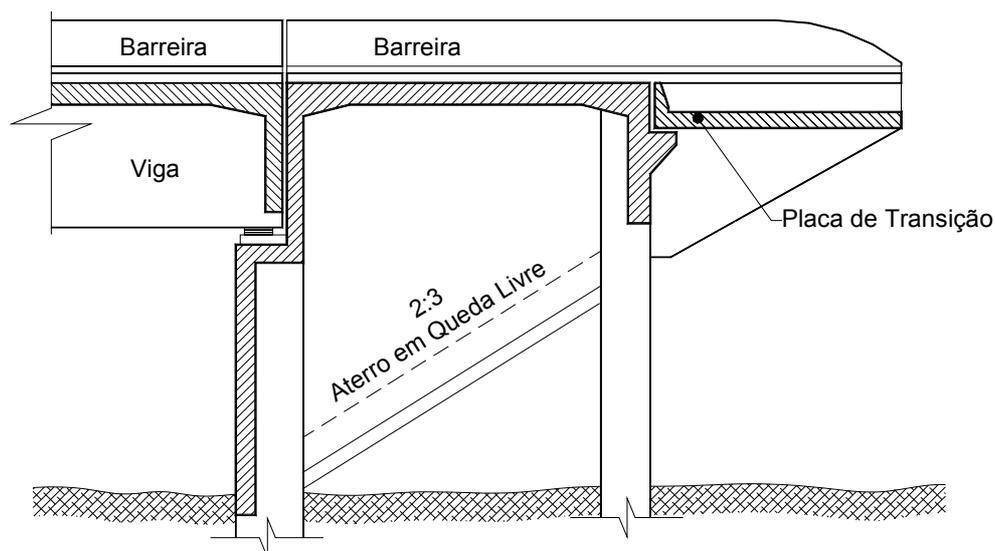


14.2.5 ENCONTROS FECHADOS, COM ESTRADO COMPLETO

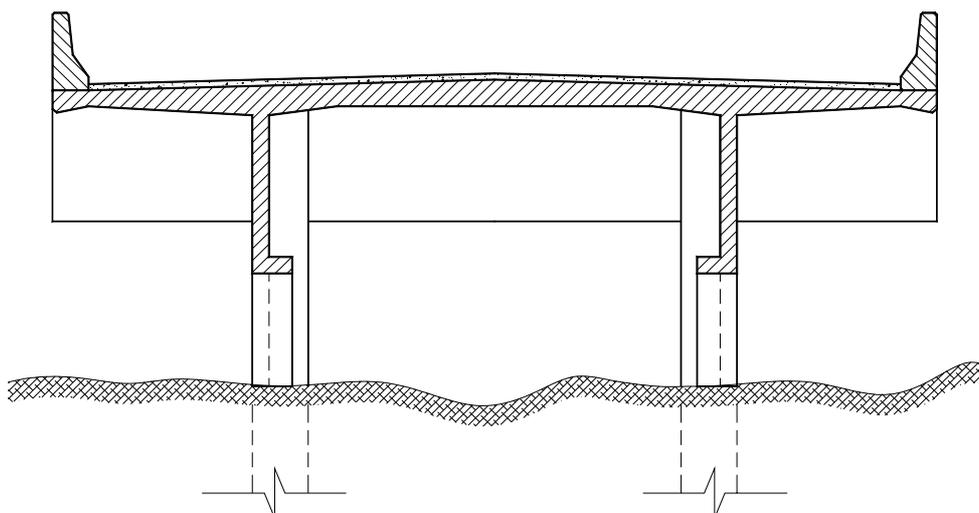
São estruturas fechadas, com parede frontal, paredes laterais, cortina e alas; quatro pilares, no mínimo, apoiados em fundações diretas, ou em blocos sobre estacas ou em tubulões, transferem as cargas ao terreno.

Dependendo da relação comprimento/altura do encontro, o aterro de acesso, caindo livremente a partir do fundo da cortina e não atingindo a parede frontal do encontro, não provoca grandes solicitações horizontais.

Corte Longitudinal



Corte Transversal



14.2.6 PROCEDIMENTOS DA INSPEÇÃO

Na inspeção dos encontros deve ser investigada a existência das patologias mais comuns nestes elementos estruturais; as anomalias principais e os procedimentos da inspeção são:

14.2.6.1 MOVIMENTAÇÃO VERTICAL

A movimentação vertical consiste no recalque de parte ou de todas as fundações do encontro; um pequeno recalque uniforme das fundações, se absorvido pelo vão extremo da ponte, pouco ou nenhum efeito causará no seu funcionamento; entretanto, um recalque diferencial do ou dos apoios do encontro, dependendo do sistema estrutural da ponte e do comprimento do seu vão extremo, poderá causar sérios problemas no funcionamento e no comportamento da ponte.

As causas mais comuns dos recalques dos apoios, da ponte e/ou do encontro, são as patologias nos aparelhos de apoio, os assentamentos dos solos de fundação, as erosões e a deterioração dos materiais do próprio encontro.

Os procedimentos de inspeção devem abranger, no mínimo, as seguintes atividades:

- a) verificação das aberturas da junta entre a ponte e o encontro e da junta entre o encontro e a laje de transição: aberturas não uniformes, ou maiores que as indicadas no projeto, denunciam movimentação do encontro;
- b) verificação do comportamento de eventuais trincas existentes e do aparecimento de novas trincas;
- c) verificação visual do nivelamento da ponte e do encontro;
- d) verificação de sinais de erosão;
- e) verificação das juntas das alas com o encontro.

14.2.6.2 MOVIMENTAÇÃO LATERAL

As estruturas de arrimo de terra são suscetíveis de movimentação horizontal; esta acontece sempre que as solicitações verticais atuantes são insuficientes para, através de seus componentes horizontais, anular ou superar as forças horizontais provenientes dos empuxos de terra e da sobrecarga e das reações do estrado.

As causas mais comuns da movimentação do encontro são: ruptura ou consolidação do solo e infiltrações.

Os procedimentos da inspeção são os mesmos já citados na movimentação vertical, com o acréscimo da necessidade da verificação dos alinhamentos horizontais, da ponte e do encontro.

14.2.6.3 MOVIMENTAÇÃO ROTACIONAL

O movimento rotacional resulta, geralmente, de assentamentos ou recalques assimétricos ou de movimentos laterais; as principais causas dos movimentos rotacionais são: o descalçamento das fundações, a saturação dos aterros de acesso, causada por drenagem inadequada, a erosão e o dimensionamento deficiente da estrutura de contenção.

Os procedimentos da inspeção devem incluir, no mínimo:

- a) a verificação, com fios de prumo, dos alinhamentos verticais das paredes do encontro;
- b) a verificação das aberturas das juntas de dilatação entre ponte e encontros;
- c) a verificação do funcionamento da drenagem;
- d) a verificação do comportamento de eventuais trincas existentes e do aparecimento de novas trincas.

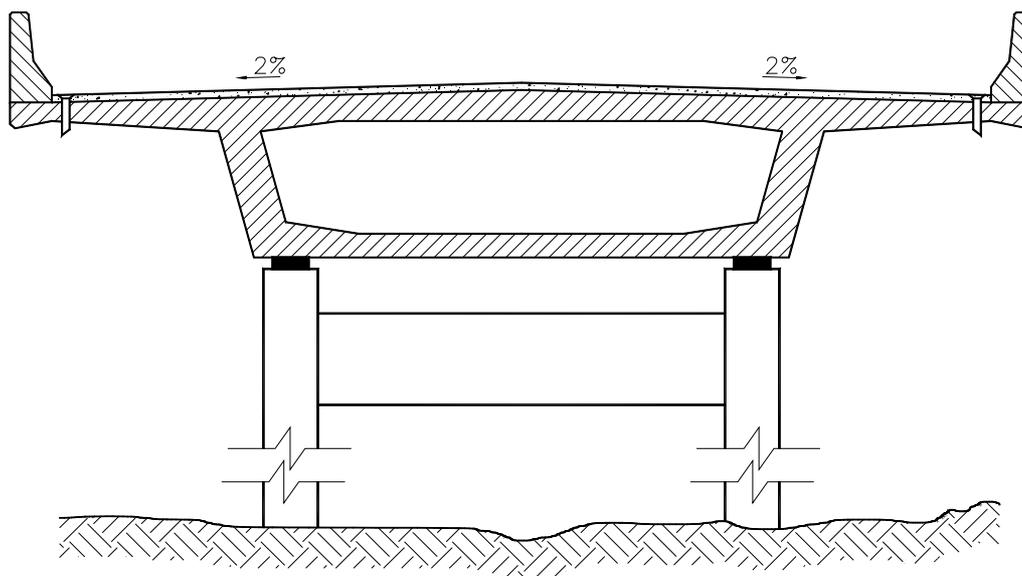
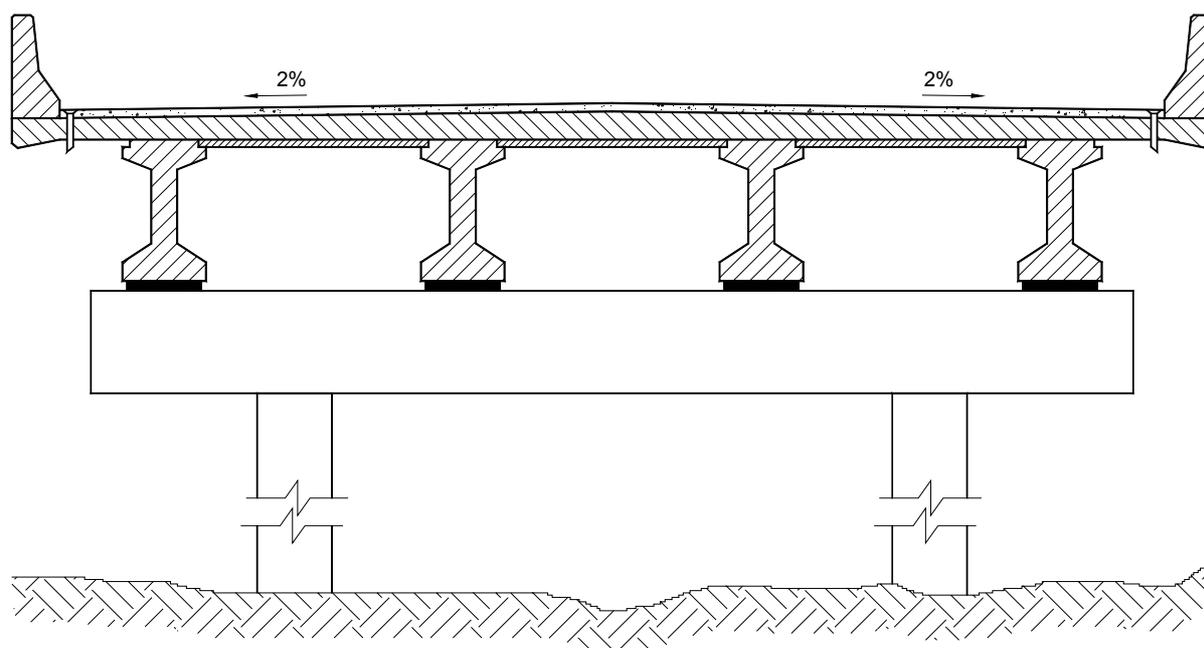
14.2.6.4 FALÊNCIA DOS MATERIAIS

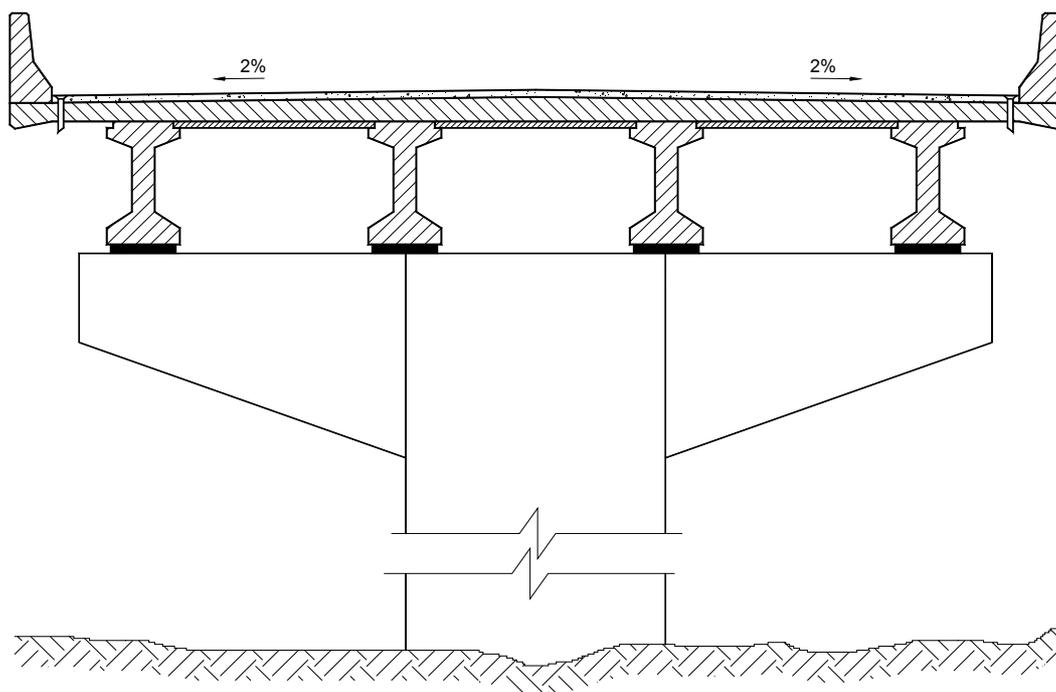
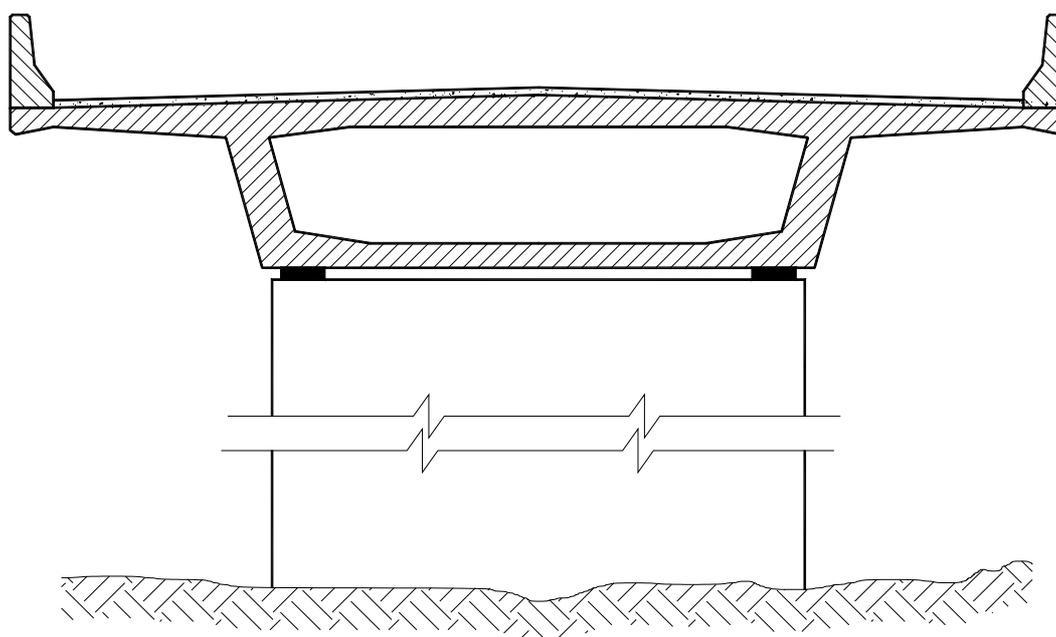
Na inspeção dos encontros deverão ser pesquisadas possíveis patologias existentes nos materiais, concreto ou aço; estas patologias já foram estudadas no Capítulo 8, Propriedades e Deterioração dos Materiais.

