



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
Área de Concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente**

CLEOVIR JOSÉ MILANI

**SUBSÍDIOS PARA O DIAGNÓSTICO DAS PONTES DO SISTEMA VIÁRIO DO
MUNICÍPIO DE PATO BRANCO – PARANÁ**

**Passo Fundo
2010**

CLEOVIR JOSÉ MILANI

**SUBSÍDIOS PARA O DIAGNÓSTICO DAS PONTES DO SISTEMA VIÁRIO DO
MUNICÍPIO DE PATO BRANCO – PARANÁ**

Orientador: Dr. Moacir Kripka

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

**Passo Fundo
2010**

CLEOVIR JOSÉ MILANI

**SUBSÍDIOS PARA O DIAGNÓSTICO DAS PONTES DO SISTEMA VIÁRIO DO
MUNICÍPIO DE PATO BRANCO – PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Data de Aprovação: Passo Fundo 24 de maio de 2010.

Doutor Moacir Kripka
Orientador

Doutor Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Doutora Adriana Augustin Silveira
Universidade de Passo Fundo – UPF

Doutor Zacarias Martin Chamberlain Pravia - UPF
Universidade de Passo Fundo - UPF

Passo Fundo
2010

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

À Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, por disponibilizarem professores com tamanha sabedoria e profissionalismo.

Ao meu orientador, Dr. Moacir Kripka, por sua paciência, sua presteza e dedicação, que foi de significativa importância para a conclusão desta dissertação.

Quero agradecer à colaboração de meu sogro, Sr. Domingos, que contribuiu para a coleta de dados das pontes.

Quero agradecer aos meus pais Antonio e Zelinda, pelos seus ensinamentos e amor incondicional, meus exemplos de vida.

À minha querida esposa Nadir, minha filha Julia e meu filho João, pela compreensão de minha ausência durante o período desta pesquisa, vocês são a razão de minha vida.

Enfim, quero agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de forma definitiva para a construção do trabalho, aos quais serei eternamente grato.

Dedico este trabalho aos homens que se preocupam com a segurança de outros homens.

Quando surge um problema, você tem duas alternativas: ou fica se lamentando, ou procura uma solução. Nunca devemos esmorecer diante das dificuldades. Os fracos se intimidam. Os fortes abrem as portas e acendem as luzes.

Dalai lama

RESUMO

A infraestrutura é requisito indispensável e determinante para o desenvolvimento econômico de um país, estando diretamente atrelada ao conjunto de suas atividades econômicas estruturais, servindo de fundamento para o desenvolvimento de outras atividades. Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes têm basilar importância no desenvolvimento dos municípios, do ponto de vista econômico e social, já que as estradas devem assegurar a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, bem como o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações. O objetivo deste trabalho é apresentar um levantamento das pontes existentes no município de Pato Branco, no estado do Paraná, visando identificar os danos mais recorrentes, para fornecer subsídios aos administradores, buscando assegurar o correto funcionamento da infraestrutura de transporte e objetivando a preservação do patrimônio público e segurança para o usuário. Com essa finalidade, o método utilizado para as inspeções e vistorias das pontes foi norteado pelas Normas Técnicas 010/2004 – PRO do DNIT e NBR 9452 (1986) da ABNT. A coleta de dados foi realizada por meio de visitas, com utilização do método visual e de registros fotográficos. Com o levantamento realizado, foram identificadas diversas manifestações patológicas tanto nas pontes de concreto como nas de madeira, tais como manchas por umidade, fissuras, corrosões, erosões, entupimentos dos drenos, deterioração da madeira, falta de verticalidade dos pilares e recalque de fundações, entre outros. Além disso, verificou-se pouca ou nenhuma manutenção existente nas pontes. Por fim, pode-se afirmar que a metodologia utilizada mostrou-se adequada, na medida em que forneceu um levantamento coerente da situação das pontes do município.

Palavras-chave: pontes; madeira; concreto; patologia.

ABSTRACT

Infrastructure is an indispensable and decisive requirement for the economic development of a country; it is directly linked to the set of structural economic activities and serves as the foundation for the development of other activities. Among the many works of infrastructure, the bridges have fundamental importance to the development of the cities, economically and socially speaking, because the roads are to ensure the entry of inputs on farms, as well as the disposal of products and free movement of populations. The aim of this study is to present a survey of the existing bridges in Pato Branco, Paraná State, identifying the most recurrent damages, in order to provide grants to administrators, seeking to ensure the correct functioning of the transport infrastructure and in the preservation of public property and security for the users. For this purpose, the method used for inspections and surveys of the bridges was guided by the Technical Standards 010/2004 - PRO DNIT and NBR 9452 (1986) ABNT. Data collection was conducted through visits, using the method of visual and photographic records. After the survey was done, we identified several pathological manifestations, both in concrete and wood bridges, such as moisture stains, cracks, corrosion, erosion, clogging of drains; wood decay, lack of verticality of the pillars and foundation repression, among others. Moreover, there was little or no maintenance on the existing bridges. Finally, we can say that the methodology used was appropriate since it provided a coherent survey of the situation concerning the bridges of the city.

Keywords: bridges, wood, concrete, pathology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Divisão estrutural de uma ponte.....	24
FIGURA 2	- Estiva.....	27
FIGURA 3	- Vista inferior da ponte (Elementos estruturais da superestrutura: longarinas, transversinas e tabuleiro).....	28
FIGURA 4	- Elementos constituintes da seção transversal da superestrutura.....	29
FIGURA 5	- Sinalização.....	30
FIGURA 6	- Seção transversal da ponte em vigas roliças.....	32
FIGURA 7	- Vista superior da ponte.....	32
FIGURA 8	- Vista lateral da ponte em vigas roliças.....	32
FIGURA 9	- Pontes de eixo misto.....	35
FIGURA 10	- Classificação das pontes segundo a altimetria.....	36
FIGURA 11 (a)	- Esquemas de pontes em laje.....	43
FIGURA 11 (b)	- Pontes em laje.....	43
FIGURA 12 (a)	- Esquema de ponte em viga.....	44
FIGURA 12 (b)	- Ponte em viga.....	44
FIGURA 13 (a; b; c)	- Esquemas de pontes em treliças.....	45
FIGURA 13 (d)	- Ponte em treliças.....	45
FIGURA 14 (a)	- Esquemas de ponte em pórtico.....	46
FIGURA 14 (b)	- Pontes em pórtico.....	46
FIGURA 15 (a)	- Esquema ponte em arco.....	47
FIGURA 15 (b)	- Ponte em arco.....	47
FIGURA 16 (a)	- Esquema de pontes suspensas ou pênséis.....	48
FIGURA 16 (b)	- Pontes suspensas ou pênséis.....	48
FIGURA 17 (a; b)	- Esquemas de pontes estaiadas.....	49
FIGURA 17 (c)	- Pontes estaiadas.....	49
FIGURA 18	- Etapas de processo de construção.....	53
FIGURA 19	- Lei de evolução de custos de Sitter.....	55
FIGURA 20	- Tipos de corrosão de armadura e fatores que os provocam.....	59
FIGURA 21	- Representação esquemática da corrosão eletroquímica na presença de cloretos.....	60
FIGURA 22	- Representação esquemática da reação de carbonatação do hidróxido.....	62
FIGURA 23	- Fissuração por tração e compressão axial.....	63
FIGURA 24 (a)	- Fissura de: a – flexão; b - cortante.....	65

FIGURA 24 (b)	- Fissura de flexão e cortante.....	65
FIGURA 25 (a)	- Esquemas de fissuras de torção.....	65
FIGURA 25 (b)	- Fissuras de torção.....	65
FIGURA 26	- Recalques nas fundações.....	73
FIGURA 27	- Manifestações de insetos na madeira.....	79
FIGURA 28 (a)	- Madeira exposta ao fogo.....	81
FIGURA 28 (b)	- Viga de madeira laminada colada.....	81
FIGURA 29	Defeitos na madeira.....	83
FIGURA 30	Etapas da pesquisa.....	92
FIGURA 31	- Mapa de localização das pontes e identificação do tipo de material da superestrutura.....	93
FIGURA 32	- Administração das pontes.....	98
FIGURA 33	- Modelo estrutural das pontes do Município de Pato Branco.....	98
FIGURA 34	- Extensão das pontes do Município de Pato Branco.....	99
FIGURA 35	- Idade estimada das pontes do Município de Pato Branco.....	100
FIGURA 36	- Material das superestruturas das pontes Município de Pato Branco.	100
FIGURA 37	- Condições aparentes de estabilidade/norma 010/2004/PRO/DNIT..	101
FIGURA 38	- Necessidade de inspeção especializada no total das pontes vistoriadas.....	102
FIGURA 39	- Necessidade de inspeção especializada urgente do total das pontes do município.....	103
FIGURA 40	- Manifestações patológica nos elementos da superestruturas das pontes de concreto do município de Pato Branco – PR.....	103
FIGURA 41	- Manifestações patológica nos elementos da superestruturas das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR.....	104
FIGURA 42	- Manifestações patológica nos elementos de concreto dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR.....	104
FIGURA 43	- Manifestações patológicas nos elementos de madeira dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR.....	105
FIGURA 44	- Deslocamento de concreto e corrosão de armadura (Ponte P148)..	105
FIGURA 45	- Corrosão de armadura da viga lateral da ponte (Ponte P129).....	106
FIGURA 46	- Deslocamento do concreto com exposição da armadura (Ponte P145).....	106
FIGURA 47	- Exposição de armadura de estribo (Ponte P151).....	107
FIGURA 48	- Detalhe de fixação de tubulações na laje da ponte (Ponte P156).....	107
FIGURA 49	- Vista inferior da laje no acesso de drenagem das águas pluviais (Ponte P155).....	108
FIGURA 50	- Corrosão da armadura nas bordas da junta de dilatação da ponte (Ponte P155).....	108

FIGURA 51	- Armadura exposta na viga pré-moldada (Ponte P103).....	109
FIGURA 52	- Espaçador de sarrafo de madeira (Ponte P121).....	109
FIGURA 53	- Armadura exposta (Ponte P121).....	110
FIGURA 54	- Ninhos de concretagem (Ponte P129).....	110
FIGURA 55	- Cobrimento de armadura (Ponte P126).....	111
FIGURA 56	- Ninhos de concretagem na face inferior da longarina (Ponte P148).....	111
FIGURA 57	- Rompimento do balanço de acesso da estrutura da ponte (Ponte P151).....	112
FIGURA 58	- Troncos de árvores impactando no pilar (Ponte P110).....	112
FIGURA 59	- Pilares da ponte (Ponte P151)	113
FIGURA 60	- Acúmulo de água no tabuleiro (Ponte P131).....	113
FIGURA 61	- Entupimento do dreno (Ponte P150).....	114
FIGURA 62	- Manchas de umidade (Ponte P147).....	114
FIGURA 63	- Ação do fogo sobre as estruturas de concreto (Ponte P148).....	115
FIGURA 64	- Rompimento do concreto de apoio e contenção da ponte (Ponte P100).....	115
FIGURA 65	- Vista lateral - falta de verticalidade dos pilares da ponte (Ponte P124).....	116
FIGURA 66	- Erosão do concreto na base do pilar (Ponte P124).....	116
FIGURA 67	- Desgaste do concreto do pavimento com exposição de armadura (Ponte P114).....	117
FIGURA 68	- Eflorescência na fissura do pilar de encontro (Ponte P146).....	117
FIGURA 69	- Fissuras na laje com eflorescência (Ponte P151).....	118
FIGURA 70	- Lixiviação no encontro (pilar) de concreto (Ponte P152).....	118
FIGURA 71	- Erosão no concreto do pilar de apoio (Ponte P126).....	119
FIGURA 72	- Erosão do solo nas fundações (Ponte P110).....	119
FIGURA 73	- Recalque de Fundação (Ponte P149).....	120
FIGURA 74	- Fissura de recalque na extremidade (Ponte P119).....	120
FIGURA 75	- Guarda-corpo danificado (Ponte P150).....	121
FIGURA 76	- Ataque na madeira por bactérias e fungos (Ponte P119).....	121
FIGURA 77	- Ataque por insetos nas toras (vigas) de sustentação da ponte (Ponte P144).....	122
FIGURA 78	- Viga da ponte em estágio de apodrecimento (Ponte P149).....	122
FIGURA 79	- Viga de madeira em estágio avançado de decomposição (Ponte P126).....	123