14.3 APOIOS INTERMEDIÁRIOS

Os apoios intermediários são estruturas localizadas entre os apoios extremos da ponte e, projetadas para, com um mínimo de interferência com o tráfego de veículos ou com a navegação, tornar mais econômica a superestrutura.

Os sistemas estruturais mais comuns, todos projetados com a mesma finalidade, são:

14.3.1 PILARES ISOLADOS OU APENAS CONTRAVENTADOS**14.3.2 PILARES ISOLADOS COM VIGA-TRAVESSA**

14.3.3 PILAR ÚNICO COM VIGA-TRAVE.**14.3.4 PILAR PAREDE, MACIÇO OU CELULAR**

14.3.5 AS PATOLOGIAS MAIS COMUNS QUE PODEM OCORRER E DEVEM SER OBSERVADAS E REGISTRADAS SÃO:

- a) Movimentação Vertical
- b) Movimentação Horizontal
- c) Movimentação Rotacional
- d) Erosão
- e) Falência dos Materiais

As causas destas patologias e os procedimentos de inspeção são semelhantes às causas e procedimentos já descritos no Item dos Encontros.

14.4 FUNDAÇÕES

As fundações, superficiais ou profundas, estão, em geral, completamente enterradas, o que dificulta, ou mesmo impossibilita, uma inspeção confiável; quase sempre, analisa-se o comportamento das fundações de forma indireta, ou seja, pelo comportamento das estruturas que elas suportam.

De uma maneira geral, as fundações podem ser classificadas em:

14.4.1 FUNDAÇÕES DIRETAS

As fundações diretas, apesar de algumas vezes serem denominadas de fundações superficiais, têm sua profundidade mínima regulada pelo Item 6.4.2 da NBR 6122/1996, Projeto e Execução de Fundações, transcrito a seguir:

"A base de uma fundação deve ser assente a uma profundidade tal que garanta que o solo de apoio não seja influenciado pelos agentes atmosféricos e fluxos d'água. Nas divisas com terrenos vizinhos, salvo quando a fundação for assente sobre rocha, tal profundidade não deve ser inferior a 1,5m".

A profundidade mínima de 1,5m é válida, também, para muros de arrimo e encontros de gravidade; estando as fundações enterradas, os procedimentos da inspeção ficarão limitados a observações de possíveis descalçamentos, solapamentos e recalques.

14.4.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Basicamente, as fundações profundas são em estacas ou tubulões, que podem se apresentar em várias modalidades, com características bem diferenciadas; os principais tipos utilizados em pontes são:

a) Estacas Cravadas

Estacas de madeira; estacas de aço; estacas pré-moldadas de concreto armado.

b) Estacas Moldadas in Loco

Estacas tipo Franki; estacas escavadas com uso de lama bentonítica; estacas escavadas, com injeção; microestacas e estacas tipo raiz; estacas mistas.

c) Tubulões

Tubulões não revestidos; tubulões revestidos com camisa de concreto; tubulões revestidos com camisa de aço.

Os procedimentos da inspeção, ressalvados os itens que constam de outros Capítulos pertinentes, e especialmente do Capítulo 17, Inspeções Submersas, ficarão restritos à observação das partes aparentes das fundações. Devem ser observados, principalmente, os comprimentos livres das estacas, as patologias referentes à falência dos materiais, o estado das fundações na zona de flutuação do nível d'água e as ligações das estacas com os blocos.



CATARATAS DO RIO IGUAÇU, FOZ DO IGUAÇU, PARANÁ

15 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA



RIO IGUAÇU, PARANÁ

15 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

15.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os cursos d'água são acidentes da natureza, dinâmicos e ativos que, alterando seus níveis, volumes e leitos, podem causar inundações e sérias modificações topográficas, devendo ser avaliados e monitorados em toda sua vida útil; toda estrutura que atravessa um curso d'água é influenciada, no projeto, na inspeção e na manutenção pelo seu comportamento.

Durante as grandes cheias, importantes alterações podem ocorrer em curto período de tempo e ameaçar a estabilidade e a segurança das estruturas; ainda que estas tenham sido bem projetadas, no modelo inicial de cálculo, para resistir a todas as forças da correnteza, mudanças no eixo do canal principal, erosões e assoreamentos podem provocar o colapso parcial ou total da obra.

15.2 TIPOS DE CURSOS D'ÁGUA

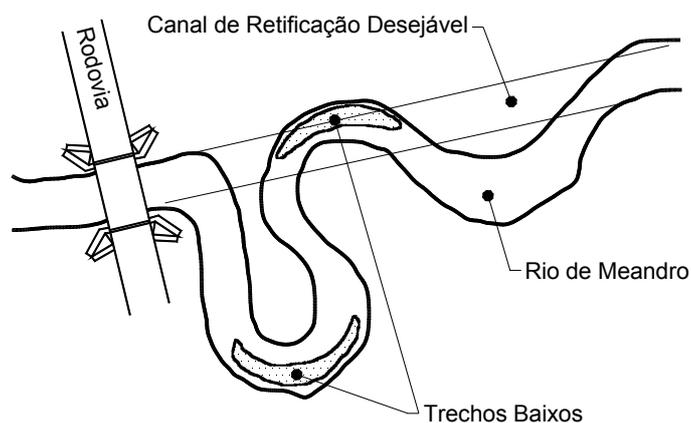
15.2.1 CLASSIFICAÇÃO

O comportamento de um curso d'água é, de certa forma, previsível, quando se conhece o seu regime bem como o tipo e o perfil de seu canal; basicamente, os rios podem ser classificados em quatro categorias:

- a) Rios de Meandros
- b) Rios de Múltiplos Canais, Trançados
- c) Rios Retilíneos
- d) Rios de Regiões Montanhosas

15.2.2 RIOS DE MEANDROS

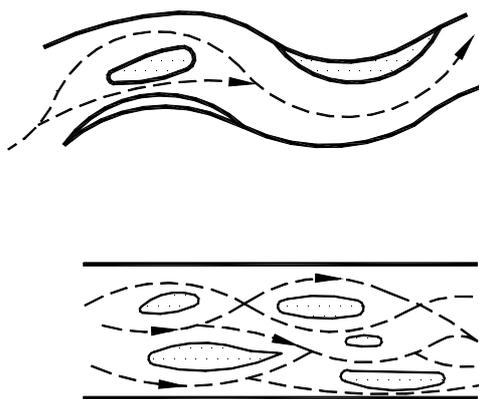
Rios de planície de curso tortuoso, intercalando trechos de grande curvatura, meandros, com trechos retos; em geral, nos meandros formam-se pequenos lagos cujo tamanho depende do tamanho do rio, das condições de escoamento, dos raios de curvatura e do tipo de material do fundo e das margens. São rios de baixa velocidade, de comportamento previsível e que mudam de forma lentamente, exceto nas cheias catastróficas.



15.2.3 RIOS DE MÚLTIPLOS CANAIS, TRANÇADOS

Rios de múltiplos canais que se entrelaçam; nas enchentes, o trançamento é menos visível e os obstáculos que provocam esta singularidade, podem ficar submersos. Estes rios, quando comparados com outras formas de rios apresentam as diferenças listadas a seguir.

- Têm maior declividade.
- Têm maior velocidade.
- Transportam maiores quantidades de sedimentos.
- Provocam maiores solapamentos e erosões.
- São mais difíceis de controlar.
- Podem necessitar de obras de engenharia para melhor definição.
- Exigem que as pontes que os atravessam sejam objeto de contínua manutenção.



15.2.4 RIOS RETILÍNEOS

Os rios retilíneos são, na realidade, uma exceção, resumindo-se a pequenos trechos e a uma transição entre rios de meandros e rios trançados; esta transição depende da velocidade da correnteza.

Para manter a característica retilínea do curso d'água é, muitas vezes, necessário adotar medidas de controle do canal, tais como construção de gabiões, "rip raps", espigões, etc.



15.2.5 RIOS DE REGIÕES MONTANHOSAS

Geralmente os rios de regiões montanhosas estão confinados em formações geológicas especiais e estáveis; embora nas enchentes normais não sofram modificações sensíveis, tanto em planta como em perfil, nas grandes enchentes estas modificações podem ocorrer.

15.3 ALTERAÇÕES NOS CURSOS D'ÁGUA: INSTABILIDADE E COLAPSOS DE PONTES

Algumas alterações nos cursos d'água, provocadas pelo homem ou pela natureza, suas causas e as providências para minimizar suas conseqüências danosas para estabilidade das pontes são citadas a seguir.

15.3.1 EROSÃO DAS MARGENS

A ocorrência de erosão nas margens é facilmente identificável pelo tipo de solo das margens: fraco, carreável, sem vegetação e com barrancos íngremes; quando este tipo de erosão não se estabiliza, poderá haver necessidade de algum tipo de proteção das margens.

A estabilização das margens é mais freqüentemente efetuada com a utilização de gabiões e "rip raps" que podem ser colocados junto à ponte ou a montante ou, ainda, à jusante da ponte.

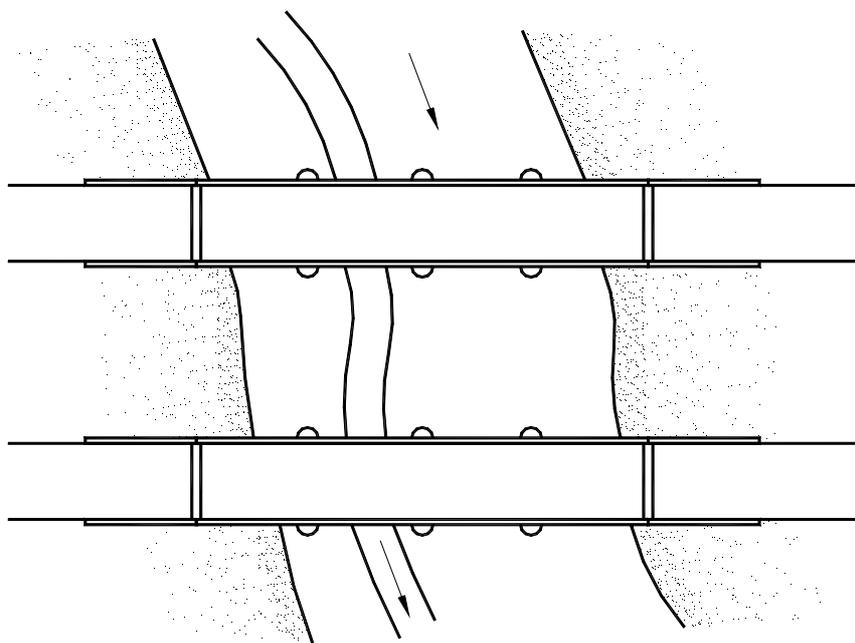
De grande importância é a estabilização das saias dos aterros de acesso, que também pode ser realizada com a adequada utilização de gabiões e "rip raps".

15.3.2 DESALINHAMENTO DO CANAL

Em geral, as pontes são projetadas para que os eixos de seus pilares coincidam com os eixos dos rios, aproximadamente, com os eixos dos rios; as esconsidades dos cursos d'água são acompanhadas por iguais esconsidades dos encontros e dos pilares intermediários, ou por comprimentos adicionais das pontes e formas adequadas dos pilares.

Se o canal principal do rio muda de posição, aproximando-se de um dos encontros, ou altera substancialmente sua esconsidade, pode haver redução da seção de vazão ou modificação e aumento da erosão, o que pode colocar em perigo pilares e encontros.

Identificada a ocorrência e avaliada sua gravidade, o tratamento é semelhante ao recomendado para erosões do fundo.



15.3.3 SEÇÃO DE VAZÃO

Tendo em vista que, no projeto, há sempre uma tendência, por motivos econômicos, de causar um certo estrangulamento na caixa do rio, torna-se necessário verificar, periodicamente, se a seção de vazão disponível é adequada, inclusive nas grandes enchentes; uma seção de vazão insuficiente pode, através de fortes erosões, provocar solapamentos das fundações dos pilares e dos encontros.

A seção de vazão pode, também, tornar-se insuficiente pelo assoreamento da caixa do rio; um bom processo de verificar e controlar o assoreamento é através de uma batimetria rudimentar, medindo-se, regularmente, a profundidade da seção transversal em pontos distanciados de cinco a dez metros, dependendo do comprimento da ponte.

É necessário manter-se um registro atualizado, não só do regime do rio, mas também de suas características mutáveis; algumas fotografias com detalhes de matérias e vegetação flutuante carregadas ilustrariam bastante este registro.

15.3.4 EROSIÃO DO FUNDO

A erosão do fundo do rio, no que se refere à segurança das pontes, manifesta-se sob três aspectos:

a) Erosão generalizada

Há um rebaixamento do leito do rio em longo trecho: a jusante, a montante e sob a ponte.

b) Erosão de contração

O rebaixamento do leito do rio somente se verifica sob a ponte, entre encontros.

c) Erosão localizada

A erosão se limita ao material adjacente aos pilares e aos encontros.

15.4 SOLAPAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O solapamento de elementos estruturais, fundações principalmente, é a consequência mais grave da erosão, generalizada ou localizada; tendo em vista que o solapamento de fundações coloca em risco a estabilidade da obra, é necessário um permanente controle, quando existe a possibilidade desta ocorrência.

O solapamento de fundações pode ser de difícil verificação, em virtude da possibilidade de reposição de sedimentos, em períodos de baixas velocidades da correnteza, depois de já instalado o solapamento.

Em pontes de pequena extensão e em rios pouco profundos, a verificação não é difícil mas, em pontes extensas e águas profundas, pode ser necessário utilizar mergulhadores e câmeras fotográficas especiais.

15.5 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

A inspeção dos cursos d'água deve incluir os procedimentos gerais listados a seguir.

- a) Registro do regime do rio: níveis máximos e mínimos, períodos em que ocorrem e velocidades da correnteza.
- b) Registro da direção e da distribuição da correnteza: entre pilares e entre pilares e encontros.
- c) Exame da estabilidade das margens do rio e de obras de proteção existentes.
- d) Exame e verificação da seção de vazão.
- e) Exame dos pilares e encontros para verificação de evidências de erosão ou de degradação de materiais.
- f) Investigação da configuração do leito do rio nas proximidades dos pilares e encontros.
- g) Mapeamento detalhado e cotado do leito do rio, para comparação com mapeamentos semelhantes e futuros.
- h) Utilização de uma haste em forma de "L" para verificar possível solapamento de fundações expostas dos encontros e dos pilares.
- i) Utilização de hastes retas de alumínio ou de aço para detectar possíveis sedimentos depositados ao longo dos encontros e junto às sapatas.

- j) Verificação de depósitos de sedimentos a montante e a jusante da ponte.
- k) Indicação da urgência na retirada de assoreamentos e materiais flutuantes retidos.
- l) Comunicação de atividades recentes nas margens e no leito do rio: tomadas d'água, retirada de areia.



EQUIPAMENTOS E TESTES LABORATORIAIS DE
ULTRA-SOM E LÍQUIDO PENETRANTE

16 - TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO



EQUIPAMENTOS E TESTES LABORATORIAIS DE
ULTRA-SOM E LÍQUIDO PENETRANTE

16 TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO

16.1 GENERALIDADES

As técnicas avançadas de inspeção, descritas neste capítulo, devem ser usadas como suplemento da inspeção visual ou de outras técnicas mais simples de inspeção.

Geralmente, as técnicas avançadas de inspeção são usadas:

- a) Para avaliar defeitos detectados durante a inspeção visual.
- b) Para inspecionar componentes e elementos que não podem ser facilmente inspecionados usando a inspeção visual ou outras técnicas mais simples.
- c) Para inspecionar componentes e elementos que apresentaram problemas no passado ou entraram em colapso em pontes de projetos similares.
- d) Para amostragem, em determinada percentagem de elementos críticos.
- e) Para uma completa avaliação de membros sujeitos à ruptura frágil.
- f) Para realizar inspeções rápidas em um grande número de estrados.
- g) Para monitorar o comportamento de uma estrutura, em serviço.

Os métodos avançados de inspeção são grupados conforme sua destinação primária, isto é, se aplicáveis em concreto ou em aço, e em duas categorias principais: não-destrutivos e destrutivos; para sua aplicação há necessidade de um operador especialmente treinado.

Os métodos não-destrutivos permitem a inspeção dos elementos sem prejudicar sua utilização; alguns métodos não-destrutivos empregam ultra-som, líquido penetrante, raios X e gamagrafia. Convém assinalar que, freqüentemente, estão surgindo novos métodos e novos equipamentos que se incluem nas técnicas avançadas de inspeção.

Os métodos destrutivos são os que, de certa maneira, afetam ou destroem a integridade estrutural do elemento que está sendo testado; os efeitos dos métodos destrutivos podem ser: leves, como na retirada de pequenas amostras com um canivete; moderados, como na retirada de amostras com brocas; totalmente destrutivos, como no corte de elementos estruturais. Os métodos destrutivos somente poderão ser utilizados com autorização especial.

Os métodos que serão apresentados neste Capítulo exigem treinamento especial para aplicação e para interpretação dos resultados dos testes e alguns deles necessitam de aparelhos eletrônicos sofisticados e caros. Na falta de outros regulamentos, devem ser usadas as especificações da ASTM, American Society for Testing and Materials e da AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials.

Este Capítulo, como também alguns outros, é inteiramente baseado no Bridge Inspector's Training Manual/90.

16.2 CONCRETO

16.2.1 TESTES NÃO-DESTRUTIVOS

a) Medições de Velocidade de Ondas de Som e de Ondas de Ultra-Som

Uma completa avaliação das lajes do estrado poderá ser obtida com medições da velocidade de propagação de ondas de som e de ondas de ultra-som; este método detecta áreas internas fissuradas e de concreto deteriorado, inclusive quantificando características de resistência, tais como valores do módulo de elasticidade.

b) Métodos Elétricos

Testes com eletrodo de sulfato de cobre podem ser usados para medir a condutividade elétrica do concreto; uma menor resistência elétrica indica uma significativa presença de cloretos e permite avaliar a atividade de corrosão das armaduras.

c) Testes Ultra-Som com Laser

Estes testes fornecem informações sobre falhas no concreto e sobre a posição das barras da armadura que não podem ser obtidas através de testes de ultra-som sem laser; as medições das ondas acústicas geradas por laser permitem avaliar a qualidade do concreto em diferentes profundidades, a partir da superfície. As respostas das barras das armaduras são mais consistentes e confiáveis quando se utiliza o ultra-som associado ao laser.

d) Testes de Avaliação de Fadiga das Armaduras

As técnicas avançadas de inspeção desenvolveram-se a ponto de ser possível avaliar os efeitos da fadiga nas barras da armadura dos elementos de concreto; o equipamento é conhecido como MFD, de "*magnetic field disturbance system*", e pode ser usado em concreto armado convencional ou protendido.

e) Detecção de Cloretos no Concreto

Uma investigação com neutrons pode ser usada para detectar cloretos em materiais de construção; os materiais são bombardeados com neutrons emitidos por uma pequena fonte portátil e a medição dos raios gama refletidos fornece um espectro mostrando diferentes elementos, um dos quais é o cloreto.

f) Testes com Pacômetro

O pacômetro é um dispositivo magnético usado na determinação da posição das armaduras. Os métodos magnéticos não detectam anomalias diretamente, defeitos ou deterioração no concreto; entretanto, eles podem detectar regiões com cobrimentos inadequados, regiões propícias à deterioração do concreto por corrosão das armaduras. Os métodos magnéticos podem ser usados para medir cobrimentos de até 8cm, com uma precisão de até 0,6cm.

g) Testes de Penetração

Testes de penetração e de “rebound” medem a dureza do concreto e podem ser usados para avaliar sua resistência. O martelo Schmidt, ou martelo suíço, é, provavelmente, o dispositivo mais usado para medir a resistência do concreto endurecido, à penetração; através de uma mola, o dispositivo atinge a superfície do concreto e, baseado na resposta, a resistência do concreto à compressão pode ser estimada. Esta técnica de inspeção pode ser usada para comparar a qualidade do concreto em diferentes partes dos elementos de uma ponte; entretanto, somente a superfície do concreto está sendo testada e o valor estimado para a resistência deve ser encarado com alguma reserva.

h) Testes de Ultra-Som

Testes com ultra-som podem fornecer informações valiosas relacionadas com as condições dos elementos da ponte; entretanto, o método pode apresentar dificuldades de utilização em elementos de concreto armado e exige experiência do profissional para que os resultados obtidos sejam confiáveis.

As fissuras maiores e os vazios podem ser detectados, visto que a trajetória do pulso caminhará ao redor de qualquer cavidade do concreto e o tempo de transmissão será majorado. A presença de armaduras paralelas ao sentido da transmissão fornece uma trajetória ao longo da qual o pulso pode caminhar mais rapidamente e falsear resultados; por este motivo, é aconselhável selecionar trajetórias que não sejam perturbadas pela presença de armaduras.

16.2.2 TESTES DESTRUTIVOS

A retirada de testemunhos do concreto é uma forma destrutiva de inspeção do concreto e pode enfraquecer o elemento; os testemunhos podem ser usados para uma série de testes destrutivos, alguns dos quais serão citados a seguir. Os testemunhos devem ser retirados de trechos de concreto sãos e devem ter um diâmetro de três vezes a dimensão do maior agregado; os vazios deixados pela retirada dos testemunhos devem ser preenchidos com argamassa especial, sem retração.

a) Carbonatação

A carbonatação do concreto é o produto da reação do óxido de cálcio do concreto com dióxido de carbono, o vapor d'água e outros gases existentes na atmosfera; esta reação causa uma redução na proteção do aço contra a corrosão. A profundidade da carbonatação em um elemento estrutural pode ser medida com a exposição de testemunhos de concreto a soluções químicas: concretos sem carbonatação mudam de cor enquanto que concretos com carbonatação permanecem com a mesma cor.

b) Resistência do Concreto

As reais condições do concreto, no que se refere à qualidade e resistência somente podem ser determinadas extraíndo um testemunho do elemento estrutural e realizando, em laboratório, alguns ou todos os ensaios seguintes: resistência à

compressão, resistência ao cisalhamento, quantidade de cimento, quantidade de vazios, módulo de elasticidade estático e módulo de elasticidade dinâmico.

c) Endoscópios

Endoscópios são tubos de inspeção que podem ser inseridos em orifícios perfurados em um elemento de concreto da ponte; a luz necessária pode ser fornecida por fibras óticas de uma fonte externa. Algumas das aplicações deste método incluem a inspeção do interior de uma seção-caixão sem acesso e a inspeção de bainhas de cabos protendidos. Embora este seja um método visual, ele é considerado um método destrutivo, porque é sempre necessária uma pequena demolição de concreto para sua adequada aplicação.

d) Medição da Umidade Interna

A quantidade de umidade interna no concreto serve como indicação de atividade de corrosão; o processo mais fácil de medição é através da retirada de testemunhos que serão colocados em fornos de laboratório, para eliminação da umidade.

e) Resistência das Armaduras

As propriedades reais do aço das armaduras somente poderão ser determinadas com a extração de amostras; é necessária muita prudência e real necessidade de verificar estas propriedades, visto que a retirada de amostras enfraquece a estrutura.

16.3 Aço

16.3.1 TESTES NÃO-DESTRUTIVOS

a) Emissões Acústicas

As emissões acústicas podem ser usadas para identificar fissuras em evolução; quando as fissuras crescem, elas emitem sons que se propagam a partir da fissura, permitindo que sensores colocados na superfície do elemento capturem estes sons. A ponte deverá estar carregada, para produzir tensões e fissuração nos elementos, quando este tipo de teste é utilizado.

b) Programas Computadorizados

Há programas de computador que foram desenvolvidos para valorizar e analisar os dados colhidos nas inspeções. Antes de uma inspeção, alimenta-se o computador com os dados do projeto e as anomalias detectadas na inspeção anterior; o computador responde com um “checklist” individualizado, assinalando as áreas críticas da estrutura. Após a inspeção, alimenta-se o computador com os novos dados coletados, e o computador responde, informando que anomalias são suscetíveis de evoluir e como repará-las; estes procedimentos permitem que as anomalias sejam detectadas precocemente e que se avalie quais as que necessitam de pronto atendimento.

c) Tomografia Computadorizada

A tomografia computadorizada utiliza raios-X e raios-gama para detectar e localizar descontinuidades de qualquer tipo, em elementos de aço e em elementos de concreto.

d) Líquido Penetrante

Os testes com líquido penetrante são usados para definir a grandeza e a extensão das descontinuidades nas superfícies dos elementos de aço. Para sua utilização, a área a ser testada deverá estar limpa e no metal nu; o líquido é aplicado, penetra na superfície, tem o excesso removido e permite identificar as descontinuidades superficiais. A restrição ao método reside no fato dele não revelar nem a profundidade das fissuras e nem defeitos não superficiais.

e) Radiografias

Testes com radiografias são usados para detectar e localizar descontinuidades, tais como fissuras, trincas e vazios, superficiais ou profundos, bem como determinar a espessura do elemento estrutural. Raios-X ou raios-gama, passando através do elemento, são absorvidos diferentemente pelas diversas descontinuidades; quando se expõe um filme aos raios, os defeitos são identificados por sombras.

f) Ultra-Som

O ultra-som tem grande aplicação em testes não-destrutivos dos elementos estruturais de aço: detectam defeitos em peças chatas e finas e em pinos; pode ser usado para medir a espessura de elementos, fornecendo informações detalhadas sobre perda de seção transversal e para inspeção de soldas, onde detecta porosidades, vazios, inclusões, corrosões, fissuras e outras descontinuidades.

16.3.2 TESTES DESTRUTIVOS

Testes que determinam a resistência do aço são, normalmente, considerados testes destrutivos visto que os testes são realizados em pedaços de aço extraídos dos elementos da ponte. Testes destrutivos podem ser necessários para determinar a resistência ou outras propriedades do aço em pontes onde o tipo de aço é desconhecido.