FIGURA 80	- Estiva - Vista de sistema de apoio de pontes de madeira (Ponte P109).....	124
FIGURA 81	- Vista do tabuleiro com indicação de diversos danos (Ponte P109).....	124
FIGURA 82	- Vista geral do tabuleiro (Ponte P122).....	125
FIGURA 83	- Pregos expostos (Ponte P139).....	125
FIGURA 84	- Rompimento das transversinas (Ponte P111).....	126
FIGURA 85	- Degrau na entrada da ponte (Ponte P142).....	126
FIGURA 86	- Fenda de cerne (Ponte P110).....	127
FIGURA 87	- Flecha excessiva (Ponte P135).....	127
FIGURA 88	- Rompimento no apoio da viga de madeira (Ponte P138).....	128
FIGURA 89	- Transversina em balanço para apoio das vigas (Ponte P118).....	128
FIGURA 90	- Rompimento da viga e ataque por fungos (Ponte P136).....	129
FIGURA 91	- Suporte da cortina de contenção de aterro no acesso da ponte (Ponte P124).....	129
FIGURA 92	- Erosão na contenção lateral do aterro (Ponte P120).....	130
FIGURA 93	- Estrada de acesso à ponte (Ponte P139).....	130
FIGURA 94	- Sinalização de alerta para curva e ponte (Ponte P150).....	131
FIGURA 95	- Placa de alerta entrada/saída de veículos (Ponte P151).....	131
FIGURA 96	- Passarela de madeira sem proteção (Ponte P132).....	132
FIGURA 97	- Vista da ponte BR 158 - ligação cidade bairro industrial (Ponte P148).....	132
FIGURA 98	- Vista de seção da ponte (Ponte P107).....	133
FIGURA 99	- Placa indicando proprietário da ponte (Ponte P118).....	133
FIGURA 100	- Bueiros: Troncos de árvores dificultando a passagem da água.....	134
FIGURA 101	- Passagem de rio - sem ponte.....	134

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	- Principais funções das pontes.....	23
QUADRO 2	- Requisitos fundamentais de uma ponte.....	23
QUADRO 3	- Elementos que formam a superestrutura.....	28
QUADRO 4	- Elementos utilitários das pontes.....	29
QUADRO 5	- Manifestações patológicas.....	51
QUADRO 6	- Fatores determinantes da corrosão em concreto.....	67
QUADRO 7	- Categorias de substâncias deletérias.....	71
QUADRO 8	- Falhas construtivas típicas.....	74
QUADRO 9	- Agentes bióticos e abióticos.....	77
QUADRO 10	- Fungos que atuam na madeira.....	78
QUADRO 11	- Defeitos da madeira.....	82
QUADRO 12	- Outros danos nas estruturas de pontes de madeira.....	84
QUADRO 13	- Principais controles de inspeção.....	88
QUADRO 14	- Instruções para atribuição de notas de avaliação (Estados Unidos)....	89
QUADRO 15	- Instruções para atribuição de notas de avaliação (Brasil).....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.3.1	Objetivo geral.....	19
1.3.2	Objetivos específicos.....	19
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
2	CONCEITOS GERAIS E DEFINIÇÕES PARA PONTES	20
2.1	PONTES – BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	20
2.2	DEFINIÇÕES DE PONTES.....	21
2.3	ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES.....	23
2.3.1	Infraestrutura.....	24
2.3.2	Mesoestrutura.....	25
2.3.2.1	Pilares isolados ou aporricados.....	25
2.3.2.2	Aparelhos de apoio fixo ou móvel.....	26
2.3.2.3	Encontros.....	26
2.3.2.4	Estiva.....	27
2.3.3	Superestrutura.....	28
2.3.3.1	Sistemas de drenagem.....	29
2.3.3.2	Sinalização das características da classe da ponte.....	30
2.3.3.3	Ponte em vigas simples de peças roliças de madeira.....	31
2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES.....	33
2.4.1	Pontes - segundo a extensão do vão (total).....	33
2.4.2	Pontes - segundo a natureza do tráfego.....	33
2.4.3	Pontes - segundo a durabilidade.....	33
2.4.4	Pontes - segundo o desenvolvimento planimétrico.....	35
2.4.5	Pontes - segundo o desenvolvimento altimétrico.....	35
2.4.6	Pontes - segundo o material da superestrutura.....	36
2.4.6.1	Pontes de madeira.....	36
2.4.6.2	Pontes de concreto armado.....	37
2.4.6.3	Pontes de concreto protendido.....	38
2.4.6.4	Pontes em aço.....	39
2.4.6.5	Mistas.....	39
2.4.7	Pontes - segundo o tipo construtivo da superestrutura.....	40
2.4.7.1	In loco.....	40
2.4.7.2	Pré-Moldadas.....	41
2.4.7.3	Balanços sucessivos.....	41
2.4.7.4	Aduelas ou segmentos.....	42
2.5	MODELOS ESTRUTURAIS EMPREGADOS EM PONTES RODOVIÁRIAS.....	42
2.5.1	Pontes em laje.....	43
2.5.2	Ponte em viga.....	43

2.5.3	Ponte em treliça.....	44
2.5.4	Pontes em quadro (Ponte em pórtico).....	45
2.5.5	Pontes em arco e em abóbodas.....	46
2.5.6	Pontes pênsil e estaiadas.....	47
3	PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS.....	50
3.1	INTRODUÇÃO.....	50
3.1.1	Sintomas.....	51
3.1.2	Mecanismos.....	52
3.1.3	Origem.....	52
3.1.4	Causas.....	53
3.1.5	Consequências e intervenção.....	54
3.1.6	Terapia.....	55
3.1.7	Procedimentos.....	55
3.2	AÇÕES E MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	56
3.2.1	Corrosão das armaduras.....	58
3.2.1.1	Processo de corrosão.....	58
3.2.1.2	Ataque por cloretos.....	60
3.2.1.3	Perda de alcalinidade no concreto.....	61
3.2.2	Ações das cargas exteriores: processos mecânicos.....	62
3.2.2.1	Tração axial e compressão axial.....	63
3.2.2.2	Flexão e cortante.....	64
3.2.2.3	Torção.....	64
3.2.2.4	Impacto.....	65
3.2.2.5	Troca de temperatura e umidade.....	65
3.2.2.6	Ações que geram deterioração do concreto.....	66
3.2.2.7	Ações de baixas temperaturas sobre o concreto – efeitos do ciclo de gelo-degelo.....	67
3.2.2.8	Ação do fogo sobre as estruturas de concreto armado.....	68
3.2.2.9	Ataque por ácidos e bases.....	69
3.2.2.10	Ação dos sulfatos.....	70
3.2.2.11	Substâncias deletérias no agregado.....	70
3.2.2.12	Deterioração por desgaste superficial.....	71
3.2.2.13	Lixiviação e eflorescência.....	71
3.2.4	Ações induzidas.....	72
3.2.4.1	Fluência/Fadiga.....	72
3.2.4.2	Efeito de movimento das fundações.....	73
3.2.5	Falhas construtivas típicas.....	74
3.2.6	Ações sísmicas.....	74
3.3	AÇÕES E MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	75
3.3.1	Mecanismos de formação e manifestação das patologias nas estruturas de madeira.....	76
3.3.2	Ataque por microorganismos: bactérias e fungos.....	77
3.3.3	Infestação de insetos.....	79
3.3.4	Abrasão mecânica.....	80
3.3.5	Danos devido ao fogo.....	80
3.3.6	Defeitos das madeiras.....	81

4	VISTORIAS/INSPEÇÃO DE PONTES.....	85
4.1	INSPEÇÃO DE PONTE.....	85
4.1.1	Procedimentos nas inspeções.....	86
4.1.2	Instruções para atribuição de notas de avaliação – Estados Unidos.....	88
4.1.3	Instruções para atribuição de notas de avaliação – Brasil.....	89
5	MÉTODOS E MATERIAIS.....	91
5.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	91
5.1.1	Coleta de dados.....	91
5.1.2	Etapas da pesquisa.....	92
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	96
6.1	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, TIPO DE ESTRUTURA, MATERIAL DA SUPERESTRUTURA E IDADE.....	96
6.2	PONTES: CARACTERÍSTICAS DAS PONTES AVALIADAS.....	98
6.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS PONTES.....	101
6.3.1	Patologias nas pontes de concreto.....	105
6.3.2	Patologias nas pontes de madeira.....	121
6.3.3	Outros problemas observados nas pontes.....	129
7	CONCLUSÕES.....	135
8	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICES.....	143
Apêndice A	Coordenadas Geográficas das Pontes por GPS (Sistema de Posicionamento Global) Município de Pato Branco – PR.....	144
Apêndice B	Administrador da ponte.....	146
Apêndice C	Dimensões das pontes do município de Pato Branco – PR.....	147
Apêndice D	Características gerais da pista.....	148
Apêndice E	Condição aparente de estabilidade.....	150
Apêndice F	Manifestações patológicas nos elementos das superestruturas das pontes de concreto do município de Pato Branco – PR.....	151
Apêndice G	Manifestações patológicas nos elementos das superestruturas das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR.....	152
Apêndice H	Manifestações patológicas nos elementos de concreto dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR.....	153
Apêndice I	Manifestações patológicas nos elementos de madeira dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR.....	154
Apêndice J	Ficha de inspeção cadastral de inscrição.....	155
Apêndice K	Modelo de registro de seleção de fotos com comentário individual de cada ponte.....	156
	ANEXO.....	214
Anexo A	Médias históricas em estações do Iapar – Pato Branco.....	215

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A ascensão ou queda de uma nação está atrelada a sua competência de amparar, defender e alimentar seu povo. Porém, essa tarefa depende da infraestrutura existente. Por infraestrutura de uma nação entende-se a disposição de instalações públicas e de capital privado, que preveem a prestação de serviços eficazes para manter um determinado padrão de vida de sua população.

A infraestrutura é requisito indispensável e determinante para o desenvolvimento econômico de um país, estando diretamente atrelada ao conjunto de suas atividades econômicas estruturais, pois serve de fundamento para o desenvolvimento de outras atividades. Nesse sentido, enquadram-se como sendo infraestrutura os serviços e utilidades, tais como estradas, pontes, ferrovias e sistemas de transporte de massa, esporte e lazer, habitação, sistemas de abastecimento de água, energia, telecomunicação, entre outros (HUDSON; HAAS; UDDIN, 1997).

Até a década de 1990 a infraestrutura brasileira foi mantida quase que exclusivamente com investimentos públicos. Foi somente a partir daí, com as privatizações e parcerias entre os setores públicos e privados, que as grandes empresas nacionais e internacionais passaram a investir em infraestrutura por meio de contratos de concessão. O governo brasileiro, por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC/2007), buscou estimular o crescimento da economia brasileira com investimento em obras de infraestrutura (portos, rodovias, aeroportos, hidrovias, ferrovias, entre outras), considerando que nenhum país consegue crescer sem investimento em infraestrutura de transporte.

Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes têm basilar importância para o desenvolvimento dos municípios do ponto de vista econômico e social, já que as estradas devem assegurar a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, bem como o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações. Destaca-se, entretanto, que, ao longo dos anos, incorretos processos de construção e manutenção foram empregados nestas vias, principalmente pela carência de recursos e falta de informações técnicas por parte da administração municipal (CALIL; GÓES, 2004).

As pontes são elementos indispensáveis de um sistema viário. Salienta-se que retirar uma ponte de serviço ou restringir a carga máxima aceitável acarreta perturbação no bom andamento do transporte rodoviário ou ferroviário. Como a falta de manutenção das pontes pode ocasionar consequências desastrosas, muitos países adotaram medidas para a sua conservação. As pontes desempenham diversas funções sociais para a sociedade, já que vinculam pessoas e povos. Inclusive, em determinados pontos geográficos interligam até países diferentes, proporcionando o seu desenvolvimento e conectando-os econômica e culturalmente. Consequentemente, construir uma ponte permite alargar as fronteiras nacionais ou até mesmo internacionais.

O sistema rodoviário brasileiro é formado por pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios e solicitadas a suportar o tráfego de cargas móveis sempre crescentes, situação que também se verifica no município de Pato Branco - Paraná. Essas obras envelhecidas e degradadas devem ser cuidadosa e regularmente inspecionadas em termos de capacidade de carga, segurança e conforto, com a realização de manutenção e melhoramentos (BRASIL, 2004).