Os testes relacionados a seguir somente poderão ser realizados por métodos destrutivos, já que exigem a remoção de amostras que serão analisadas em laboratório.

a) Teste de Dureza Brinell

O teste Brinell mede a resistência do aço à penetração; uma bola de aço endurecido é pressionada, por equipamento adequado, contra a amostra de aço. A carga aplicada e a endentação provocada servem para calcular a dureza do aço; para aços que não tenham sido endurecidos por resfriamento, sua dureza está diretamente relacionada com sua resistência à tração, na ruptura.

b) Teste de Impacto Charpy

Este teste é um teste de impacto que determina a quantidade de energia necessária para provocar a fratura de uma amostra; esta, com uma depressão em forma de “V”, é submetida a um golpe de martelo, que cai de uma determinada altura. Como a força do golpe do martelo está concentrada na depressão, a tensão resultante provoca a fratura da amostra e não sua deformação. A energia necessária para a fratura é determinada com base na massa do martelo e na altura de sua queda; este teste pode ser realizado em diferentes temperaturas para determinar se o aço é suscetível de ruptura frágil.

c) Análise Química

A composição química do aço é uma importante indicação da possibilidade de fissuração da solda, seja por fissuras a frio ou por fissuras a quente; a composição química é determinada a partir de amostras retiradas dos elementos estruturais.

As fissuras a frio, ou retardadas, podem ser previstas com antecipação, usando a equação do carbono equivalente, que é baseada na composição química do aço.

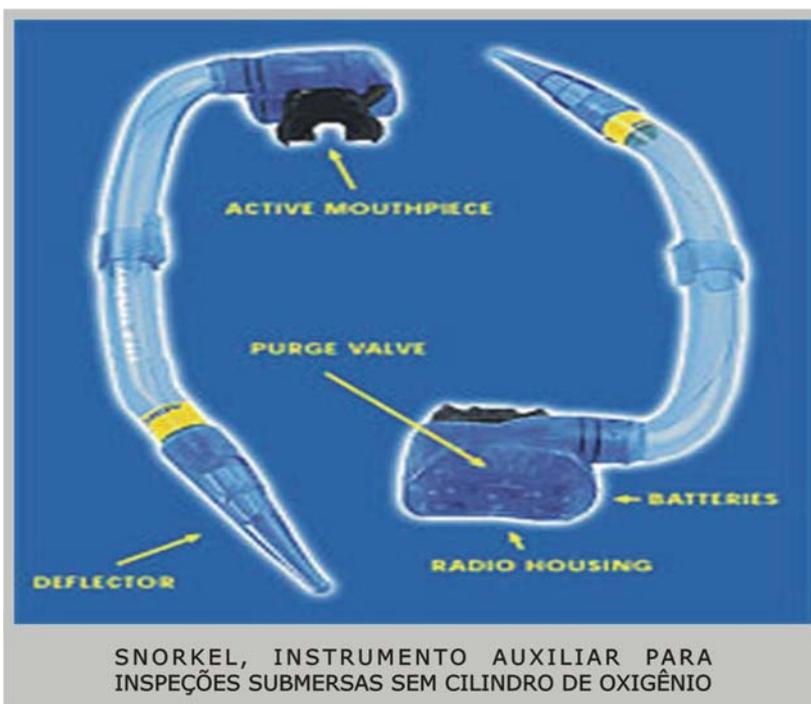
As fissuras a quente ocorrem quando a solda começa a solidificar-se; esse tipo de fissuras pode ser eliminado com a adição de produtos químicos ao eletrodo da solda.

d) Teste de Resistência à Tração

A resistência do aço à tração pode ser facilmente determinada submetendo a amostra a tensões cada vez maiores, até que ela se rompa ou até que ela comece a alongar-se excessivamente, com estreitamento de seção.

16.4 INSTRUMENTAÇÃO

As pontes de caráter excepcional, nos vãos ou nos sistemas estruturais, devem ser monitoradas; vários são os dispositivos existentes de monitoramento, não cabendo, neste Manual, a sua enumeração ou descrição.



SNORKEL, INSTRUMENTO AUXILIAR PARA INSPEÇÕES SUBMERSAS SEM CILINDRO DE OXIGÊNIO

17 - INSPEÇÕES SUBMERSAS



ESCAFANDRO, PARA INSPEÇÕES SUBMERSAS MAIS PROFUNDAS, COMPLEXAS E DEMORADAS

17 INSPEÇÕES SUBMERSAS

17.1 CONSIDERAÇÕES

As inspeções submersas, em virtude de suas dificuldades e da necessidade de utilização de pessoal e equipamento especializados, não têm sido efetuadas com a frequência recomendável que é, no máximo, com cinco anos de intervalo; são inspeções caras, devendo ser cuidadosa a seleção de obras que serão submetidas a este tipo de inspeção.

As inspeções submersas devem ser efetuadas com a minúcia e o profissionalismo necessários para que, após a sua efetivação, nenhuma dúvida possa ser levantada sobre as reais condições da infra-estrutura e fundações da ponte.

17.2 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DE PONTES

Todas as vezes que os apoios de uma ponte, infra-estrutura e fundações, ficam permanentemente submersos, devem ser previstas inspeções submersas que, em geral, fazem parte de uma inspeção global, envolvendo procedimentos estruturais, hidráulicos, geológicos e geotécnicos.

Vários são os fatores que influenciam o critério de seleção das pontes, que devem ser submetidas a inspeções submersas, bem como a frequência dessas inspeções; o intervalo máximo de cinco anos, refere-se a pontes supostamente em bom estado e situadas em ambientes não particularmente agressivos. Alguns dos fatores a considerar na fixação dos intervalos das inspeções submersas e os níveis em que estas inspeções devem ser conduzidas são:

- a) Idade da obra.
- b) Tipo de material empregado.
- c) Sistema estrutural global e da infra-estrutura.
- d) Construções próximas, tais como represas, diques e marinas, que podem alterar o regime do rio.
- e) Probabilidade de erosões no leito do rio.
- f) Ambiente agressivo, tal como águas marinhas ou poluídas.
- g) Eventuais danos provocados por embarcações ou matérias flutuantes.

Pontes com um ou mais dos citados fatores de risco devem ser grupadas em um inventário especial e, as informações mínimas a serem incluídas neste inventário, são:

- a) Tipo e localização da ponte.
- b) Tipo e frequência recomendados para as inspeções.
- c) Localização dos elementos a serem inspecionados.

- d) Procedimentos nas inspeções.
- e) Datas e informações das inspeções anteriores.
- f) Providências recomendadas e medidas adotadas após a última inspeção.
- g) Equipamentos especiais necessários.
- h) Dados geométricos e geotécnicos das fundações e da infra-estrutura.

17.3 MÉTODOS DE INSPEÇÃO SUBMERSA

Basicamente, há três métodos usados nas inspeções submersas:

- a) Inspeções em Águas Rasas.
- b) Inspeções com Equipamento de Mergulho.
- c) Inspeções com Escafandro.

17.3.1 INSPEÇÕES EM ÁGUAS RASAS

As inspeções em águas rasas não necessitam de equipes ou equipamentos especiais e podem ser efetuadas pela mesma equipe que está inspecionando a ponte; geralmente, botas de borracha, um bastão comprido, resistente e com referências métricas, e, eventualmente, um pequeno bote, são suficientes para avaliar a infra-estrutura da ponte e o leito do rio.

17.3.2 INSPEÇÕES COM EQUIPAMENTO DE MERGULHO

As inspeções com equipamento de mergulho não necessitam de apoio do pessoal de terra ou da ponte, visto que os mergulhadores carregam o ar necessário em reservatórios presos às suas costas. A título de curiosidade, transcrevemos a origem da expressão “scuba diving”, que é o correspondente, em inglês, a inspeções com equipamento de mergulho; “scuba” vem do acrônimo de “self contained underwater breathing apparatus”.

17.3.3 INSPEÇÕES COM ESCAFANDRO

As inspeções com escafandro, dependentes do suprimento externo do ar, que é feito da superfície através de tubos, são recomendadas para inspeções em condições adversas, tais como inspeções em águas poluídas, ou com grande velocidade da correnteza, até 4m/s, ou de longa duração. Tanto as inspeções com escafandro como as com equipamento de mergulho devem ficar limitadas ao máximo de 30m de profundidade, embora a maioria delas não ultrapasse 10m.

17.3.4 SELEÇÃO DO MÉTODO DE INSPEÇÃO

Na escolha do método de inspeção submersa, a profundidade a ser alcançada não é o único fator a ser considerado; alguns dos fatores que influenciam a escolha do método são: a altura do nível d'água, a visibilidade proporcionada pela água, a velocidade da correnteza, as condições do leito do rio, as matérias flutuantes e a configuração da infraestrutura. Particularmente importantes são as condições do leito do rio, que pode se apresentar com lama, ou muito mole, ou com rochas escorregadias.

17.4 NÍVEIS DE INTENSIDADE DAS INSPEÇÕES SUBMERSAS

Estes padrões de níveis de intensidade das inspeções submersas são originários de uma classificação da Marinha dos Estados Unidos e da indústria de plataformas de petróleo e, hoje, têm aceitação geral; são em número de três:

- a) Nível I: Inspeção visual e táctil.
- b) Nível II: Inspeção detalhada, com limpeza parcial.
- c) Nível III: Inspeção altamente detalhada, com testes não-destrutivos.

17.4.1 INSPEÇÃO NÍVEL I

A Inspeção Submersa Nível I deve abranger de modo superficial, mas bastante detalhado para detectar qualquer descontinuidade significativa e qualquer deterioração pronunciada, toda a infra-estrutura e o leito do rio nas proximidades; tudo deverá estar ao alcance do braço e apenas uma eventual, superficial e reduzida limpeza poderá se fazer necessária. Os dados colhidos na inspeção, que é visual e tátil, devem, além de fornecer uma visão geral da infra-estrutura, confirmar ou não os desenhos "as-built"; também poderão indicar a necessidade de nova inspeção de nível superior.

17.4.2 INSPEÇÃO NÍVEL II

A Inspeção Submersa Nível II é uma inspeção detalhada e parcial que, por amostragem, procura detectar e identificar anomalias que possam estar encobertas por seres, vegetais ou animais, da vida aquática; para isto, será necessário efetuar uma limpeza cuidadosa das superfícies a serem examinadas. Como toda a limpeza submersa é difícil e demorada, ela deverá ficar limitada estritamente aos objetivos da inspeção; geralmente, é plenamente satisfatória a limpeza das áreas críticas, que são as próximas ao nível mínimo das águas, próximas ao fundo e as que ficam à meia altura; além disto, na Inspeção Nível II, a amostragem pode ficar em torno de 10% dos elementos submersos.

Algumas indicações sobre locação e áreas de estacas a limpar e examinar, são dadas a seguir, todas referentes a alturas de 25cm:

- a) Estacas retangulares: a limpeza deve incluir, pelo menos, três lados.
- b) Estacas octogonais: pelo menos, seis lados.

- c) Estacas circulares: pelo menos, $\frac{3}{4}$ do perímetro.
- d) Estacas "H": pelo menos, as faces externas dos flanges e um dos lados da alma.

Em grandes superfícies, tais como paredes, pilares e encontros, a limpeza deve abranger três níveis de áreas de 30/30cm, em cada face do elemento; áreas com descontinuidades devem ser examinadas e medidas e a gravidade das anomalias deve ser documentada.

17.4.3 INSPEÇÃO NÍVEL III

A Inspeção de Nível III é uma inspeção minuciosa de uma estrutura ou de um elemento estrutural em estado crítico e onde se espera que seja realizada uma extensa recuperação ou mesmo uma substituição; essa inspeção abrange uma limpeza extensa, medições detalhadas, a escolha de testes não-destrutivos e técnicas parcialmente destrutivas, tais como ultra-som e extração de testemunhos.

17.5 TIPOS DE INSPEÇÃO

As condições que regulam o tipo de inspeção submersa variam com as diversas combinações das características próprias dos cursos d'água e das infra-estruturas das pontes; para uma determinada obra, o conjunto das condições ambientais e da configuração da infra-estrutura, pode afetar substancialmente os requisitos da inspeção.

Analogamente aos tipos de inspeção considerados para as inspeções globais das pontes, há cinco tipos de inspeções submersas a considerar:

- a) Cadastral
- b) Rotineira
- c) Excepcional
- d) Especial
- e) Intermediária

As inspeções submersas são, geralmente, rotineiras ou especiais.

17.5.1 INSPEÇÃO CADASTRAL

A Inspeção Cadastral é a primeira inspeção submersa de uma ponte, devendo ser refeita sempre que houver substanciais modificações geométricas ou estruturais na obra, tais como alargamentos, alongamentos, introdução de novos apoios, etc.; trata-se de uma inspeção bem documentada, acompanhada de um cálculo analítico da capacidade de carga da ponte e de uma análise de probabilidades de ocorrência de erosões.

17.5.2 INSPEÇÃO ROTINEIRA

A Inspeção Rotineira é uma inspeção programada, repetitiva a intervalos regulares, de nível médio, destinada a coletar dados e medições suficientes para determinar as condições físicas e funcionais de uma ponte, a verificar se houve modificações em relação à Inspeção Cadastral ou a uma Inspeção Rotineira anterior, devendo assegurar se a estrutura está em condições satisfatórias ou não.

As Inspeções Submersas Rotineiras devem ser efetuadas, pelo menos, a cada cinco anos; infra-estruturas com elementos parcialmente deteriorados, ou situadas em canais com instabilidades, devem ser inspecionadas em intervalos mais curtos.

O escopo mínimo para uma Inspeção Rotineira deve abranger:

- a) Uma Inspeção de Nível I deve ser efetuada em toda a estrutura submersa.
- b) Uma Inspeção de Nível II deve ser efetuada em, pelo menos, 10% dos elementos submersos, previamente selecionados na Inspeção de Nível I.
- c) Uma Inspeção de Nível III pode, eventualmente, ser necessária para coleta de dados adicionais que permitam garantir uma segura avaliação estrutural.

17.5.3 INSPEÇÃO EXCEPCIONAL

A Inspeção Excepcional é uma inspeção não programada, que deve ser efetuada em decorrência de possíveis danos provocados por importantes alterações ambientais ou por acidentes de origem humana.

A equipe da Inspeção Excepcional deve ser dimensionada para ter condições de avaliar a necessidade de adotar medidas de emergência, tais como a limitação ou mesmo a interrupção do tráfego, bem como indicar as providências mínimas para liberar o tráfego ou a obra.

Ocorrências que podem justificar a necessidade de uma Inspeção Submersa Excepcional seriam:

- a) *Enchentes* – elementos de pontes localizados em rios com forte correnteza devem ser inspecionados após as enchentes, para verificação de possíveis erosões.
- b) *Choques de Embarcações* – em rios navegáveis, imediatamente após o conhecimento do choque de alguma embarcação em elementos estruturais.
- c) *Acúmulo de Matérias Flutuantes* – apoios intermediários e encontros podem ser afetados por acúmulo de materiais, tanto pelo acréscimo da força da correnteza, como por eventuais erosões provocadas por movimentação desordenada da correnteza.
- d) *Deterioração e/ou Movimentação dos Apoios* – algumas anomalias em elementos submersos somente são percebidas quando há reflexos nos trechos emersos; estas manifestações podem ser recalques ou movimentos laterais.

17.5.4 INSPEÇÃO ESPECIAL

A Inspeção Especial é uma inspeção minuciosa, geralmente acompanhada de testes não-destrutivos e indicada por um ou vários dos motivos seguintes:

- a) Relatórios inconclusivos de uma Inspeção Rotineira anterior.
- b) Pontes particularmente importantes, cuja perda ou interdição seria desastrosa.
- c) Pontes com sistemas estruturais incomuns, que necessitam de monitoramento.
- d) Pontes que já apresentaram deficiências anteriormente.
- e) Pontes que serão reabilitadas, alargadas ou submetidas a maiores cargas.
- f) Condições ambientais particularmente adversas.

A Inspeção Especial é, basicamente, uma inspeção de Nível II em uma extensa área e uma Inspeção de Nível III em áreas específicas.

17.5.5 INSPEÇÃO INTERMEDIÁRIA

A Inspeção Intermediária é uma inspeção solicitada pelo responsável regional da ponte e destinada a um acompanhamento de anomalias existentes ou suspeitadas, tais como recalques ou os efeitos de uma erosão.

17.6 PLANEJAMENTO DE INSPEÇÕES SUBMERSAS

Na Inspeção Cadastral há uma série de fatores desconhecidos que não subsistem nas inspeções subseqüentes; eles são, principalmente:

- a) Desconhecimento das reais condições dos elementos submersos.
- b) Desconhecimento do nível de detalhamento necessário na Inspeção.
- c) O custo da inspeção submersa necessária.

Nas inspeções seguintes, com os conhecimentos adquiridos na Inspeção Cadastral, pode-se programar satisfatoriamente a inspeção, desde que se considere, adequadamente, os seguintes fatores:

- a) Método da inspeção submersa.
- b) Intensidade do nível da inspeção.
- c) Tipo da inspeção.
- d) As qualificações da equipe de inspeção.

17.7 ELEMENTOS E UNIDADES DAS INFRA-ESTRUTURAS

Os elementos de uma ponte que estão completa ou parcialmente submersos podem ser classificados em quatro grupos: apoios, pilares, encontros e sistemas de proteção; o correto enquadramento do elemento em um destes grupos é importante, visto que os procedimentos e os níveis de inspeção podem ser diferentes, bem como exigir diferentes equipamentos.

17.7.1 APOIOS

Apoios são as estruturas compostas de pilares, isolados ou aporticados transversalmente, que, diretamente ou através de estacas, suportam parcialmente uma ponte.

Na inspeção devem ser pesquisadas evidências de choques de embarcações e a existência de corrosões, de perdas de seção e de erosões.

17.7.2 PILARES

Na inspeção das partes submersas dos pilares, além das anomalias já citadas na inspeção dos apoios, deve ser verificada a verticalidade dos pilares.

17.7.3 ENCONTROS

Geralmente, os encontros são peças robustas, devendo ser pesquisada a ocorrência de erosões e solapamentos, principalmente se os encontros estão apoiados diretamente no solo.

17.7.4 SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Em rios navegáveis, os pilares devem estar protegidos contra choques de embarcações por sistemas de proteção tais como dolphins e defensas; estes sistemas de proteção estão, geralmente, parcialmente submersos e devem, também, ser inspecionados quando da realização de uma inspeção submersa na ponte.

17.8 INVESTIGAÇÕES DE EROSÕES



RIO SÃO FRANCISCO NO NORDESTE DO BRASIL

17.8.1 CONSIDERAÇÕES

A investigação de erosões não é tarefa fácil e nem sempre a inspeção submersa, apesar de cuidadosa, consegue detectar importantes erosões ocorridas; isto porque as inspeções se realizam quando a velocidade das águas é baixa, podendo já ter havido recomposição do fundo, com reposição de material. Há, entretanto, erosões que deixam sinais muito evidentes, tais como estacas e blocos descobertos e fundações diretas e encontros descalçados.

Nas inspeções submersas para detecção de erosões não muito evidentes, algumas indicações são importantes:

- a) Devem ser medidas as profundidades junto às fundações, bem como as alturas de suas partes aparentes, a partir do fundo do rio, para comparação com as dimensões indicadas no projeto e as resultantes de inspeções anteriores.
- b) Devem ser investigadas depressões existentes no fundo do rio, podendo sua eventual recomposição ser detectada pela presença de solos frouxos e soltos.

17.8.2 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Há uma série de equipamentos de medição de erosões que, embora possam ser usados independentemente de inspeções submersas, geralmente são utilizados em paralelo; embora estes equipamentos sejam confiáveis, podem, em certos casos, ter suas respostas mal interpretadas: nestes casos, inspeções submersas são indispensáveis.

Estes equipamentos, basicamente, emitem sons que são captados e interpretados por sensores.

17.8.3 ATIVIDADES MÍNIMAS DAS INSPEÇÕES SUBMERSAS

As atividades das inspeções submersas devem incluir:

- a) Medição de profundidades.
- b) Coleta de amostras para investigação de recomposição do fundo.
- c) Ensaio de amostras para comprovação de recomposição do fundo.
- d) Detecção de solapamentos e depressões provocadas por erosões.
- e) Detecção de buracos profundos e de pequeno diâmetro em torno de estacas.
- f) Avaliação da integridade de sistemas de proteção: enrocamentos, rip-rap, gabiões, dolphins e defensas.

17.9 INSPEÇÕES SUBMERSAS E AVALIAÇÃO DE ANOMALIAS

17.9.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO E ALVENARIA

O concreto é o material mais utilizado em obras submersas, seja o concreto simples, o concreto armado convencional ou o concreto armado protendido; as anomalias que envolvem a deterioração do concreto em decorrência da corrosão de armaduras são importantes e podem ameaçar a estabilidade da obra. Anomalias típicas em estruturas de concreto são: fissuração, armadura exposta, ataque de sulfatos, perda de agregados finos, vazios ou ninhos, manchas de ferrugem, etc. .

17.9.2 ESTRUTURAS DE AÇO

As estruturas de aço submersas, especialmente na zona de flutuação, são muito sensíveis à corrosão; quando possível, deve ser verificado se houve perda de seção, utilizando-se, se necessário, dispositivos de ultra-som para medir a espessura das peças.

17.9.3 RECUPERAÇÕES E REFORÇOS EXISTENTES

Deve ser verificado, na inspeção, se já houve recuperações ou reforços anteriores, tanto em desenhos de projeto, como no local; recuperações típicas são:

- a) Placas de aço de reforço.
- b) Enchimentos de concreto.
- c) Encamisamentos de concreto.
- d) Substituição parcial de elementos.

- e) Substituição de blocos de alvenaria.
- f) Recuperação de sistemas de proteção: enrocamentos, rip-rap, gabiões.
- g) Reparos de danos causados pela erosão.

17.9.4 EXTENSÃO DAS ANOMALIAS

Qualquer anomalia detectada deve ser localizada, medida e descrita; as atividades mínimas para as Inspeções Nível II ou Nível III incluem:

- a) Localização vertical e horizontal da anomalia em relação a um ponto fixo, de referência.
- b) Localização das extremidades e pontos intermediários das fissuras e trincas.
- c) Medição da máxima abertura das fissuras e da máxima profundidade.
- d) Medição do comprimento, da largura e da profundidade das desagregações e dos vazios.
- e) Medição das espessuras dos flanges das estacas metálicas “H”, em trechos duvidosos.
- f) Localização de empenamentos, saliências ou furos em elementos de aço.
- g) Medição de todas as dimensões necessárias ao reforço de fundações descalçadas.
- h) Medição de eventuais deslocamentos e desaprumos de elementos estruturais.
- i) Verificação da integridade das ligações entre elementos estruturais.

17.9.5 REGISTRO DAS INSPEÇÕES SUBMERSAS

As inspeções submersas, pela complexidade, pelas equipes especializadas envolvidas, pelo alto custo e pelo intervalo de tempo que decorre entre elas, devem ser minuciosamente detalhadas, sendo muito importante que os registros sejam feitos no próprio local das inspeções. Alguns dos registros são os citados a seguir:

- a) *Esquemas* – devem ser elaborados todos os esquemas pertinentes; terminada a inspeção submersa, não mais será possível esclarecer uma dúvida eventual.
- b) *Registro de Ocorrências* – simultaneamente com os esquemas, devem ser descritas todas as atividades desenvolvidas e anotadas todas as singularidades.
- c) *Registros Gravados* – quando for detectada uma importante descontinuidade, pode ser de grande utilidade gravar as observações e descrições do mergulhador.
- d) *Fotografias e filmes* – com equipamentos especiais, para detalhes submersos.

Todos os detalhes e observações devem ser incluídos em um Relatório, onde deverá constar, também, uma avaliação do estado da estrutura, as recuperações necessárias e o intervalo de tempo máximo para a próxima inspeção.

17.10 EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO SUBMERSA

17.10.1 EQUIPAMENTOS DE MERGULHO

Nas inspeções com equipamento de mergulho independente, “scuba diving”, o ar que o mergulhador necessita é fornecido por tanques cilíndricos pressurizados, que ele mesmo carrega nas costas; outros equipamentos são: vestimenta especial, capacete, dispositivos de aspiração do ar e nadadeiras.

Nas inspeções com escafandro, os equipamentos incluem um compressor, que coleta e comprime o ar em um tanque e depois o fornece ao mergulhador, através de um tubo de borracha, com dispositivos de regulação; este tubo é parte de um conjunto que inclui uma corda de segurança, uma linha de comunicação com a base e um medidor de profundidades; eventualmente, o mergulhador pode carregar um tanque de ar de reserva, para emergências.

Se a inspeção submersa não se faz em águas rasas, caso em que o mergulhador é auto-suficiente, a preocupação com o equipamento é fundamental, para não colocar em risco a vida do mergulhador.

17.10.2 COMUNICAÇÃO COM A SUPERFÍCIE

Nas inspeções submersas em águas rasas não há necessidade de comunicação vocal com a superfície; entretanto, em águas profundas, é de grande importância que exista uma comunicação vocal bi-direcional; desta forma, é possível:

- a) Que o mergulhador faça uma descrição, em tempo real, da anomalia que está sendo observada, permitindo que o pessoal de apoio faça anotações e gravação.
- b) Que o mergulhador solicite esclarecimentos ao pessoal de apoio.
- c) Que o pessoal de apoio, acompanhando desenhos e esquemas, verifique a validade das observações e o acerto na localização da anomalia.
- d) Que o pessoal de apoio solicite informações mais detalhadas.

17.10.3 EQUIPAMENTOS DE ACESSO

Nas inspeções submersas de pontes de pequenos comprimentos o acesso pelas margens é suficiente; entretanto, em pontes de grandes comprimentos, o acesso será feito através da própria ponte ou através de pequenas embarcações.

17.10.4 FERRAMENTAS

Há um grande número de ferramentas que podem ser usadas em inspeções submersas, devendo ser escolhidas as mais adequadas ao tipo e finalidades da inspeção.

a) Ferramentas Manuais

Entre as mais usadas, podem ser citadas: réguas graduadas, paquímetros, raspadeiras, lanternas, martelos, escovas de aço, chaves de fenda e pés-de-cabra.

b) Ferramentas Mecanizadas

Entre as mais usadas podem ser citadas: perfuratrizes, marteletores, desbastadoras e esmerilhadoras; ferramentas pneumáticas e hidráulicas podem ser usadas, havendo predominância das hidráulicas para serviços pesados ou extensos.

c) Ferramentas de Limpeza

As limpezas de pequeno vulto podem ser efetuadas com escovas de aço e desbastadoras, enquanto que as de maior vulto devem ser efetuadas com equipamentos tais como polidoras e esmerilhadoras. Um dos processos mais eficientes de limpeza utiliza jatos d'água, lançados com grande pressão; deve-se ter cuidado com a aplicação, para não enfraquecer a estrutura com a excessiva retirada de material.

17.10.5 EQUIPAMENTOS DE TESTES NÃO-DESTRUTIVOS

Dispositivos de medição que utilizam o ultra-som podem medir a espessura de elementos de aço e um martelo Schimidt, à prova d'água, pode ser usado em inspeções submersas para avaliar a resistência do concreto à compressão.

17.10.6 EQUIPAMENTOS DE EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

A extração de testemunhos de concreto é um método de avaliação parcialmente destrutivo, cuja utilização deve ficar limitada a áreas restritas e, que exige equipamentos pneumáticos ou hidráulicos; geralmente os testemunhos têm 5cm de diâmetro mas há brocas que permitem a retirada de testemunhos com outros diâmetros.

Os testemunhos de concreto permitem a avaliação de sua integridade no interior do elemento e também podem ser usados na determinação da resistência à compressão.

17.10.7 EQUIPAMENTOS DE FOTOGRAFIA E VÍDEO, SUBMERSOS

Existe uma grande variedade de câmeras para fotografias submersas, com diferentes tipos de lente e de flash; geralmente, utilizam-se as grande angulares, para visualizar e registrar uma área maior; quando a visibilidade é baixa, caso de águas turvas, usam-se caixas de plástico transparente, cheias de água limpa, que são encostadas no trecho do elemento a fotografar.

Os equipamentos de vídeo estão disponíveis em unidades completas, que trabalham submersas, ou em unidades interligadas por um cabo de conexão; nestas, o mergulhador apenas direciona a câmera, enquanto que o operador, da superfície, controla o foco e a iluminação, podendo comunicar-se com o mergulhador para melhorar o enquadramento.

17.11 CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS SOBRE INSPEÇÕES SUBMERSAS

17.11.1 CONSIDERAÇÕES

Os resultados das inspeções submersas são bastante afetados pelas limitações a que o mergulhador está sujeito: pouca ou nenhuma visibilidade e redução de mobilidade prejudicam a qualidade da inspeção.