1.2 JUSTIFICATIVA

As pontes são estruturas de alto custo de construção, reparo e recuperação. Quando de uma intervenção necessária, provocam-se grandes transtornos para a sociedade. Assim, justifica-se o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas, como no que consiste em técnicas de manutenção preventiva durante a utilização (LANER, 2001).

Nos Estados Unidos da América cada Estado tem a obrigação de realizar inspeções detalhadas e contínuas das pontes e viadutos. Além de seguir as normas de inspeção federal, os Estados desenvolvem programas mais detalhados e adequados às circunstâncias locais. O objetivo desse procedimento é encontrar o equilíbrio certo entre a identificação de problemas imediatos e a realização de manutenção preventiva e periódica, substituindo pontes antigas para manter a qualidade das pontes e garantir segurança à população.

No Brasil, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2004), a vistoria técnica em pontes já é um trabalho que vem acontecendo periodicamente, possibilitando a recuperação preventiva em estruturas onde foi constatado algum tipo de risco

aos usuários. Todavia, em face das carências econômicas, as estruturas excedem a expectativa de vida útil, não recebendo as devidas medidas de manutenção (ALVIM; ALVIM, 2008).

A garantia de maior vida útil e de satisfatório desempenho estrutural e funcional das pontes só será obtida por meio de uma adequada manutenção, que deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão, identificando, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação (VITÓRIO, 2005).

Estudo realizado por Rossigali (2006) evidenciou que existem veículos com várias configurações trafegando nas estradas e que as cargas móveis observadas mostram que as solicitações nas pontes em razão do tráfego real podem ser maiores que aquelas devidas a um veículo-tipo da norma brasileira. Por conta disso, é necessário adequar as pontes da malha rodoviária, que em vários locais ainda não são compatíveis com o tráfego desses novos veículos, sem prejuízo ao nível de segurança dos demais usuários das vias.

A União, Estados e Municípios brasileiros, em sua absoluta maioria, não adotam procedimentos sistemáticos para inspeções e manutenção das pontes que compõem as suas malhas viárias. Por conta disso, essas obras estão passando por um processo de deterioração cuja evolução ao longo do tempo poderá acarretar a ruína estrutural de significativa parte delas, conforme ficou evidenciado no levantamento dos elementos constituintes das pontes do município de Pato Branco – Paraná.

Portanto, este estudo sobre as condições estruturais e patológicas das pontes levantadas no município de Pato Branco pode trazer subsídios aos gestores municipais para que elaborem um programa de conservação e manutenção para as pontes, além de alertar a população sobre a necessidade de manter este bem público em condições de segurança.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento das pontes existentes no município de Pato Branco visando identificar as manifestações patológicas, para fornecer subsídios aos administradores, buscando assegurar o correto funcionamento da infraestrutura de transporte, com a preservação do patrimônio público e segurança para o usuário.

1.3.2 Objetivos específicos

- Efetuar o mapeamento geográfico das pontes do município de Pato Branco;
- Caracterizar as pontes do município de Pato Branco, identificando-as por tipo de estrutura, dimensão, idade e material;
- Identificar as principais manifestações patológicas existentes.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O conteúdo do trabalho está organizado da seguinte maneira:

Capítulo 1: apresenta o problema; justificativa, bem como os objetivos que norteiam a pesquisa.

Capítulo 2: discorre sobre definições para pontes, seus elementos constituintes, classificação e modelos estruturais.

Capítulo 3: aborda sobre as patologias das estruturas, desde diagnósticos até ações e mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado e de madeira.

Capítulo 4: discorre sobre procedimentos de inspeção e vistoria de pontes, desde procedimento de inspeção até instruções para atribuição de notas de avaliação.

Capítulo 5: descreve a metodologia utilizada no trabalho, com a finalidade de deixar claras todas suas etapas, desde o levantamento das pontes existentes no município de Pato Branco até os danos mais recorrentes e, inclusive, outras particularidades.

Capítulo 6: são apresentadas as análises e discussões dos resultados, ilustradas com os registros fotográficos e a descrição das patologias mais recorrentes.

Capítulo 7: são apresentadas as conclusões gerais da dissertação e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS GERAIS E DEFINIÇÕES PARA PONTES

2.1 PONTES – BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

As pontes são os resultados da vontade do homem de exceder os obstáculos que encontra no caminho até chegar aos seus objetivos. Desde milhares de anos o homem percebeu a facilidade de se atravessar um riacho utilizando um acidente geográfico ou até mesmo um tronco de árvore, que casualmente era conduzido pela correnteza até se fixar e se ligar às margens durante o percurso. Com a evolução, precisou procurar outros horizontes e garantir a continuidade da sua espécie, havendo a necessidade de aprimorar a técnica de superar obstáculos naturais acentuados. Surgiu, assim, a “ponte” (DEUS, 1997).

Sabe-se que os primeiros materiais a serem usados na construção de pontes foram a pedra e, posteriormente, a madeira. Segundo registros existentes, as mais antigas pontes de pedra foram construídas em Roma utilizando a técnica dos arcos, aprendida com os etruscos¹. De acordo com estudos de Pinho e Belley (2007, p. 13), as mais antigas pontes estão situadas em Roma e continuam servindo à população local até os dias atuais, como a: “Fabrício (62 a.C); São Ângelo (134 d.C) e a de Céstio (365 d.C). Com relação às pontes de madeira há notícias de que os romanos as usaram para vencer a travessia de rios largos, como o Reno e o Danúbio”.

Tudo indica que as primeiras formas encontradas para transpor rios e vales foram pontes com estruturas simples, construídas com cordas, madeira e pedras e trabalhadas em forma de chapa, as quais serviam para integrar desde pequenos vilarejos a cidades. Essas estruturas possuíam limitações, principalmente para vencer grandes vãos e rios com muita profundidade. Com o passar do tempo, a genialidade dos construtores, aqueles que seriam os primeiros engenheiros, procurando novas formas e técnicas de construção, aliada à criação de novos materiais, permitiu o aumento da capacidade de transpor obstáculos cada vez maiores e a execução de pontes que representam marcos da evolução da engenharia moderna (MATTOS, 2001).

¹ Povo que vivia na Etrúria (atual Toscana), na Itália. A Etrúria estendia-se do rio Arno, no norte, até o rio Tibre, no sul, e dos montes Apeninos, no leste, ao mar Tirreno, no oeste. A maioria dos historiadores aceita, hoje, a antiga crença de que os etruscos chegaram à Etrúria vindos do leste, provavelmente por mar, logo depois da Guerra de Tróia (séc. XII ou XI a.C.). A arte etrusca foi bastante influenciada pelos gregos. Disponível em: <<http://www.dicionarioweb.com.br/etrusco.htm>>. Acesso em: jul. 2009.

Antigamente, na engenharia, obras como pontes, viadutos, muros de arrimo, bueiros, túneis, galerias e outras eram denominadas “obras de arte”, já que eram empiricamente construídas por artífices dotados de grande intuição sobre estática (BEZERRA, 2008).

2.2 DEFINIÇÕES DE PONTES

Encontram-se nos dicionários brasileiros vários significados para a palavra “ponte”. Segundo Aurélio Holanda Ferreira (2001, p. 544), ponte significa “construção destinada a ligar margens opostas duma superfície líquida qualquer”.

Denomina-se ponte à obra destinada a permitir a transposição de obstáculo à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser rios, braços de mar, vales profundos (MARCHETTI, 2008).

Na acepção técnico/estrutural, pontes são obras de arte que possibilitam a comunicação entre dois pontos separados por um curso de água ou qualquer obstáculo, sendo ainda sujeitas a carregamentos e portadoras de perfeito equilíbrio. Antigamente, os romanos chamavam suas pontes de pedra e madeira de *pons* (latim), com significado análogo à palavra grega *patos* e alemã *Pfad*. De *pons* originou-se *pont* em francês, *puente* em espanhol e ponte em italiano e português. A raiz etimológica da palavra latina é *phanthah*, que significa imigração, passagem (DEUS, 1997).

O DNIT 010/2004 conceitua ponte desta forma:

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. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores (DNIT - NORMA 010/2004 –PRO, p. 3).

Denomina-se, propriamente, ponte quando o obstáculo transposto é um rio. Quando existe um curso de água de grandes dimensões, a ponte necessita de uma parte extensa antes de atravessar o curso de água. Esta parte em seco é denominada de “viaduto de acesso”. Comumente, chamam-se “pontilhões” as pontes de pequenos vãos, havendo divergência entre os vãos limites dos pontilhões, que alguns engenheiros fixam em cinco metros e outros, em dez metros ou menos. Não há, entretanto, qualquer importância na distinção entre pontes e pontilhões, pois ambos se subordinam aos mesmos procedimentos de projeto e construção (PFEIL, 1990).

Tecnicamente, todas as obras imprescindíveis à implantação de uma estrada, tais como pontes, viadutos, bueiros, muros de arrimo, entre outras, são consideradas obras de arte. Dessa forma, existem as obras comuns ou correntes (bueiros e muros) e as especiais, conhecidas pela sigla OAE (obras de arte especiais), cuja finalidade é vencer obstáculos geográficos ou viários, tais como ponte e viadutos (BEZERRA, 2008).

Mesmo que as pessoas e alguns arquitetos e engenheiros de cada época acreditassem ter alcançado o limite máximo para projeto e construção de pontes e viadutos e, assim, terem chegado ao ponto culminante dos novos desenvolvimentos, a história tem indicado outra realidade. Atualmente o engenheiro estrutural tem a sua disposição um grande poder de análise, com o uso de programas computacionais, ferramenta que lhe permite desenvolver em minutos o que antes levaria meses ou anos. “Com este ganho de tempo, muitos tipos de pontes têm sido investigadas e outras estão atingindo seu dimensionamento ótimo” (PINHO; BELLEY, 2007, p. 17).

Na concepção de Pinho e Belley (2007), a eficiência do setor de transportes é certamente um dos requisitos para o desenvolvimento econômico dos países emergentes. Particularmente no que se refere ao transporte rodoviário, é interessante que o país possua uma frota de caminhões moderna, capaz de transportar grandes quantidades de carga sem onerar o custo das mercadorias.

Ferreira (2006) assinala que uma das questões a serem cuidadosamente analisadas é a segurança estrutural das obras de arte existentes na infraestrutura viária:

A preocupação com a preservação do patrimônio público advém de alguns estudos que indicam restrições à circulação de veículos considerados nocivos sob o ponto de vista das pontes. Além de órgãos governamentais, o assunto interessa diretamente às concessionárias de rodovias, responsáveis pela manutenção adequada dos trechos sob sua responsabilidade (FERREIRA, 2006, p. 196).

Conforme o autor, a determinação de regras gerais para o peso de veículos de carga encontra obstáculos quando se verifica a existência de diversas classes de pontes, com diferentes idades e sistemas estruturais. Ferreira (2006) ainda argumenta que, mesmo que o poder público tenha recentemente emitido normas que visam garantir a integridade das obras de arte, são necessárias pesquisas que forneçam conhecimento técnico e científico em vista da complexidade do tema. Por fim, o autor salienta que muitas obras de arte apresentam manifestações patológicas que reduzem sua capacidade.

Dessa forma, fazem-se necessárias a inspeção e a manutenção periódicas, além da adequação dos máximos pesos brutos para condições específicas da ponte deteriorada. No Quadro 1 estão elencadas as principais funções das pontes.

Funções principais de uma ponte	
1. Funções viárias	A função viária da ponte é, por excelência, dar continuidade à estrada na transposição de um obstáculo. As funções viárias são desempenhadas pelos elementos mais ligados aos usuários.
2. Funções estáticas	A função estática consiste em conduzir as cargas da posição onde elas se encontram até o solo. As funções estáticas são representadas pelos principais elementos estruturais da obra a saber: lajes, vigamento secundário (longitudinal ou transversal), vigamento principal, pilares, blocos de transição e fundações.
3. Ligação da obra com a estrada	A ligação da ponte com a estrada é feita pelos elementos situados nas extremidades da obra, tais como encontros, cortinas, alas laterais, muros auxiliares etc.

Fonte: Pfeil (1990) Adaptado.

QUADRO 1 - Principais funções das pontes

Os requisitos fundamentais de uma ponte estão descritos no quadro 2:

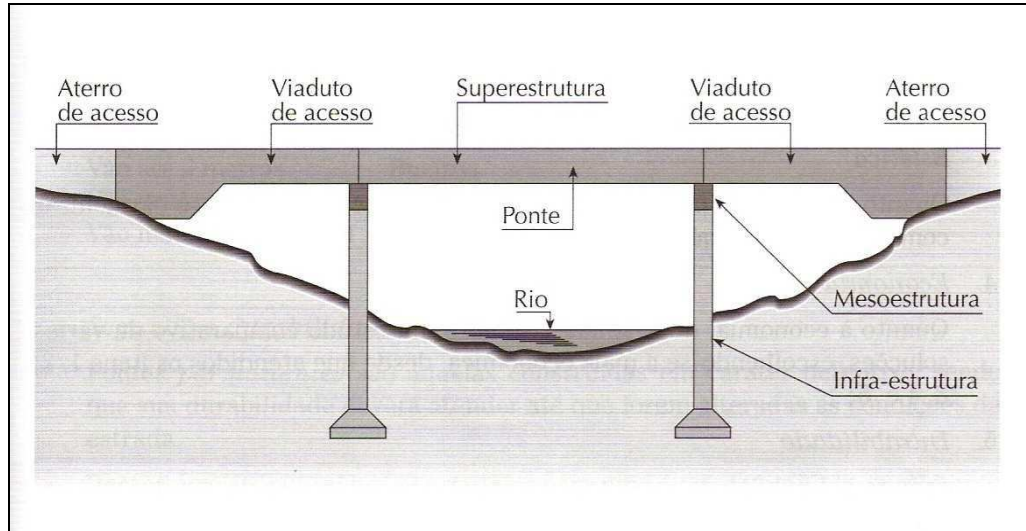
Requisitos fundamentais de uma ponte	
1. Funcionalidade	Quanto à funcionalidade, deverá a ponte satisfazer de forma perfeita as exigências de tráfego, vazão, entre outros.
2. Segurança	Quanto à segurança, a ponte deve ter seus materiais constituintes solicitados por esforços que neles provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura.
3. Estética	Quanto à estética, a ponte deve apresentar aspecto agradável e se harmonizar com o ambiente que se situa.
4. Economia	Quanto à economia, deve-se sempre fazer um estudo comparativo de várias soluções, escolhendo-se a mais econômica, desde que atendidos os itens de funcionalidade, segurança, estética, econômica e durabilidade.
5. Durabilidade	Quanto à durabilidade, a ponte deve atender às exigências de uso durante certo período previsto.

Fonte: Marchetti (2008) Adaptado

QUADRO 2 – Requisitos fundamentais de uma ponte

2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES

As pontes, em sua maioria, do ponto de vista funcional, podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura (PFEIL, 1990; MARCHETTI, 2008), conforme ilustra a Fig. 1.



Fonte: Marchetti (2008, p. 01)

FIGURA 1 – Divisão estrutural de uma ponte

Geralmente, as pontes são compostas por tabuleiro, vigas principais e secundárias, pilares e fundações. O tabuleiro recebe as cargas dos veículos e pedestres e as transfere para as vigas, que as transmitem para os pilares; por sua vez, os pilares recebem as cargas verticais e horizontais da superestrutura, transferindo-as para as fundações, que as transmitem para o terreno.

2.3.1 Infraestrutura

A infraestrutura é constituída pelos elementos que transmitem diretamente os esforços ao solo (LENCIONI, 2005), que são, os blocos, sapatas, estacas ou tubulões, além das peças de ligação destes elementos, como os blocos de coroamento de conjunto de estacas e vigas de rigidez (SARTORTI; 2008).

Uma fundação vem a ser o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Seu desempenho a longo prazo pode ser afetado por diversos fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2008).

A avaliação da correnteza é necessária para dimensionar fundações de pontes. A finalidade da avaliação da correnteza é determinar a suscetibilidade da fundação da ponte para as ações erosivas da água, que retiram o material de apoio das fundações das pontes. A ponte

é considerada crítica se sofrer erosão nas suas fundações. O *National Bridge Inspection Standards* exige planos de ação detalhados para correntezas críticas.

Existe uma ação mútua entre o projeto da infraestrutura e o da superestrutura. Inclusive, em determinados casos, a existência de condições favoráveis de fundações pode sugerir a forma e a localização de uma ponte. Por exemplo, uma ponte em arco adapta-se mais a uma garganta rochosa íngreme. De forma generalizada, os custos da infraestrutura e da superestrutura devem ser equilibrados para se conseguir o comprimento de vão ótimo, de modo que o aumento no preço unitário por pilar justificará um vão maior, e vice-versa (O'CONNOR, 1975).

2.3.2 Mesoestrutura

A mesoestrutura das pontes é constituída pelos pilares, que têm a função de transmitir os esforços da superestrutura para a infraestrutura (fundações). A cada linha transversal de apoio do tabuleiro correspondem um ou mais pilares. Quando são empregados dois ou mais pilares, estes são, normalmente, ligados por vigas horizontais (ou vigas de travamento), formando um pórtico transversal. A escolha do número de pilares e de vigas de travamento depende de diversos fatores, tais como largura do tabuleiro, altura dos pilares, natureza do tráfego, entre outros (ARAUJO, 1999; PFEIL, 1988).

A mesoestrutura é composta pelos elementos intermediários, que transmitem os esforços atuantes na pista de rolamento ou tabuleiro aos elementos da fundação. É constituída normalmente por pilares isolados ou aporticados; aparelhos de apoio metálicos ou de borracha e encontros (BRASIL, 1996).

2.3.2.1 Pilares isolados ou aporticados

Em conformidade com Mason (1977), os pilares das pontes compreendem as soluções de pilar único ou pilares independentes, de acordo com o tipo de estrutura e altura dos pilares. Neste entendimento:

O pilar único é uma solução conveniente e comum para pilares de grande altura, uma vez que se adapta melhor às condições de resistência e estabilidade. Desta forma, os pilares independentes, ou separados, podem ser adotados para pilares de média altura ou em face de razões estéticas (MASON, 1977, p. 147).

A solução com um único pilar geralmente é adotada em pontes onde a mesoestrutura possui elevada altura ou em viadutos localizados em regiões urbanas por motivos arquitetônicos (ARAUJO, 1999).

Segundo Mason (1977), os pilares em quadro ou contraventados são indicados para superestruturas designadas para vencer grandes vãos, cuja construção se deve iniciar por balanços, a partir dos pilares. Portanto, quando a superestrutura da ponte não é ligada monoliticamente aos pilares, conduzindo ao efeito de quadro, encontra-se apoiada nos pilares, ou encontros, por meio do aparelho de apoio.

2.3.2.2 Aparelhos de apoio fixo ou móvel

O aparelho de apoio é um dispositivo que pratica a transição entre a superestrutura e a mesoestrutura, ou a infraestrutura. Nas pontes não aporticadas as três principais funções do aparelho de apoio são: transmitir as cargas da superestrutura à mesoestrutura ou à infraestrutura; permitir os movimentos longitudinais da superestrutura em virtude das retrações próprias da superestrutura e os efeitos da temperatura, expansão e retração; permitir rotações da superestrutura, motivadas pelas deflexões provocadas pela carga permanente e pela carga móvel (SARTORTI, 2008; LENCIONI, 2005).

2.3.2.3 Encontros

Compreendem-se por encontros os elementos estruturais que possibilitam uma boa transição entre pontes e rodovias; ao mesmo tempo em que são os apoios extremos das pontes, são elementos de contenção e estabilização dos aterros de acesso. (BRASIL, 1994).

De acordo com Pfeil (1990), os encontros, entendidos por alguns engenheiros como constituintes da mesoestrutura e, por outros, como fazendo parte da infraestrutura, são elementos de características variáveis, cuja função principal é receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte. Os encontros, apesar de imprescindíveis em algumas pontes, podem ser dispensados em casos em que o aterro de acesso não apresenta perigo de erosão pelo curso d'água.

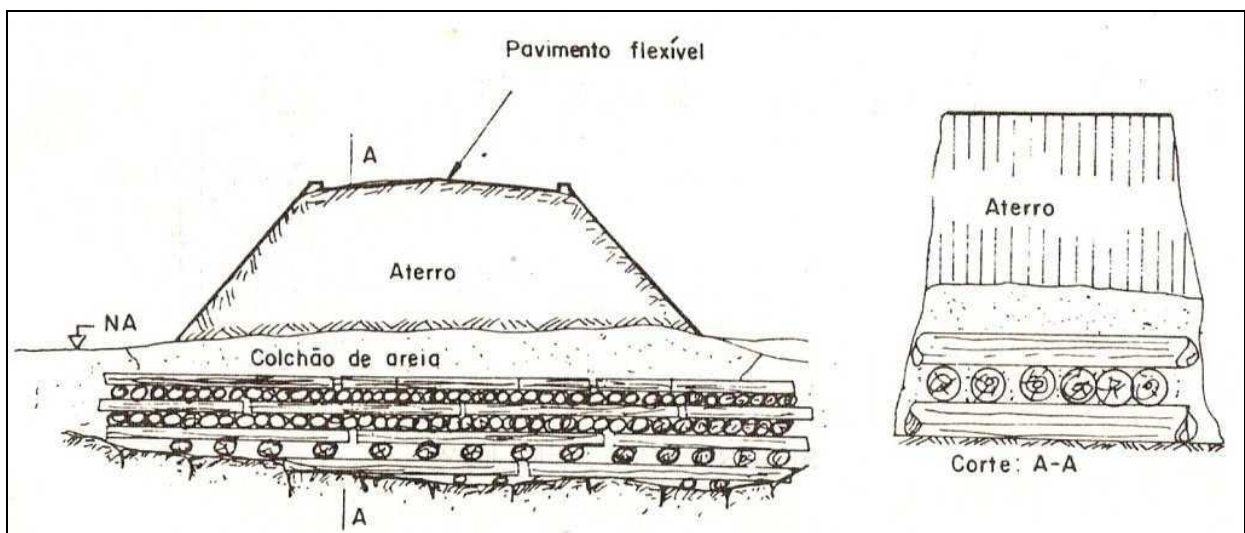
Conforme Mason “[...] Em certos casos, com maior frequência em pontes rodoviárias de pequeno porte, é usual suprimir os encontros ou estruturas de transição, projetando

balanços da superestrutura nos vãos extremos e prevendo taludes adequados para os aterros de acesso” (1977, p. 158).

Por motivos de ordem econômica, no Brasil apenas as obras consideradas mais importantes apresentam encontros; na maior parte das obras, os encontros são substituídos por superestrutura com extremos em balanço e aterros em queda livre, geralmente mal compactados e sem as proteções adequadas. O funcionamento desse conjunto heterogêneo - aterro/obra de arte -, embora moderadamente melhorado com a utilização das lajes de transição, é sempre deficiente: há assentamentos dos aterros de acesso, com os consequentes choques dos veículos na entrada das pontes (BRASIL, 2004).

2.3.2.4 Estiva

A estiva nada mais é do que uma construção de placas de madeira formada por troncos roliços colocados lado a lado, quando existe a necessidade de executar um trecho de aterro sobre terreno lodoso, onde não consegue executar uma perfeita remoção da turfa. A técnica tradicional tem sido a construção do aterro sobre estiva. É fundamental que a estiva (Fig. 2) fique abaixo do nível freático para garantir a durabilidade permanente das toras (MOLITERNO, 1989).



Fonte: Moliterno (1989, p.212)

FIGURA 2 - Estiva

Moliterno (1989) considera que a estiva, ainda que se apresente como um método empírico, tem apresentado bons resultados. Ao examinar o comportamento e a estabilidade elástica desse tipo de estrutura, é comum se encontrar uma série de improbabilidades na

quantificação dos esforços. Por isso, há que se resolver a questão valendo-se da sensibilidade prática do engenheiro de campo.

2.3.3 Superestrutura

Por superestrutura entende-se a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo e receber diretamente as cargas do tráfego, ou seja, é o elemento de suporte do estrado por onde se trafega; assim, é a parte útil da obra. É dividida em estrutura principal (vigas e longarinas) e secundária (tabuleiro ou estrado composto por laje, tábuas ou chapas metálicas). (MENDES, 2003; MARCHETTI, 2008). É constituída basicamente pelos elementos que recebem diretamente a carga útil da ponte, como ilustram o Quadro 3 e a Fig. 3.