17.11.2 CORRENTEZAS

As inspeções submersas devem ser realizadas em períodos de baixa velocidade da correnteza: até 0,7m/s pode ser esperada pouca ou nenhuma dificuldade.

17.11.3 MATÉRIAS FLUTUANTES E DETRITOS

Em alguns casos, as matérias flutuantes, retidas pela infra-estrutura e depositadas no fundo, podem atingir espessuras consideráveis, dificultando ou impedindo as inspeções submersas; é aconselhável promover a remoção deste material, não só para permitir a realização das inspeções, mas também para não aumentar os riscos a que está sujeito o mergulhador.

17.11.4 LIMPEZA

Nas pontes situadas em travessias afastadas do ambiente marinho, as infra-estruturas não oferecem ambiente propício à vida animal e elas estão, geralmente, limpas ou a limpeza pode ser efetuada com simples raspagem.

Em obras situadas em ambiente marinho, a vida animal pode ser tão intensa que chega a atingir algumas polegadas de espessura, impedindo qualquer visualização do elemento estrutural. Como a limpeza é demorada e cara, é recomendável que ela fique limitada a pequenas áreas, as estruturalmente críticas, as potencialmente críticas e as escolhidas por amostragem.



M42 TIED ARCH. PONTE EM ARCO COM
ESTRADO SUPERIOR SUPORTADO POR TIRANTES

18 - INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PONTES SUJEITAS À RUPTURA FRÁGIL



OAKLAND BAY BRIDGE, SAN FRANCISCO, CALIFÓRNIA, U.S.A.

18 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PONTES SUJEITAS À RUPTURA FRÁGIL

18.1 CARACTERIZAÇÃO DA RUPTURA FRÁGIL

Uma ponte será passível de ruptura frágil, parcial ou total, quando um de seus membros estruturais tensionados estiver sujeito a um colapso súbito, sem antes ter apresentado sinais de degradação; a fadiga é a causa principal do colapso de membros sujeitos à ruptura frágil.

18.2 CAUSAS PRINCIPAIS DA RUPTURA FRÁGIL

18.2.1 GENERALIDADES

Toda ponte que possuir um ou mais elementos sujeitos à ruptura frágil estará sujeita a um colapso repentino, de parte ou de toda a sua estrutura.

A ruptura frágil de um elemento de ponte poderá ser causada por erros de projeto e/ou de detalhamento, por erros de concepção, por má execução da obra e por degradação dos materiais.

18.2.2 CAUSAS PRINCIPAIS E HISTÓRICO

Fadiga, sobretensão e corrosão de armaduras, falta de identificação e avaliação de elementos sujeitos à ruptura frágil, bem como de inspeção e manutenção adequadas, são as causas principais de ruptura de elementos que podem provocar colapsos de pontes.

Embora as estruturas de aço estejam, aparentemente, mais sujeitas ao colapso, o Bridge Inspector's Training Manual cita apenas duas pontes que ruíram repentinamente em consequência de fissuras não detectadas; na malha rodoviária federal brasileira, várias pontes de concreto ruíram bruscamente, o mesmo acontecendo com algumas outras estruturas construídas pelo poder público.

18.2.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS:

- a) Uma obra é classificada como redundante quando a falência de um de seus elementos estruturais não tem maiores consequências: a carga que este elemento suportava é redistribuída para outros elementos; diferentemente, a obra seria não redundante.
- b) A identificação do grau de redundância de uma ponte é fundamental para determinação de sua criticalidade à ruptura.
- c) Embora seja necessário, para que a ponte seja considerada redundante, existir mais de dois elementos com a mesma função estrutural, por exceção, toda ponte com apenas duas vigas principais é considerada redundante.

- d) Ruptura Frágil é a que ocorre sem aviso, isto é, sem haver uma deformação plástica visível, e com tensões médias inferiores ao limite de escoamento.
- e) Ruptura Dúctil é a que ocorre após uma visível deformação plástica localizada; as tensões são superiores ao limite de escoamento.
- f) Fadiga de um material é a redução de suas características mecânicas, provocada pela repetida aplicação de cargas, cuja amplitude ultrapassa certos limites; havendo ruptura, esta acontece com tensões bem mais baixas que a tensão de escoamento do material.

18.2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A CRITICALIDADE DA PONTE À RUPTURA

- a) Existência de elementos estruturais sujeitos à ruptura frágil.
- b) Grau de redundância.
- c) Tensões provocadas pela carga móvel.
- d) Tendência dos materiais utilizados a fissurar ou trincar.
- e) Condições de trabalho de certos elementos estruturais.
- f) Existência de detalhes com maior tendência à fadiga.
- g) Frequência de trânsito de cargas excepcionais.

18.2.5 PROCEDIMENTOS HABITUAIS DA INSPEÇÃO

A existência de elementos estruturais sujeitos à ruptura frágil, que devem merecer atenção especial na inspeção, não será motivo para que os procedimentos habituais da inspeção sejam alterados no restante da ponte.

18.3 COLAPSOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

18.3.1 PONTES EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL: CAUSAS E EXEMPLOS

Nas obras de concreto armado há diversas causas que, sucessiva e repetidamente, têm causado colapsos ou motivado reforços emergenciais; algumas causas e exemplos reais são citados a seguir.

a) Erros de Detalhamento em Dentes de Vigas Gerber

Colapso do Vão Gerber do Viaduto Faria-Timbó, obra urbana no Rio de Janeiro/RJ.

Inúmeras obras rodoviárias da malha federal.

b) Erros de Detalhamento em Cantos de Apoios Extremos de Vigas

Colapso do Complexo da Gameleira em Belo Horizonte/MG.

Obras da malha rodoviária federal.

c) Erros de Detalhamento em Cantos de Estruturas Aporticadas

Colapso do Estádio de Remo, no Rio de Janeiro/RJ.

Colapso de Módulos da Cobertura do Estádio Aquático do **C.R.Vasco da Gama / RJ**.

d) Erros de Detalhamento de Armaduras

Falta de cobertura das armaduras, espaçamento insuficiente entre barras da armadura principal, impedindo o seu envolvimento pelo concreto, são causas de inúmeros reforços em pontes da malha rodoviária federal, muitas vezes atalhando inevitáveis colapsos das obras.

e) Construção por etapas, sem as devidas verificações intermediárias de estabilidade.**18.3.2 PONTES DE CONCRETO PROTENDIDO**

Nas obras de concreto protendido, também há causas repetitivas de colapsos totais, parciais ou necessidade de reforços emergenciais.

- a) Utilização de sistemas de protensão não tradicionais.
- b) Protensão insuficiente ou não uniforme: cabos presos durante a operação de protensão.
- c) Ancoragens deficientes ou degradadas.
- d) Perdas anormais de protensão.
- e) Corrosão de armaduras protendidas ou “stress corrosion”.
- f) Erros de Detalhamento: não consideração de fortes tensões localizadas nas ancoragens.

18.4 COLAPSOS EM ESTRUTURAS DE AÇO**18.4.1 GENERALIDADES**

Na malha rodoviária federal, poucas são as estruturas de aço e quase todas em viga mista, isto é, vigas de aço e lajes de concreto; entretanto, alguns conceitos essenciais serão apresentados, extraídos do Bridge Inspector's Manual.

18.4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS PRINCIPAIS DE ACIDENTES

a) Corrosão

A corrosão é, provavelmente, o defeito principal das pontes de aço; embora as perdas de seção dos elementos estruturais sejam, na maior parte das vezes, causadas pela corrosão, poucos foram os elementos que tiveram o seu colapso atribuído exclusivamente à corrosão. A corrosão superficial, que surge quando a pintura se desgasta, é bastante comum, mas não perigosa.

b) Fadiga

Trincas causadas pela fadiga surgem e se desenvolvem em pontes de aço como consequência de cargas repetidas, da flutuação de tensões, da frequência dos carregamentos e do detalhamento do projeto.

O conhecimento do funcionamento das ligações e de detalhes especiais é da máxima importância para o Inspetor, visto que é nestes pontos que estão as maiores concentrações de tensões.

c) Detalhamento das Ligações

As ligações soldadas devem merecer maiores cuidados que as rebitadas ou parafusadas, visto que são mais sensíveis à variação de tensões; uma vez iniciadas, as trincas podem destruir toda uma ligação, já que existe uma trajetória bem definida a ser percorrida.

As ligações rebitadas são encontradas em pontes construídas até 1960, quando passaram a ser utilizadas as ligações por conectores e parafusos; exatamente por sua idade e pelo número de carregamentos que suportaram, a inspeção em pontes com elementos e ligações rebitadas deve ser cuidadosa.

18.4.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

A maioria das fissuras em pontes de aço foi detectada visualmente; existem, porém, vários outros métodos não destrutivos de inspeção, tais como líquido penetrante, partícula magnética, ultra-som e radiografia. Uma inspeção visual mais acurada pode ser realizada com a limpeza e remoção da tinta da região suspeita e a utilização de lentes.

As fissuras provocadas pela fadiga do material podem ser detectadas por manchas de oxidação que se desenvolvem após o trincamento da pintura; a experiência tem mostrado que a fissuração do material se propaga até uma profundidade de um quarto até metade da espessura da placa antes que seja visível a trinca na pintura, permitindo que a oxidação se instale. Detectada a presença de uma fissura ocasionada por fadiga, todos os locais e detalhes semelhantes devem ser cuidadosamente inspecionados.

18.5 RECOMENDAÇÕES DE INSPEÇÃO DE ELEMENTOS SUJEITOS À RUPTURA FRÁGIL

Detectadas anomalias em elementos sujeitos à ruptura frágil, o tratamento destas anomalias geralmente exige alta prioridade e os defeitos encontrados devem ser listados de acordo com a prioridade do atendimento necessário; exemplificando, uma fissura em flange é mais importante que a oxidação superficial da alma.

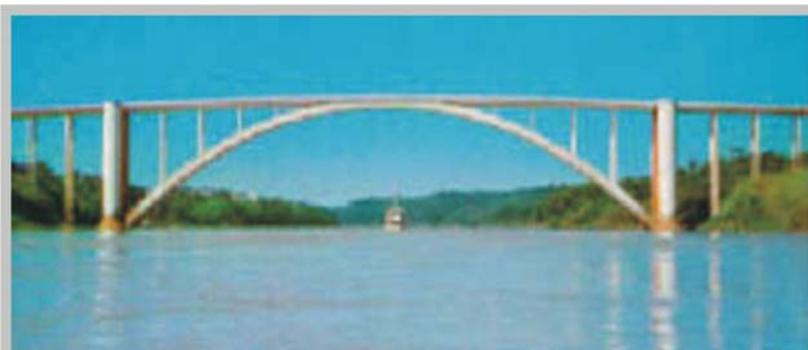
As anomalias em elementos sujeitos à ruptura frágil podem dar origem a dois tipos de providências:

a) Reparos Urgentes

Reparos imediatos que são necessários para não reduzir a vida útil da ponte ou para manter a obra em tráfego, sem restrições.

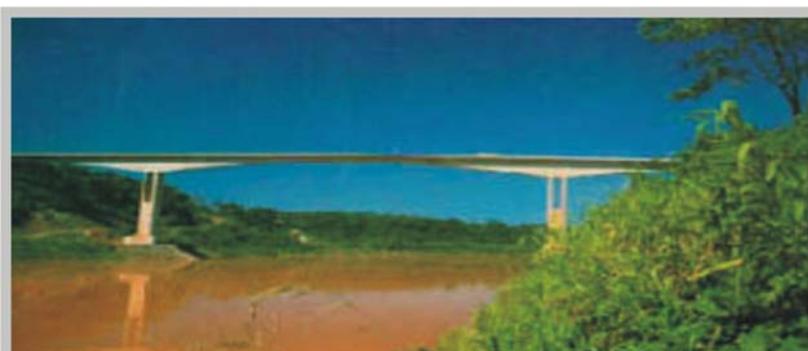
b) Reparos Programados

Reparos tais como limpeza e pintura do aço, que não ameaçam, de imediato, a integridade da obra e que podem ser incluídos no programa normal de manutenção.



PONTE DA AMIZADE, SOBRE O RIO PARANÁ, LIGAÇÃO BRASIL-PARAGUAI

19 - RELATÓRIOS E FICHAS DE INSPEÇÃO



PONTE TANCREDO NEVES, SOBRE O RIO IGUAÇU, LIGAÇÃO BRASIL-ARGENTINA

19 RELATÓRIOS E FICHAS DE INSPEÇÃO

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

1 DADOS BÁSICOS

IDENTIFICAÇÃO / LOCALIZAÇÃO / JURISDIÇÃO		Data: ____/____/____
OAE:Código:_____ Nome:_____		
Tipo de Estrutura: Código_____ Nat. Transposição: Código_____ Sist. Construtivo: Código_____		
UNIT:_____ Residência:_____ Rodovia: BR-_____ UF:_____		
Trecho (PNV):_____ Localização (km):_____ Cidade Prox.:_____		
ADMINISTRAÇÃO		
<input type="checkbox"/> DNIT <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input type="checkbox"/> OUTROS		
Nome:_____		
(para o caso concessão / outros)		
PROJETO / CONSTRUÇÃO		
Projetista:_____ ; Ano da Construção:_____		
Construtor:_____ ; Arquivo:_____ ; Trem - Tipo Classe:_____		
COMPRIMENTO / LARGURA		
Comprimento:_____ m; Largura:_____ m		

2 DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS		
Região: <input type="checkbox"/> PLANA <input type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> MONTANHOSA		Greide: Rampa Máxima(%):_____
Traçado: <input type="checkbox"/> TANGENTE <input type="checkbox"/> CURVO Raio:_____m		Travessia: <input type="checkbox"/> ORTOGONAL <input type="checkbox"/> ESCONSA
CARACTERÍSTICAS DA PISTA		
Larg.Total da Pista:_____m	Pavimento: <input type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Concreto	Drenos: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Nº de Faixas:_____	Passeio: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Pingadeiras: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Acostamento: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Guarda-Rodas: <input type="checkbox"/> P.Antigo <input type="checkbox"/> N.Jersey <input type="checkbox"/> Outro	
Larg.Acostamento:_____m		
GABARITOS		
Para Viaduto: Horizontal _____m; Vertical _____m		
Para Ponte s/ Rio Navegável: Horizontal _____m; Vertical _____m		
Proteção dos Pilares Contra Choque de Embarcação? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		
JUNTAS DE DILATAÇÃO		
Número total de juntas:_____		
Tipo de vedação: <input type="checkbox"/> Nenhuma; nos pilares / articulação <input type="checkbox"/> Tipo_____ <input type="checkbox"/> Tipo_____		
TRÁFEGO		
VMD:_____ veículos/dia		
Frequência de Carga Móvel \geq 36 tf: <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa		
Passagem de Cargas Excepcionais: <input type="checkbox"/> Frequente <input type="checkbox"/> Esporádica		

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: ____/____/____
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	
LAJES			
VIGAS PRINCIPAIS			
PILARES			
FUNDAÇÕES			

TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
Cód.	Descrição
FR	Freyssinet
NP	Neoprene
TF	Teflon
CH	Placa de Chumbo
RM	Rolo Metálico
AM	Articulação Metálica
PD	Pêndulo
LP	Ligação Pórtico
TE	Tipo Especial
NI	Não Informado

Aparelhos de Apoio

Apoio →											
Tipo →											

Obs.: para tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima.