Elementos que formam a superestrutura	
Elemento ou dimensão	Descrição
Viga principal ou longarina	Elemento destinado a vencer o obstáculo.
Viga secundária	Elemento transversal às vigas principais destinado a evitar efeitos secundários das vigas principais e redistribuir os esforços.
Tabuleiro	Elemento de placa destinado a receber a ação direta dos veículos e pedestres.
Comprimento da ponte ou vão total	Distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte.
Vão, teórico ou vão livre	Distância medida horizontalmente entre os eixos de dois suportes consecutivos.
Altura livre	Distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo. Pode variar conforme os dados hidrológicos no caso do obstáculo ser um rio ou canal.

Fonte: Debs e Takeya (2003, apud SARTORTI, 2008, p. 08) Adaptado.

QUADRO 3 – Elementos que formam a superestrutura

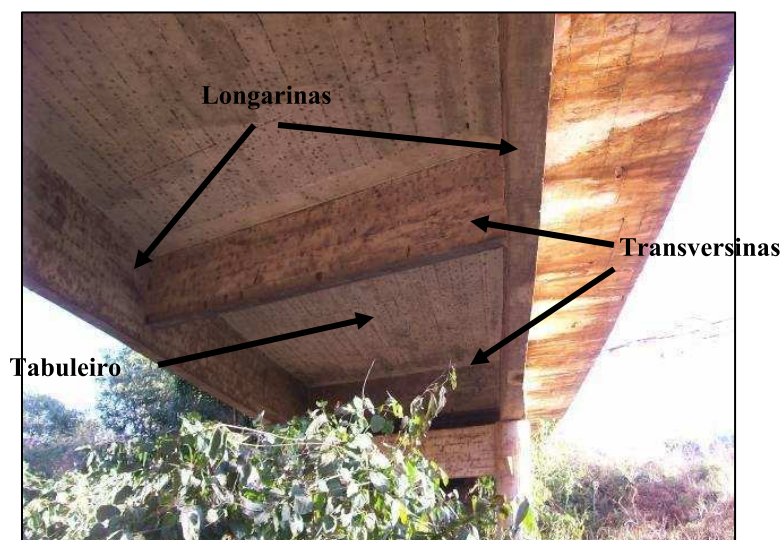


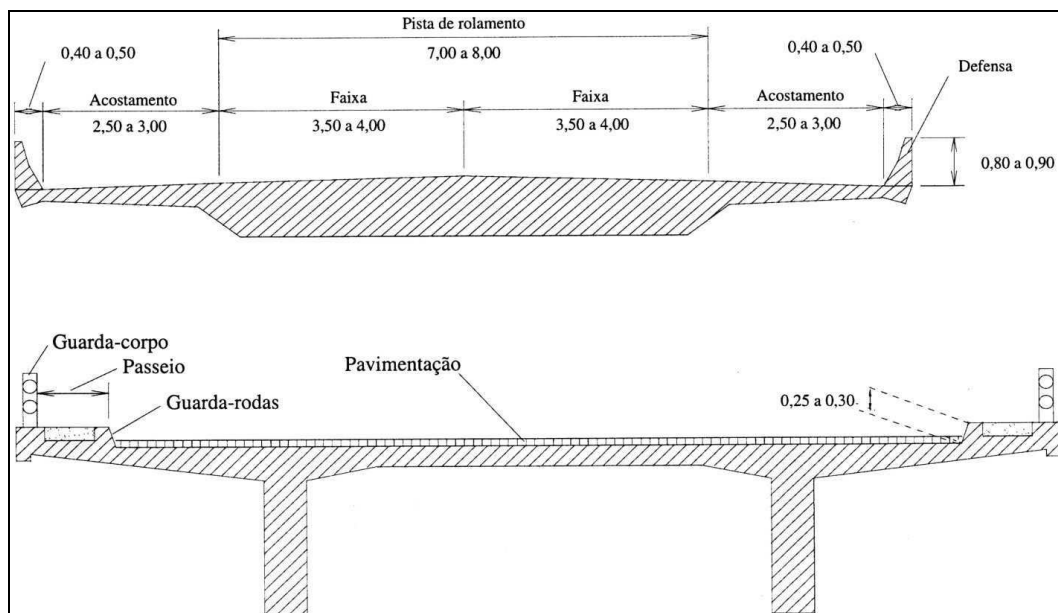
FIGURA 3 – Vista inferior da ponte (Elementos estruturais da superestrutura: longarinas, transversinas e tabuleiro).

Além dos elementos estruturais, as superestruturas dispõem de elementos utilitários, como ilustram o Quadro 4 e a Fig. 4.

Elementos utilitários	
Elemento ou dimensão	Descrição
Pista de rolamento	Largura disponível para o tráfego normal de veículos ou pedestre, que pode ser subdividido em faixas.
Acostamento	Largura adicional a pista de rolamento utilizada em casos de emergência pelos veículos.
Defensa	Elemento de proteção aos veículos, paralelo ao acostamento.
Passeio	Largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres.
Guarda-roda	Elemento destinado a impedir a invasão dos veículos no passeio.
Guarda-corpo	Elemento de proteção aos pedestres.
Juntas de dilatação	São dispositivos adequados capazes de acompanhar os movimentos da estrutura e de prover uma perfeita vedação do local.
Altura da construção	Distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura.

FONTE: Debs e Takeya (2003, apud SARTORTI, 2008, p. 08) Adaptado

QUADRO 4 – Elementos utilitários das pontes



Fonte: Debs e Takeya (2003, apud SARTORTI, 2008, p. 07)

FIGURA 4 – Elementos constituintes da seção transversal da superestrutura

2.3.3.1 Sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem têm por objetivo remover rapidamente as águas pluviais do estrado, evitando acidentes de tráfego e as danosas consequências da permanência de águas no estrado, que se tornam poluídas. Em conformidade com o DNIT (2004, p. 122), os dispositivos utilizados na drenagem dos estrados apresentam-se da seguinte forma:

- 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;
- Drenagem de pontes rurais: somente drenos. Os drenos, em geral tubos de 10 cm de diâmetro, afastados de 4,0 m e colocados nos dois alinhamentos transversais da pista, são as formas mais comuns de escoar as águas pluviais; devem ter comprimentos suficientes para que as águas escoadas, impelidas pelo vento, não atinjam o fundo da laje e a face da viga mais próxima;
- 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.

2.3.3.2 Sinalização das características da classe da ponte

As sinalizações das pontes, de acordo com a NBR 7188 (1982) da ABNT, devem estar colocadas em lugar bem visível, em ambas as cabeceiras ou em todos os acessos, conforme ilustra a Fig. 5.



FIGURA 5 – Sinalização

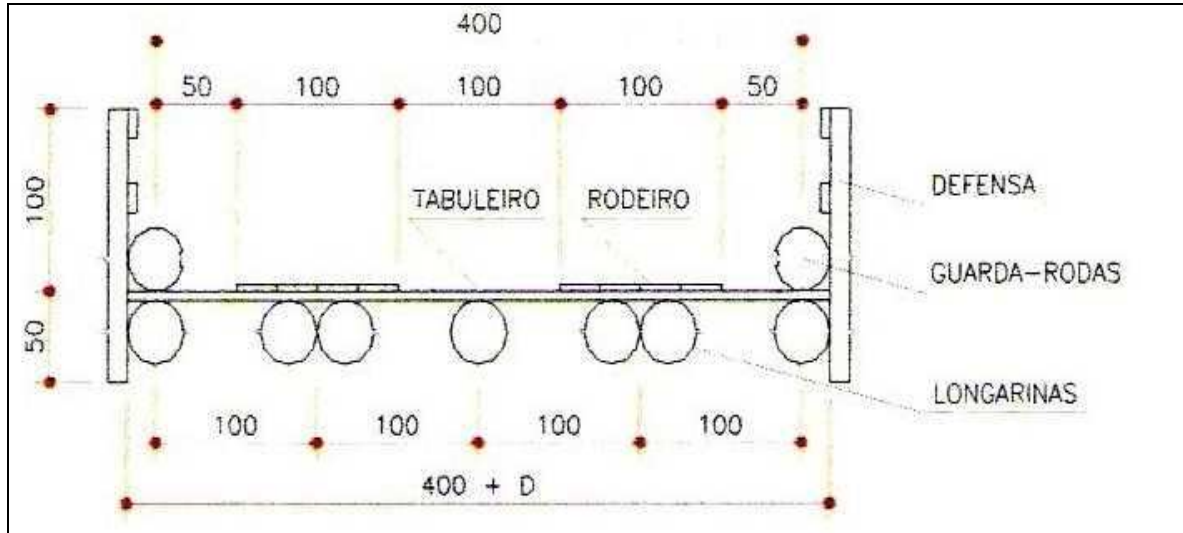
2.3.3.3 Ponte em madeira com vigas simples de peças roliças de madeira

O sistema de ponte em viga simples de peças roliças é o mais utilizado no Brasil, principalmente em razão da sua simplicidade construtiva, além do seu baixo custo. Entretanto, em razão da falta de projeto elaborado por profissionais habilitados este sistema estrutural é o que apresenta menor durabilidade (CALIL; GOES, 2004).

Em conformidade com Calil Junior et al. (2006), nas pontes em vigas simples de peças roliças podem ser observados os seguintes elementos estruturais:

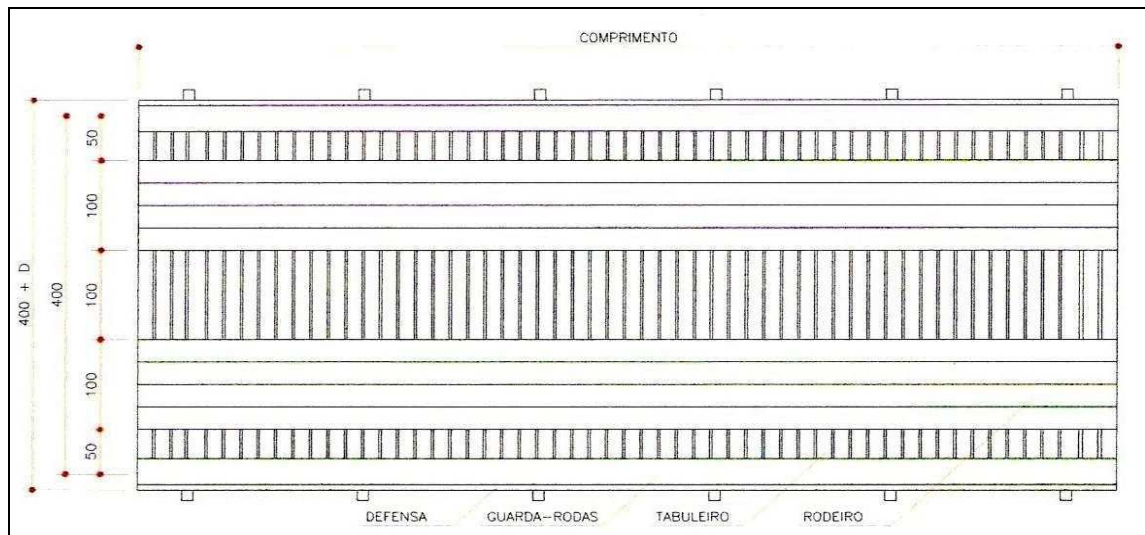
- Longarinas: são formadas por peças roliças de madeira dispostas no sentido longitudinal, alternadas e na disposição topo-base, tendo em vista a conicidade das peças. As longarinas são responsáveis por suportar o peso próprio da estrutura e também as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos;
- Tabuleiro: é constituído por peças de madeira serrada, dispostas no sentido transversal e ligadas nas longarinas por parafusos autoatarraxantes ou pregos. O veículo tipo deve atuar sobre o rodeiro; entretanto, o tabuleiro deve suportar a carga acidental do veículo tipo no caso excepcional de sair do rodeiro;
- Rodeiro: é formado por peças de madeira serrada, dispostas no sentido longitudinal e ligadas ao tabuleiro por parafusos autoatarraxantes ou pregos. O rodeiro tem a função de indicar a localização correta onde o veículo deve passar e melhorar a distribuição das cargas acidentais para o tabuleiro e as longarinas. No rodeiro devem ser utilizadas madeiras duras, que resistam à abrasão dos pneus dos veículos;
- Guarda-rodas e a defesa: constituem itens de segurança ao tráfego da ponte, devendo ser dimensionados de maneira a evitar que o veículo possa sair da ponte. O guarda-rodas é formado por uma viga roliça de mesmo diâmetro das longarinas, sendo utilizadas peças de madeira serrada para a defesa. O guarda-rodas e o pilarete da defesa devem ser ligados à longarina de borda.

As Figuras 6, 7 e 8 ilustram a configuração básica das pontes em vigas simples de peças roliças, indicando a localização dos elementos constituintes, além dos espaçamentos entre longarinas, disposição do tabuleiro, defesa e rodeiro. As pontes em vigas simples de peças roliças são construídas em zonas rurais com baixo volume de tráfego; conseqüentemente, possuem somente uma faixa de tráfego.



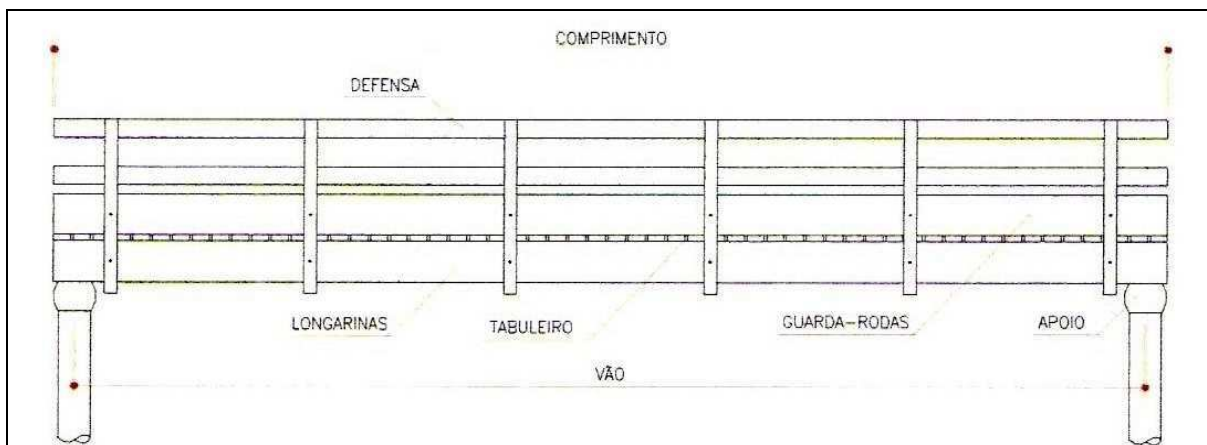
Fonte: Calil Junior (2006, p. 80)

FIGURA 6 – Seção transversal da ponte em vigas roliças



Fonte: Calil Junior (2006, p. 80)

FIGURA 7 – Vista superior da ponte



Fonte: Calil Junior (2006, p. 80)

FIGURA 8 – Vista lateral da ponte em vigas roliças

2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

O critério de classificação das pontes pode ser considerado de diversas maneiras, sendo as mais comuns: quanto à natureza de tráfego; quanto ao material com que são construídas, ao processo construtivo, entre outros.

2.4.1 Segundo a extensão do vão (total)

Marchetti (2008) classifica as pontes segundo a extensão do vão (total), da seguinte forma: vão até 2 m: bueiros; vão de 2 a 10 m: pontilhões; vão maior do que 10 m: pontes.

2.4.2 Segundo a natureza do tráfego

Pfeil (1990) classifica as pontes segundo a natureza do tráfego, da seguinte forma: pontes rodoviárias; para pedestres; aquedutos; mistas; ferroviárias; ponte canal e pontes aeroviárias. Podem, ainda, destinar-se ao suporte de tubulações para água, esgoto, gás, óleo.

2.4.3 Segundo a vida útil e durabilidade

Não há como não associar os conceitos vida útil e durabilidade. Conhecidas ou verificadas as características de deterioração dos materiais e dos sistemas estruturais, pode-se entender como durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental e definindo, assim, a vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998).

a) Exigências de durabilidade

A NBR 6118 (2003) da ABNT preconiza que as estruturas de concreto carecem estar projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

b) Vida útil

A NBR 6118 (2003) da ABNT compreende por “vida útil” de projeto o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto sem exigir, em relação às prescrições de manutenção previstas, medidas extras de manutenção e reparo. Assim somente após esse período começa a efetiva deterioração da estrutura, com o aparecimento de sinais visíveis, como produtos de corrosão da armadura, desagregação do concreto, fissuras, entre outros.

As pontes devem ter o máximo de vida útil possível, “um dever que os engenheiros têm de cumprir para com os contribuintes”, afirmou o engenheiro José Câncio Martins². Mesmo que não seja possível garantir a duração de uma ponte, embora “nos cadernos de encargos se fixe, por vezes, um tempo de vida para as pontes”, a sua perenidade, segundo Câncio Martins, “depende da qualidade da concepção e pormenorização do projeto, das condições ambientais (e do grau de agressividade do ambiente), da qualidade da execução e manutenção efetiva” (SIQUEIRA, 2004).

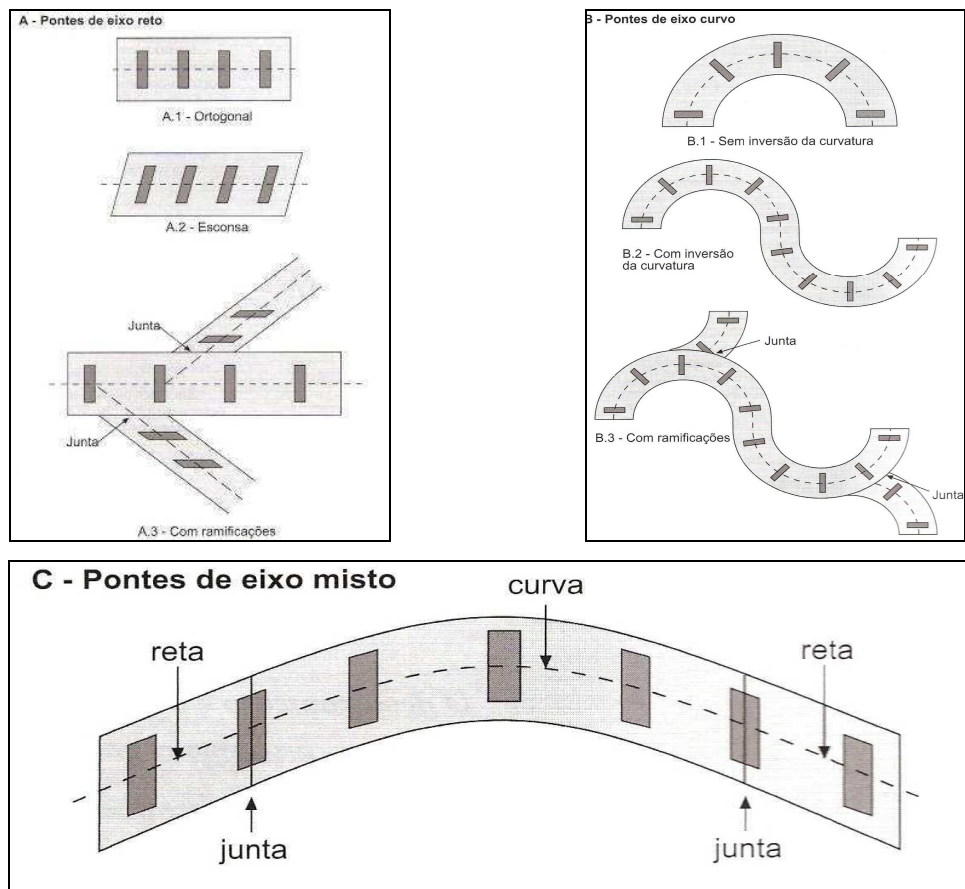
O código modelo do *Comite Euro-International Du Beton – Federation Internationale de La Precontrainte*, MC-90 do CEB-FIP, recomenda que o período de vida útil das estruturas deve atingir um valor mínimo de cinquenta anos, desde que as estruturas sejam projetadas, executadas e mantidas conforme requisitos preconizados. No caso de estruturas especiais, pode-se requerer um período de vida mais longo, como, por exemplo, cem anos, ou mais curto, vinte e cinco anos ou menos, em função da importância da edificação ou do tipo de exposição a que estará submetida (MAZER; WICZICK, 2008).

Para as pontes e outras obras de caráter permanente, poderão ser adotados períodos de 50, 75 ou até mais de cem anos conforme recomendado pelas normas internacionais. A norma inglesa BS 7543 recomenda que a vida útil de projeto para as pontes deve ser igual ou maior que 120 anos e o Comitê Europeu de Normalização recomenda vida útil igual ou maior que cem anos (HELENE, 2003).

² José Câncio Martins é um engenheiro civil de Portugal, que se distinguiu na área de engenharia civil, concepção e construção de pontes; foi fundador da J. L. Câncio Martins Projetos de Estruturas. Ganhou a ordem do Mérito Grande-oficial da Presidência da República Portuguesa em 2006. Foi um antigo estudante do Instituto Superior Técnico. Professor Catedrático convidado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Foi o vencedor do Prêmio Secil de 1995 com o projeto da Nova Ponte Macau-Taipa. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Jos%C3%A9_C%C3%A2ncio_Martins>. Acesso em: fev. 2010.

2.4.4 Segundo o desenvolvimento planimétrico

A projeção do eixo da ponte em um plano horizontal (planta) pode se apresentar da seguinte forma: pontes de eixo reto, pontes de eixo curvo, pontes de eixo misto. Segundo Freitas (2001), para atender aos traçados das estradas e às correspondentes exigências do tráfego, o eixo das pontes pode apresentar um desenvolvimento em curva ou ocorrer em ramificações nos respectivos tabuleiros, tornando mais complexa a solução do problema da distribuição das diferentes ações horizontais que ocorrem, conforme ilustra a Fig. 9.

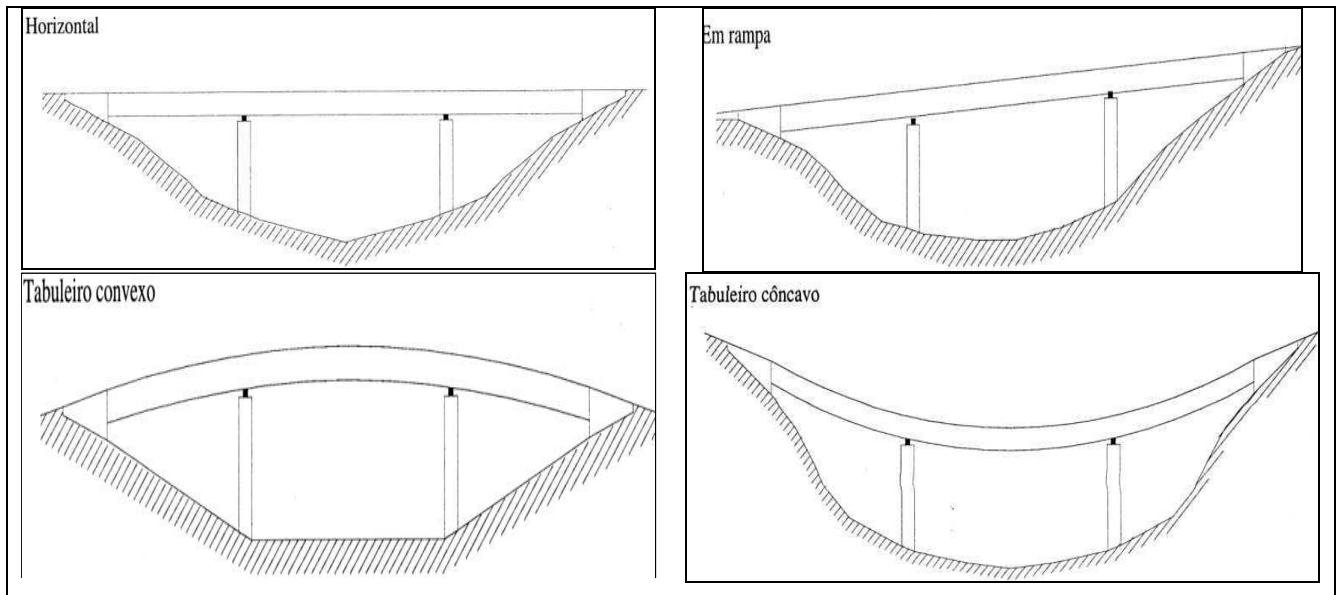


Fonte: Freitas (2001, p. 2)

FIGURA 9 – Pontes de eixo misto

2.4.5 Segundo o desenvolvimento altimétrico

Pelo critério de projeção do eixo da ponte em plano vertical (elevação), as pontes podem se apresentar da seguinte forma: pontes retas: horizontais ou em rampa; pontes curvilíneas: convexas ou côncavas (Fig. 10).