PARTICULARIDADES

Número de Vãos: _____	Altura da Viga no Apoio (m): _____	Extrem. Inicial: <input type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: _____	Altura da Viga no Vão (m): _____	Extrem. Final: <input type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): _____	Altura Máxima de Pilar (m): _____	Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO

Comentários:

4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno _____ m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: Normal _____ m na Cheia _____ m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim

ROTAS ALTERNATIVAS: <input type="checkbox"/> EXISTEM <input type="checkbox"/> NÃO EXISTEM	Acréscimo de
Distância: _____ km	
Descrição do Itinerário: _____	

INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS):			
Melhor Época para Vistorias: _____			
Periodicidade:	<input type="checkbox"/> Normal (2 anos)	<input type="checkbox"/> Reduzida (1 ano)	<input type="checkbox"/> Dilatada (4 anos)
	<input type="checkbox"/> Especial (L ≥ 200m)	<input type="checkbox"/> Especial (Equipamento)	<input type="checkbox"/> Parcial
Acesso:	<input type="checkbox"/> Direto / Binóculo: Vãos _____	<input type="checkbox"/> Equipamento Especial: Vãos _____	
Interior de Viga Celular:	<input type="checkbox"/> Acessível <input type="checkbox"/> Não Acessível		

Comentários:

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

ESQUEMA LONGITUDINAL	
SEÇÃO TRANSVERSAL	
Meio do Vão	Apoio
DETALHES ADICIONAIS	

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

TABELA 1.A - TIPOS DE ESTRUTURAS

1	Viga de Concreto Armado
2	Viga de Concreto Protendido
3	Viga e Laje Metálicas
4	Mista (Viga Metal e Laje Concreto)
5	Arco Inferior de Concreto Armado
6	Arco Inferior de Concreto Protendido
7	Arco Inferior Metálico
8	Arco Superior de Concreto Armado
9	Arco Superior de Concreto Protendido
10	Arco Superior metálico
11	Arco de Alvenaria de Pedra
12	Treliça Metálica
13	Laje de Concreto Armado
14	Laje de Concreto Protendido
15	Madeira
16	Estaiada com Vigamento Metálico
17	Estaiada com Vigamento C. Protendido
18	Pênsil
99	Não Informado

TABELA 1.B - SISTEMAS CONSTRUTIVOS

1	Moldado no Local
2	Pré-moldado de Concreto Armado
3	Pré-moldado Protendido (Pós-tensão)
4	Pré-moldado Protendido (Pré-tensão)
5	Balanços Progressivos c/ Continuidade
6	Balanços Progressivos c/ Articulações
7	Aduelas Pré-moldadas
8	Viga Calha Pré-moldada (Sist. Protótipo)
9	Ponte Empurrada
10	Estaiado em avanços progressivos
11	Não Informado

TABELA 1.C - NATUREZA DA TRANSPOSIÇÃO

1	Ponte
2	Pontilhão
3	Viaduto de Transposição de Rodovia
4	Viaduto sobre Ferrovia
5	Viaduto sobre Rodovia / Rua
6	Viaduto em Encosta
7	Passagem Inferior
8	Passarela de Pedestre
9	Não Informada

TABELA 2 - MATERIAIS

LAJE, VIGAS PRINC. e PILARES		FUNDAÇÃO	
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
CA	Concreto Armado	CA	Concreto
CP	Concreto Protendido	EMS	Estaca Moldada "IN SITU"
AC	Aço	EPC	Estaca Pré-moldada
MD	Madeira	EPM	Estaca de Perfil Metálico
PD	Pedra Argamassada	ETM	Estaca Tubular Metálica
		EM	Estaca de Madeira
		IG	Ignorada

TABELA 3 - SEÇÃO TIPO

VIGAS PRINCIPAIS		PILARES		FUNDAÇÕES	
CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO
2T	2 Vigas "T"	1TP	Único Tipo Parede ou Encontro	DI	Direta
3T	3 Vigas "T"	1SV	Único Seção Vazada	BE	Bloco de Estacas
4T	4 ou mais Vigas "T"	1VT	Único Vazado com Travessa	BT	Bloco de Tubulões
2I	2 Vigas "I"	2CI	2 Colunas Isoladas	TC	Tubulões Contraventados
3I	3 Vigas "I"	2CC	2 Colunas Contraventadas	EE	Estaca Escavada
4I	4 ou mais Vigas "I"	2CT	2 Colunas com Travessas	IG	Ignorada
VC	Viga Caixa	3CI	3 ou mais Colunas Isoladas		
LM	Laje Maciça	3CC	3 ou mais Colunas Contraventadas		
VI	Vigas Invertidas	3CT	3 ou mais Colunas com Travessas		
VL	Vigas Calhas	TE	Tipo Especial		
TE	Tipo Especial				

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
3. MESOESTRUTURA			
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco		
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
4. INFRAESTRUTURA			
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
5. PISTA / ACESSO			
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade <input type="checkbox"/> Grande Extensão		
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando/Inoperante <input type="checkbox"/> Muito Problemática		
Acessos X Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado <input type="checkbox"/> Concordância Problem.		
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente <input type="checkbox"/> Eventual		

ESQUEMAS

INSTRUÇÕES PARA ATRIBUIÇÃO DE NOTAS DE AVALIAÇÃO

(Para a avaliação de elementos de pontes com função estrutural, conforme o Sistema SGO v3 para gerenciamento de pontes no DNIT)

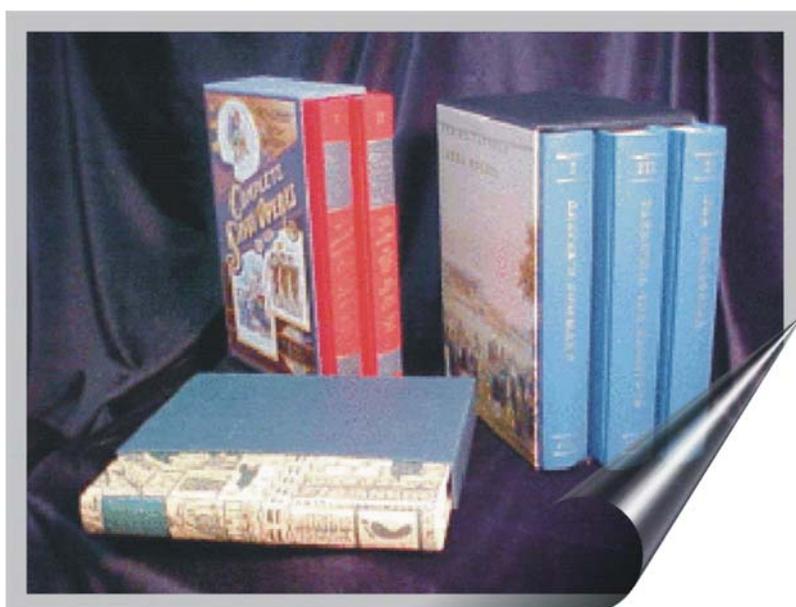
Será atribuída a cada elemento componente da ponte uma nota de avaliação, variável de 1 a 5, a qual refletirá a maior ou a menor gravidade dos problemas existentes no elemento. O quadro a seguir correlaciona essa nota com a categoria dos problemas detectados no elemento.

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias ¹ são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.

(1) Inspeções Intermediárias, no presente contexto, significa novas Inspeções a intervalos de tempo inferiores aos normais.

Obs.: A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

20 – BIBLIOGRAFIA

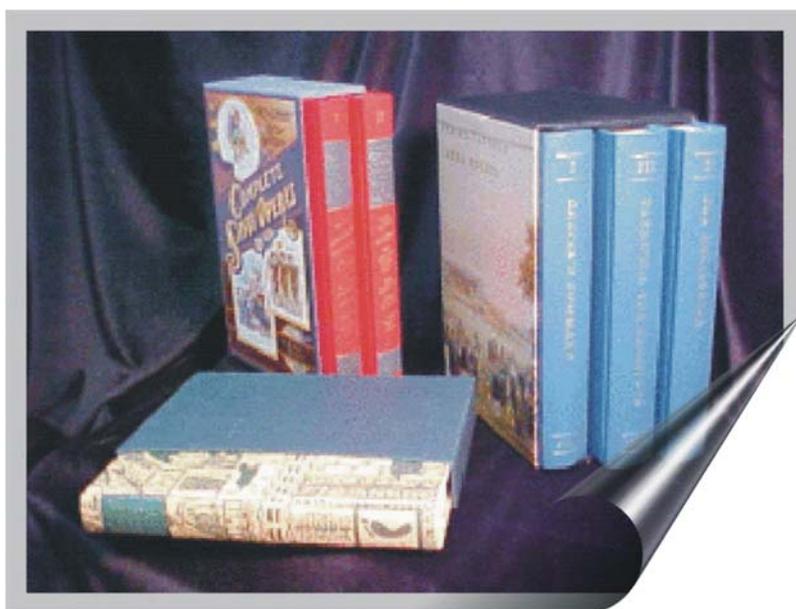


20 BIBLIOGRAFIA

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Manual For Condition Evaluation of Bridges*; 2000.
- b) _____. *Manual for Maintenance Inspection of Bridges*; 1990.
- c) _____. *Manual on Foundation Investigations*; 1978.
- d) _____. *The Maintenance and Management of Roadways and Bridges*; 2000.
- e) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2004.
- f) _____. *NBR 6122 : projeto e execução de fundações – procedimento*. Rio de Janeiro, 1996.
- g) _____. *NBR 6123 : forças devidas ao vento em edificações – procedimento*. Rio de Janeiro; 1998.
- h) _____. *NBR 7187 : projeto de pontes de concreto Armado e de concreto protendido – procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- i) _____. *NBR 7188 : carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre*. Rio de Janeiro, 1982.
- j) _____. *NBR 7190 : projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro, 1997.
- k) _____. *NBR 8681 : ações e segurança nas estruturas – procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- l) _____. *NBR 9452 : vistorias de pontes e viadutos de concreto*. Rio de Janeiro, 1986.
- m) _____. *NBR 9783 : aparelhos de apoio de elastômero fretado*. Rio de Janeiro, 1987.
- n) _____. *NBR 14931 : execução de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- o) CÁNOVAS, M. F. *Patologia e terapia do concreto armado*, São Paulo: PINI, 1988.
- p) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADAS E RODAGEM. *DNER-PRO 123/94 Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido*. Rio de Janeiro, 1994.
- q) _____. *Manual de construção de obras-de-arte especiais*. Rio de Janeiro, 1995.
- r) _____. *Manual de inspeção de pontes rodoviárias*. Rio de Janeiro, 1980.
- s) _____. *Manual de inspeções rotineiras*. SGO. Rio de Janeiro, 1994.
- t) _____. *Manual de projeto de obras-de-arte especiais*. Rio de Janeiro, 1995.
- u) _____. *Sistema de gerenciamento de obras-de-arte. Relatório Final*. Rio de Janeiro, 1994.
- v) FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Bridge inspector's training manual*, 1995.

- w) _____. *Inspection of fracture critical bridge members*, 1986.
- x) GENTIL, V. *Corrosão*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- y) HELENE, P. *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. Tese de Mestrado. São Paulo: EPUSP, 1993
- z) _____. *Corrosão em armaduras para concreto armado*. São Paulo: IPT/PINI, 1986.
- aa) _____. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI, 1992.
- bb) MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto; Estrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: PINI, 1992.
- cc) MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO. *Manual brasileiro para cálculo de estruturas metálicas*. Brasília, 1989.
- dd) PFEIL, W. *Concreto armado*. Rio de Janeiro: L.T.C., 1989.
- ee) _____. *Concreto protendido*. Rio de Janeiro: L.T.C., 1983.
- ff) _____. *Estruturas de aço*. Rio de Janeiro: L.T.C., 1994.
- gg) SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI, 1998.
- hh) THOMAZ, E. *Trincas em edifícios*. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989.

21 - GLOSSÁRIO



21 GLOSSÁRIO

A

abrasão – desgaste de material por ação de água carreando areia, cascalho.

aço – liga de ferro e carbono com elementos adicionais, tais como: silício, manganês, fósforo, enxofre.....; o teor de carbono pode variar de 0% a 1,7%.

aços de baixa liga de alta resistência (high strenght low-alloy steels) – aços-carbono com elementos de liga tais como: cromo, colômbio, cobre, manganês, molibdeno, níquel, fósforo, vanádio e zircônio.

aços de baixa liga com tratamento térmico – aços de baixa liga com tratamento térmico, têmpera e revenido, para elevar seus limites de escoamento.

aço Corten – aço de alta resistência e de alta resistência à corrosão, fabricado pela CSN.