Fonte: Debs e Takeya (2003, apud SARTORTI, 2008, p. 11)

FIGURA 10 – Classificação das pontes segundo a altimetria

2.4.6 Segundo o material da superestrutura

Para a construção de pontes são utilizados diversos tipos de materiais. A escolha do material apropriado para cada item da construção é a maior responsabilidade do engenheiro projetista de pontes, que deve fazê-lo fundamentado em informações seguras, como, por exemplo, a adequação do sistema estrutural ao relevo do terreno e características do solo, conhecimento do processo de fabricação e montagem, entre outras informações. Não pode ser excluído dessa soma de conhecimento o ponto de vista estético, por ser a ponte uma obra de grande influência na paisagem que se apresenta (PINHO, 2007).

O material das pontes segundo a superestrutura pode se apresentar da forma descrita na sequência.

2.4.6.1 Pontes de madeira

A madeira é considerada um dos materiais de construção mais antigos dada a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio. Comparada a outros materiais de construção convencionais utilizados atualmente, a madeira apresenta uma excelente relação resistência/peso (PFEIL; PFEIL, 2003).

De acordo com os ensinamentos de Stucchi (2006), a grande vantagem da madeira está na economia quando está disponível, próximo da obra, em qualidade e quantidade aceitáveis. Porém, as desvantagens ficam por conta de dificuldades como durabilidade e resistência ao fogo (bastante diminuídas com os tratamentos modernos), anisotropia e grande variabilidade (reduzidas com as técnicas modernas de construção com pedaços pequenos e classificados de madeira).

Segundo Stucchi (2006, p. 49), a anisotropia e desuniformidade caracterizam-se principalmente por:

- Diferença de resistência e rigidez da direção das fibras para a direção normal a elas (resistência cinco vezes menor e rigidez dez vezes menor na normal às fibras);
- Variação das características do eixo para a periferia do tronco (o cerne, próximo do eixo, é muito melhor que o albume, próximo da casca);
- Defeitos da madeira: nós, fendas, furos, curvatura das fibras, entre outras.

As madeiras utilizadas nas pontes podem ser classificadas em maciças (bruta ou roliça, falquejadas e serradas) e industrializadas (compensada, laminada e colada e recomposta) (PFEIL; PFEIL, 2003).

2.4.6.2 Pontes de concreto armado

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão oficial brasileiro responsável por elaborar e editar os regulamentos técnicos quando da elaboração de pontes rodoviárias em concreto armado. Para isso, as principais normas que devem ser consultadas são:

- NBR 7187 (2003) da ABNT: Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido;
- NBR 7188 (1984) da ABNT: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- NBR 6118 (2003) da ABNT: Projeto e execução de obras de concreto armado.

O concreto utilizado na construção das obras de arte especial (pontes) deve ser medido e controlado conforme indicações da NBR 6118 (2003) da ABNT e no Manual de Construção de Obras de Arte Especiais do DNER, devendo o projeto especificar a resistência e características mínimas necessárias para atender a todas as fases de solicitações e nas idades previstas para sua ocorrência.

Conforme Stucchi (2006, p. 39), os concretos comumente utilizados nas pontes são:

- Concreto armado (f_{ck} 20 a 25 MPa);
- Concreto protendido (f_{ck} 25 a 40 MPa);
- Concreto leve ($\gamma = 1,5 \text{ tf/m}^3 \ll 2,5 \text{ tf/m}^3$);
- Concreto de alta resistência (f_{ck} 40 a 100MPa)

Todos os métodos construtivos se aplicam bem às obras de concreto. As grandes vantagens do concreto são a durabilidade (porém, manutenção é sempre necessária), a resistência ao fogo e à compressão e a liberdade de escolha da forma. As desvantagens são a falta de resistência à tração, a retração e a fluência (STUCCHI, 2006).

2.4.6.3 Pontes de concreto protendido

A deficiente resistência à tração do concreto levou a que, desde o início, se pensasse em colocar sob compressão as zonas tracionadas das estruturas de concreto por meio de uma protensão, de tal modo que os esforços de tração tenham, em primeiro lugar, de anular essas tensões de compressão antes que surjam tensões no concreto.

De acordo com Leonhardt (2007), as vantagens peculiares ao concreto protendido são:

- Em virtude do emprego de materiais de resistência elevadas (tanto o aço como o concreto), o concreto protendido permite vãos maiores e estruturas mais esbeltas, de menor peso próprio do que as de concreto armado;
- A protensão melhora a capacidade de utilização, impedindo que as fissuras se desenvolvam no concreto ou, pelo menos, permite que as aberturas de fissuras possam ser limitadas com segurança a um valor não prejudicial, o que aumenta a durabilidade;
- As estruturas de concreto protendido apresentam elevada resistência à fadiga, porque a amplitude de oscilações das tensões no aço – mesmo no caso de

protensão parcial – permanece pequena e, com isso, muito abaixo da resistência à fadiga;

- As estruturas de concreto protendido podem suportar consideráveis excessos de carga sem danos remanescentes. As fissuras que surgem por ocasião do excesso de carga voltam a se fechar por completo, desde que as tensões no aço permaneçam abaixo do limite de 0,01%.

2.4.6.4 Pontes em aço

As pontes de aço podem ser consideradas como obras duráveis, sendo as ações que mais as degradam a corrosão e a fadiga. Porém, em virtude da facilidade de realizar trabalhos de conservação, de reparação e de reforço, tais obras acabam por ser bastante duráveis. Percebe-se que neste tipo de ponte as obras de conservação e reforço são mais fáceis e econômicas de realizar em relação aos outros tipos.

Bauer (1994) verificou que existem muitas pontes de aço que estão a ultrapassar os cem anos de serviço com satisfatório comportamento, feitas com os novos tipos de aços pouco corrosíveis. Com as modernas técnicas de soldagem, que eliminam os rebites e parafusos, a vida futura dessas novas pontes excederá largamente o tempo de serviço das atuais pontes metálicas.

2.4.6.5 Mistas

A ponte mista é a junção de dois ou mais materiais. A construção de estrutura com dois ou mais materiais, compondo seções mistas, é uma prática que vem sendo cada vez mais difundida na construção civil.

A utilização de elementos estruturais fletidos com seções compostas é comum em estruturas de aço ou madeira, adicionando resistência e rigidez às peças resultantes. O que chama a atenção é a combinação de diferentes materiais formando seções mistas, possibilitando a utilização das principais características e propriedades mecânicas de cada material, em posições que melhor poderão contribuir para a resistência, rigidez e durabilidade do conjunto. “Seções compostas de madeira-madeira; aço-madeira ou concreto-madeira,

exigem a presença de conectores que fazem a ligação entre estes elementos.” (PIGOZZO, 2004, p. 17).

De acordo com Moraes (2007), um exemplo deste tipo de estrutura, na qual há a otimização do uso estrutural das matérias, é a composição de seções transversais, em que o concreto seja responsável por absorver os esforços de compressão e a madeira ou o aço, os esforços de tração. Todavia, para garantir o funcionamento conjunto dos materiais constituintes da seção é imprescindível que haja um sistema de conexão capaz de transmitir os esforços entre eles. Destaca-se nas pontes estudadas a utilização do concreto armado e de madeira bruta.

Moliterno (1989) afirma que não existe vantagem na preferência de se revestir o soalho das pontes de madeira com concreto: primeiramente, em razão da elevada fissuração que deverá sofrer a camada de concreto, levada à desagregação pela vibração do tráfego; segundo, pela carga morta, elevada e inútil que se acrescenta à ponte.

2.4.7 Segundo o tipo construtivo da superestrutura

Marchetti (2008) classifica as pontes segundo o tipo construtivo da superestrutura.

2.4.7.1 In loco

A superestrutura *in loco* é executada no próprio local da ponte, na posição definitiva, sobre escoramentos apropriados (cimbramentos, treliças), apoiando-se diretamente nos pilares.

Segundo Leonhardt (1979), a classificação dos processos de construção com concreto moldado no lugar (*in situ*) são as formas sobre escoramentos fixos, sendo o processo mais antigo, que consiste em executar as formas sobre um escoramento, nas quais o concreto é “fundido” ou lançado no local. Nas formas sobre escoramentos deslizantes, os escoramentos tornam-se vantajosos quando for preciso executar mais do que três vãos de uma ponte com a mesma seção transversal.

2.4.7.2 Pré-Moldadas

A conceituação de concreto pré-moldado corresponde ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização na construção (EL DEBS, 2000).

Os elementos da superestrutura são executados fora do local definitivo (na própria obra, em canteiro apropriado ou em usina distante) e, em seguida, transportados e montados no local previsto. Este processo construtivo é muito usual em pontes de concreto protendido, principalmente quando houver muita repetição de vigas principais. Ademais, a pré-moldagem da superestrutura, de forma generalizada, não é completa (são pré-moldados quase sempre apenas os elementos do sistema principal, vigas principais), pois o restante da superestrutura deve ser executado no local exato (*in loco*) (MARCHETTI, 2008).

Salienta-se que a aplicação do concreto pré-moldado nas pontes concentra-se na superestrutura, podendo ser empregadas duas formas básicas de divisão em elementos pré-moldados: com elementos na direção do eixo da ponte e com elementos dispostos na direção transversal ao eixo da ponte. Na primeira forma de divisão, os elementos pré-moldados cobrem o vão ou os vãos da ponte. A segunda forma pode ser dividida em três variantes: a) balanços sucessivos com aduelas pré-moldadas; b) apoiando as aduelas pré-moldadas em estruturas provisórias, em geral metálicas fixadas nos apoios da ponte; c) por meio de deslocamentos progressivos (EL DEBS, 2000).

El Debs (2000) ainda considera que as pontes de pequenos vãos devem se submeter a um tratamento diferenciado, não levando em consideração apenas a questão de ocorrerem em maior número, porém por empregar pré-moldados de fábricas. Destaca-se que levantamentos feitos nos Estados Unidos indicam que essa faixa reúne 90% das pontes existentes, das quais dois terços situam-se abaixo dos 18 m.

2.4.7.3 Balanços sucessivos

Nos balanços sucessivos, a ponte tem sua superestrutura executada progressivamente a partir dos pilares já construídos. Toda a parte nova da superestrutura apoia-se em balanço na parte já executada. Verifica-se que a principal vantagem deste processo construtivo é a

eliminação completa dos escoramentos intermediários. Trata-se de uma execução *in loco*, porém com características especiais (MARCHETTI, 2008).

Em conformidade com os conhecimentos de Leonhardt (1979), o processo de execução em balanços sucessivos com concreto moldado no lugar, desenvolvido por U. Finsterwalder, tem demonstrado ser um processo fértil e de muitas facetas para a execução de grandes vãos. O princípio da execução consiste de um escoramento e formas executadas em balanço; concretiza-se a cada três dias, aproximadamente, um trecho de 3 a 5 m de extensão. O balanço, via de regra, é contrabalançado pelo avanço simultâneo dos vãos vizinhos. A estabilidade do processo executivo exige um engastamento garantido do balanço no pilar de partida ou através de apoios temporários sobre as fundações daqueles pilares. Dessa maneira já foram vencidos vãos de até 240 m (Hamana, Japão) de extensão.

2.4.7.4 Aduelas ou segmentos

Aduelas ou segmentos trata-se de um processo construtivo similar ao dos balanços sucessivos, permitindo eliminar o cimbramento, sendo também utilizado em obras de concreto protendido. Todavia, difere do processo anterior visto que as partes sucessivas colocadas em balanço e apoiadas no trecho já construído são pré-moldadas.