Aço SAC-50 – aço semelhante ao Corten, fabricado pela Usiminas.

aço de armadura ativa – ver características nas NBR 7482 e 7483.

aço de armadura passiva – ver características na NBR 7480.

ancoragem – um conjunto completo de elementos e peças projetado para manter na posição correta uma parte ou elemento da estrutura.

aduela – cada um dos elementos pré-moldados, ou moldados no local, de uma superestrutura construída em avanços sucessivos.

anisotropia – propriedade de certos materiais, tais como madeira, de apresentar diferentes resistências em diferentes direções.

anodo – o pólo positivamente carregado de um elemento em processo de corrosão.

aparelho de apoio – dispositivo de suporte da superestrutura e que transmite suas reações à infra-estrutura, ao mesmo tempo que permite certa mobilidade à superestrutura.

arco – estrutura de eixo curvo, circular, parabólico ou elíptico, que trabalha à compressão, predominantemente, e que transmite aos apoios reações com componentes horizontais e verticais.

armadura ativa – armadura constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.

armadura passiva – qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada.

B

barra de olhal – um elemento metálico de seção retangular, com alargamentos nas extremidades, dimensionados para acomodar furos que permitam a passagem de pinos de conexão com outros elementos.

barreira – dispositivo rígido de concreto armado, de segurança lateral, com perfil projetado para, além de absorver um choque lateral do veículo, reconduzi-lo à pista.

bloco de fundação – elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.

C

cabo – elemento tracionado ou a ser tracionado, composto de fios ou cordoalhas individuais, torcidos em torno de um fio ou cordoalha central.

caixão – elemento de fundação profunda, de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna.

carbonatação – transformação dos compostos do cimento hidratado em carbonatos, por ação do gás carbônico.

catenária – curva obtida com a suspensão de um fio, corda ou cabo, em dois pontos.

catodo – pólo negativamente carregado de um elemento; no processo de corrosão este polo recebe elétrons para evitar a corrosão.

cobrimento – espessura de concreto armado medida entre a superfície externa da peça e a armadura mais próxima, geralmente os estribos.

cimento hidráulico – cimento que permite ao concreto ter propriedades de pega e endurecimento na presença da água.

cimento Portland – material pulverulento produzido a partir de uma mistura de calcário e argila ou outro material contendo sílica, alumina e óxido de ferro; a fusão desses materiais dá origem ao clínquer que, após a moagem, torna-se cimento.

cimento pozolânico – cimento obtido pela moagem conjunta de clínquer, gesso e material pozolânico.

coluna – elemento vertical linear que é submetido a forças de compressão.

concreto – mistura de agregados, água e um aglomerante, geralmente cimento portland e, eventualmente, aditivos e adições e que, ao endurecer, adquire uma dureza semelhante à da pedra. O CEB-FIP Model Code 1990, que classifica o concreto com base apenas na sua resistência à compressão, recomenda cautela, por falta de informações seguras disponíveis, no dimensionamento de concretos com resistência característica superior a 50 MPa.

concreto armado – material misto obtido pela colocação, no interior do concreto, de barras de aço não tensionadas antes da materialização da aderência aço-concreto.

concreto de alto desempenho – concreto com uma relação água-aglomerante de cerca de 0,40 que, com superplastificantes, tem melhoradas uma série de características, tais como: fluidez mais elevada, módulo de elasticidade mais alto, maior resistência à flexão, menor permeabilidade, maior resistência à abrasão e maior durabilidade.

concreto de alta resistência – concreto usual executado com a mesma tecnologia, mas com seleção cuidadosa e controlada dos materiais nele empregados; este concreto tem, aproximadamente, uma resistência característica, à compressão, entre 50 MPa e 80 MPa.

concreto leve – geralmente um concreto com agregados leves, com massa específica menor que 1800 kg/m^3 ; o concreto de peso normal tem massa específica de 2400 kg/m^3 .

concreto pré-moldado – elementos de concreto executados e curados em canteiros ou fábricas e posteriormente posicionados na obra em construção.

concreto projetado – concreto transportado por mangote, desde o equipamento de projeção até um bico que, por meio de ar comprimido, o projeta com grande velocidade contra uma superfície a revestir.

concreto protendido – concreto onde parte das armaduras é previamente alongada, antes de sua incorporação na estrutura.

concreto simples – concreto que não possui qualquer tipo de armadura ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

construção por avanços sucessivos – construção da superestrutura sem escoramento convencional e pela solidarização de aduelas pré-moldadas ou moldadas no local; as aduelas são posicionadas por pequenas treliças ou por treliças com o dobro do comprimento do vão e solidarizadas por protensão.

construção por lançamento incremental – construção de superestruturas protendidas em canteiros localizados nas extremidades da obra, metade de um vão de cada vez; em seguida, esta parte do vão é posicionada, inicialmente em posição provisória e, após operações sucessivas, na posição definitiva, através de empurramentos por macacos hidráulicos.

contra-flecha – uma linha contínua, convexa, de forma parabólica, com que se corrige as fôrmas dos fundos de vigas, para compensar deformações de carga permanente e eliminar o aspecto desagradável de estrutura deformada.

corrosão – deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.

corrosão do concreto – deterioração do concreto por ações físicas, tais como reações internas expansivas ou ações químicas, tais como reações provocadas por gases contidos na atmosfera, ou por águas, que podem ser puras, ácidas ou marinhas ou ainda, por compostos fluidos ou sólidos de natureza orgânica, tais como óleos, gorduras e combustíveis.

corrosão de armaduras – corrosão provocada por ações químicas ou eletroquímicas e que resulta da perda de proteção física e química proporcionada pelo revestimento, permitindo a despassivação da armadura; as duas consequências mais importantes são o aumento de volume das armaduras, provocando desagregações no concreto e a diminuição da seção resistente das barras.

D

defensa – dispositivo flexível de segurança lateral, usado na rodovia para impedir que o veículo desgovernado saia da rodovia e, eventualmente, para reconduzi-lo à pista.

deformação – distorção de um elemento estrutural sob a ação de um carregamento.

deformação elástica – deformação não permanente: retirado o carregamento, o material retoma sua forma primitiva.

deformação plástica – deformação do material além da fase elástica.

desagregação – sintoma característico da existência de ataque químico, que se caracteriza pela perda do poder aglomerante do cimento; os agregados, livres da união proporcionada pela pasta, soltam-se do restante da peça.

deterioração – perda gradual de qualidade, em virtude de ações físicas ou químicas do meio ambiente, durante um certo período de tempo.

disgregação – fenômeno físico, que se caracteriza por rupturas localizadas do concreto, geralmente nas partes salientes; é provocada por forças internas, tais como a força expansiva da corrosão das armaduras que pode dar origem ao deslocamento do concreto.

ductilidade – propriedade que possibilita o material suportar deformação inelástica sem sofrer ruptura.

E

eflorescência – depósito de material de cor branca, resultante da cristalização de sais solúveis existentes nas estruturas de concreto e trazidos à superfície por infiltrações.

elasticidade – propriedade que possibilita o material deformado pela ação de cargas, retomar sua forma inicial.

elastômero – material natural ou sintético, de comportamento semelhante ao da borracha.

elemento redundante – elemento que torna a estrutura estaticamente indeterminada e cuja retirada não provoca o colapso da estrutura.

encontro – o elemento extremo de uma infra-estrutura, que suporta uma das extremidades de uma superestrutura de um só vão ou uma das extremidades de uma superestrutura de vários vãos e que, também, arrima o aterro de acesso.

ensecadeira – estrutura temporária, metálica ou de madeira, construída no perímetro de uma escavação, para impedir desmoronamentos e/ou entrada de água.

enrijecedor – em estruturas metálicas, um pequeno elemento ligado a um elemento principal para evitar sua flambagem lateral.

epoxy – resina sintética cuja cura se dá por reação química de componentes que são misturados pouco antes do uso; presta-se a colar materiais diversos.

erosão – carreamento do solo pela ação da água em movimento

escoramento – estrutura temporária, de madeira, aço ou concreto, projetada para suportar o peso de uma estrutura durante sua construção e até que seja auto-portante.

estaca – elemento de fundação profunda, executado com auxílio de ferramentas ou equipamentos; esta execução pode ser feita por cravação à percussão, prensagem, vibração ou por escavação, ou ainda, de forma mista, envolvendo mais de um destes processos.

estaca-raiz – estaca injetada em que a injeção de ar comprimido é aplicada imediatamente após a moldagem do fuste, no topo do mesmo e concomitantemente com a remoção do revestimento; usam-se baixas pressões, inferiores a 0,5 MPa, que visam apenas garantir a integridade da estaca.

estado limite – estágio limite de comportamento estrutural adequado e adotado como referência.

estado limite de deformações excessivas – estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal.

estado limite último – estado limite relacionado ao colapso ou a qualquer outra forma de ruína estrutural.

estrado – parte da ponte que suporta diretamente o tráfego de veículos e de pedestres.

estribo – armadura que acompanha o perímetro da peça, em geral retangular ou circular, e que tem por finalidade absorver solicitações de forças cortantes ou impedir a flambagem de barras de armaduras.

F

fadiga – ruptura de um elemento sujeito a cargas cíclicas, com tensões menores que sob a ação de cargas estáticas.

ferro fundido – produto de alto forno; liga de ferro com alto teor de carbono e impurezas.

ferro laminado (wrought iron) – aço de baixo carbono, inferior a 0,12%, podendo incorporar até 3% de escória.

fissura – uma pequena fratura linear do concreto, localizada e sem completa separação das partes.

fissuração – fenômeno patológico que se caracteriza pela existência de fissuras.

fluência – deformação inelástica e crescente com o tempo, sob tensão constante.

G

gabarito – distância ou altura livres de qualquer obstáculo, permitindo a livre passagem de veículos e embarcações.

gabião – gaiola de arame galvanizado, cheio de pedras e usado como estrutura de arrimo ou de controle de erosão.

grout – uma argamassa muito plástica, auto-nivelante e suscetível de adquirir resistências semelhantes às do concreto; utilizada para preencher pequenos espaços, é obtida através de adição de água a um aglomerante especial.

gusset – chapa de conexão de elementos de uma estrutura em uma junta ou nó, mantendo-os na posição correta.

I

impacto – em cargas móveis, é a majoração de suas solicitações em virtude dos efeitos dinâmicos e vibratórios.

infra-estrutura – as fundações, os encontros e os apoios intermediários que suportam a superestrutura.

isotrópico – material que, como o aço, tem idênticas propriedades em todas as direções.

J

junta de concretagem – interrupção da concretagem com a finalidade de reduzir tensões internas que possam resultar em impedimentos a qualquer tipo de movimentação da estrutura, principalmente em decorrência de retração ou queda de temperatura.

junta de dilatação – dispositivo, ou apenas espaço, aberto que quebra a continuidade da estrutura.

L

laje de transição – laje de concreto armado que suaviza a transição rodovia – obra-de-arte.

M

mesoestrutura – termo usado para os elementos da infra-estrutura, excluídas as fundações.

microestaca – estaca executada com tecnologia de tirantes injetados em múltiplos estágios, isto é, com o uso de válvulas múltiplas denominadas “manchetes”; em cada estágio utiliza-se pressão que garanta a abertura das “manchetes” e posterior injeção; ao contrário das estacas-raiz, usam-se altas pressões de injeção.

O

ortotrópico – denominação de um material que tem diferentes propriedades físicas, tais como resistências, em duas ou mais direções ortogonais.

oxidação – degradação química de um material, em virtude de sua reação com o oxigênio do ar.

P

passarela – tipo de ponte destinada exclusivamente à passagem de pedestres.

perda de protensão – diminuição da força de protensão em virtude da retração e fluência do concreto ou da fluência do aço de protensão ou ainda, por perda de aderência.

permeabilidade – propriedade do material que permite a passagem de um fluido no seu interior.

ponte – estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros.

ponte estaiada – ponte cuja superestrutura é diretamente suportada por estais que, depois de carregar as torres dos apoios intermediários, são ancorados em encontros extremos.

ponte pênsil – ponte cuja superestrutura é suportada, através de tirantes, por cabos com a forma de catenária; estes cabos percorrem toda a extensão da ponte, passam por torres dos apoios intermediários e são ancorados nos encontros.

proteção catódica – processo de prevenção de corrosão, transformando o elemento a proteger em catodo, através da passagem de corrente elétrica, e oferecendo um anodo de sacrifício.

protensão – aplicação de forças externas a um elemento estrutural, para provocar deformações compatíveis com a melhoria de sua resistência e de seu comportamento, quando sob a ação de diferentes solicitações.

R

rampa – a inclinação, expressa em termos percentuais, da rodovia ou da ponte, em relação à horizontal.

reação álcalis-agregado – reação da sílica ativa de certos agregados com os álcalis do cimento, em presença da água, formando um gel em torno dos agregados; a deterioração de concretos contendo agregado reativo ocorre inicialmente na superfície.

redundância – condição estrutural onde há mais elementos que os estritamente necessários para garantir a estabilidade da estrutura.

rip-rap – proteção de taludes, de margens de rios ... contra erosões e solapamentos; pode ser constituída de materiais diversos, principalmente sacos de aniagem cheios de solo-cimento.

rótula – dispositivo que permite um elemento estrutural girar livremente.

ruptura dúctil – ruptura precedida por deformação plástica.

ruptura frágil – ruptura brusca, não precedida de deformações visíveis.

S

sapata – elemento de fundação de concreto armado, de altura menor que o bloco, utilizando armadura para resistir aos esforços de tração.

superelevação – a diferença de níveis entre os bordos externo e interno de um trecho da rodovia ou de uma ponte, situados em curva horizontal; a diferença de níveis é necessária para contrabalançar a força centrífuga.

superestrutura – o conjunto de elementos estruturais que suporta diretamente as cargas móveis e as transfere à infra-estrutura.

T

treliça – associação estável de elementos retos, compondo triângulos.

tubulão – elemento de fundação profunda, de forma cilíndrica, em que, pelo menos em sua fase final de execução há a descida de operário; esta descida é que torna o tubulão diferente da estaca e não o seu maior diâmetro.

V

viga-caixão – tipo de superestrutura em caixão, de forma retangular ou trapezoidal; em estruturas de concreto, o caixão é constituído, geralmente, de duas vigas laterais, de concreto armado convencional ou protendido, de uma laje de fundo e de uma laje superior, mais larga que o caixão; em estruturas metálicas, o caixão é constituído, geralmente, de apenas duas vigas laterais, de uma chapa metálica inferior e de um elemento superior, de concreto armado ou de chapa metálica ou de placa ortotrópica, todos eles com largura maior que o caixão.

viga mista – viga composta de uma alma metálica, rigidamente ligada a uma mesa de concreto