Segundo Mendes (2003), os segmentos pré-moldados em balanços sucessivos constituem um processo que apresenta ampla aceitação, praticamente em todos os países, para pontes longas dispostas sobre rios, mares, baías e estreitos. Lembra-se que este foi o sistema empregado na construção da ponte Rio-Niterói.

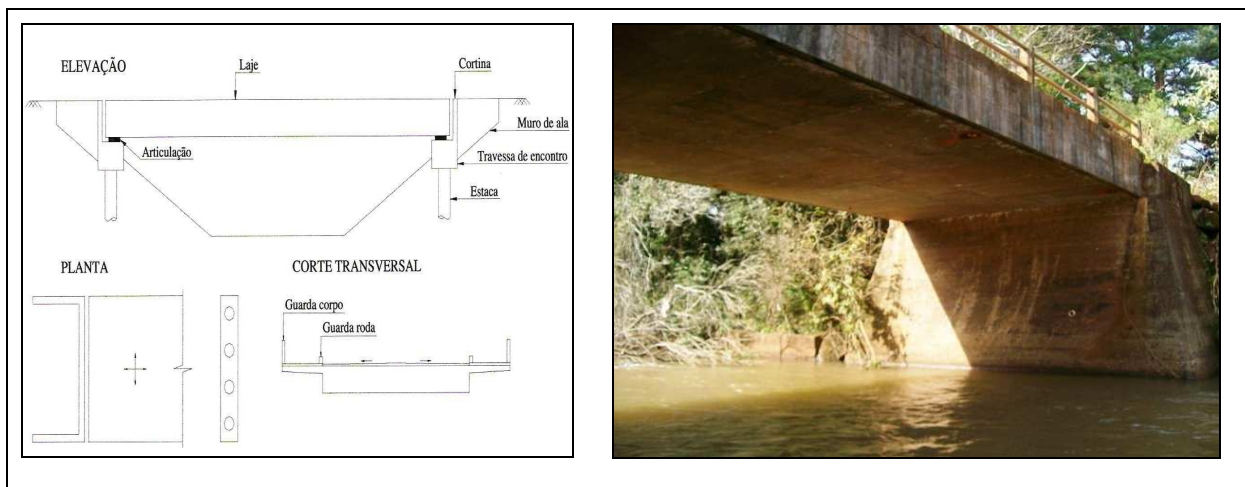
2.5 MODELOS ESTRUTURAIS EMPREGADOS EM PONTES RODOVIÁRIAS

Pfeil (1990) classifica os modelos estruturais empregados em pontes rodoviárias em laje; vigas retas; pontes em quadro; treliça; quadros rígidos, arcos ou abóbadas e pênseis ou suspensas.

2.5.1 Pontes em laje

Para Mattos (2001), as pontes em laje apresentam a seção transversal desprovida de qualquer viga, podendo ter um sistema estrutural simplesmente apoiado ou contínuo. Este sistema estrutural apresenta certas vantagens, como pequena altura de construção, boa resistência à torção e rapidez de execução, com características estéticas. Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados, sendo simples os detalhes de formas e das armaduras e concretagem.

As soluções de pontes em laje (Fig. 11 b) podem ser de concreto armado ou protendido, com a relação entre a espessura da laje e o vão variando de 1/15 a 1/20 para concreto armado e até 1/30 para concreto protendido. Quando os vãos são muito grandes e o peso próprio é muito alto, costuma-se adotar a solução da seção transversal em laje alveolada, na qual os vazios podem ser conseguidos com formas perdidas, por meio de tubos ou perfisados retangulares de compensado ou de plástico (MASON, 1977).



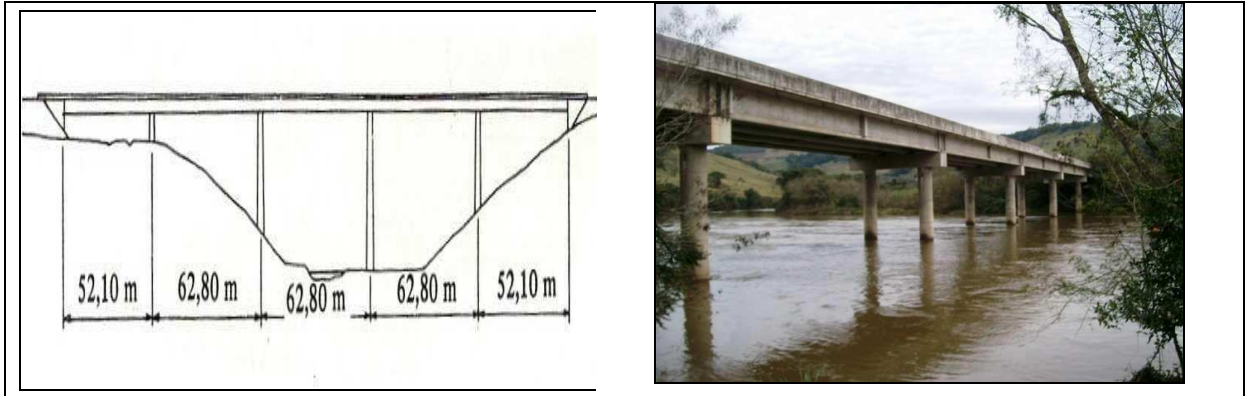
Fonte: Stucchi (2006, p. 11)

FIGURA 11 (a) – Esquemas de pontes em laje

FIGURA 11 (b) – Pontes em laje

2.5.2 Ponte em viga

As pontes em viga podem se apresentar em vigas isostáticas ou hiperestáticas de seção constante ou variável (Fig. 12 b). As vigas podem ainda ter seção em forma retangular, T, L invertido ou caixão; pontes metálicas possuem comumente vigas em forma de I e pontes de madeira, em formato circular (madeira roliça) (SARTORTI, 2008).



Fonte: O'Connor (1976, p. 288)

FIGURA 12 (a) – Esquema de ponte em viga

FIGURA 12 (b) – Ponte em viga

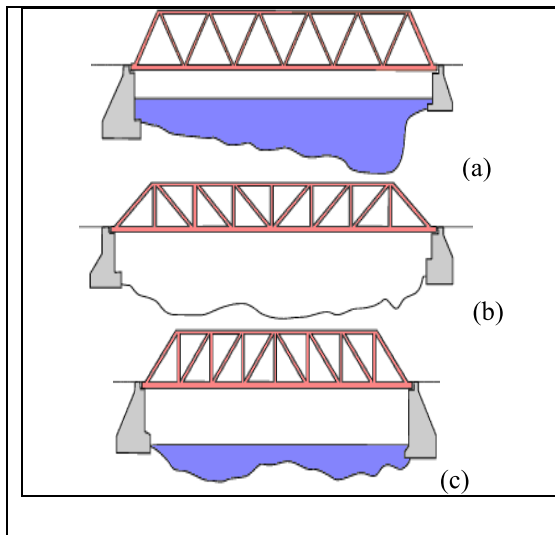
O sistema estrutural de pontes em viga conta com vigamentos suportando o tabuleiro. As vigas principais são denominadas de longarinas e normalmente são introduzidas transversinas para aumentar a rigidez do conjunto. Quando a seção transversal é feita com vigas sem laje inferior, podem-se adotar transversinas intermediárias, além das transversinas de apoio; quando a seção transversal é feita em caixão celular, não é necessário haver transversinas intermediárias em razão da grande rigidez à torção do conjunto. Se a obra não termina em encontros, a transversina extrema possui características particulares, substituindo-se o encontro na função de absorver os empuxos dos aterros de acesso, normalmente denominada de “cortina” (MATTOS, 2001).

2.5.3 Ponte em treliça

Nas pontes em treliça, o tabuleiro com a pista de rolamento pode estar na parte superior ou inferior da treliça. Este tipo de ponte é habitualmente construído de aço e de madeira, possuindo a característica de ser uma estrutura leve e de rápida execução. Entretanto, podem se tornar estruturas complexas e de grande porte, apesar de leves.

Uma treliça de ponte apresenta duas principais vantagens estruturais: a) as solicitações dos elementos são forças axiais; b) o sistema de alma aberta permite o uso de uma altura total maior do que no caso de uma viga de alma cheia equivalente. Esses fatores levam à economia em material e à redução da carga permanente. A altura aumentada conduz também a deformações reduzidas, isto é, a uma estrutura mais rígida (O'CONNOR, 1975).

O' Connor (1975) ainda descreve que as treliças são classificadas pela disposição de suas hastes, sendo as formas mais representativas a treliça Warren (Fig. 13 a), a treliça Pratt (Figura 13 b) e a treliça Howe (Fig. 13 c). A treliça Warren é a forma mais simples, normalmente utilizada para vãos entre 50 e 100 m de comprimento. Por sua vez, a treliça Pratt é considerada vantajosa em estruturas metálicas devido aos montantes, que são os elementos mais curtos da alma; contudo, tal vantagem é anulada em parte pelo fato de o banzo central comprimido ser mais fortemente carregado que o central tracionado. Por fim, a treliça Howe, patenteada por William Howe em 1840, apresentou a inovação de associar hastes de aço verticais com elementos diagonais de madeira.



Fonte: Mattos (2001, p. 31)

FIGURA 13 (a; b ; c) – Esquemas em treliças



Fonte: Mattos (2001, p. 31)

FIGURA 13 (d) – Ponte em treliças

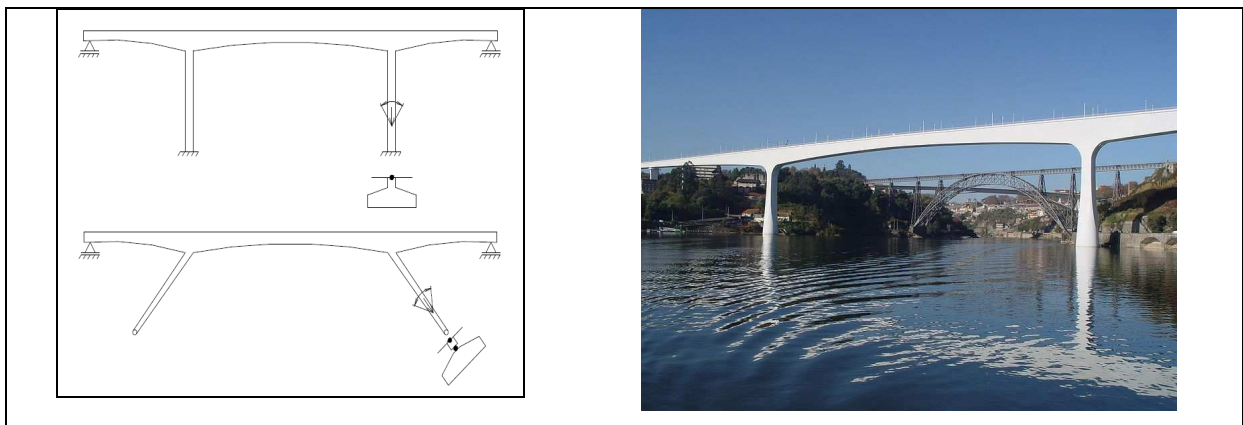
2.5.4 Pontes em quadro (ponte em pórtico)

As estruturas em pórtico caracterizam-se pela monoliticidade das meso e superestruturas. Esta solução estrutural seria usada com maior frequência não fossem as dificuldades adicionais de cálculo e detalhamento, atualmente inteiramente superadas pelos processos computacionais disponíveis (DNER, 1996).

Nas pontes em quadro (pontes em pórtico) a superestrutura e a mesoestrutura estão monoliticamente ligadas, eliminando-se o uso de aparelhos de apoio. São convenientes no caso em que há pilares esbeltos, onde existe a necessidade da redução do comprimento de flambagem (o pilar biengastado tem menor comprimento de flambagem), ou quando se almeja

ter manutenção mínima, uma vez que inexistem articulações e aparelhos de apoio (MATTOS, 2001).

Segundo Pfeil (1990) e Lencioni (2005), as estruturas das pontes podem ser aporticadas nas direções longitudinal e transversal, ou em ambas as direções, ficando limitadas a vãos na ordem de 30 m a 40 m. Este sistema é aquele em que as vigas do tabuleiro são contínuas com os pilares. Esta solução é utilizada para diminuir os vãos da viga reta (Fig. 14 b).



Fonte: Stucchi (2006, p. 21)

Fonte: <tp://wikipedia.org/wiki/ Ponte_S._Joao_-_Porto.JPG>

FIGURA 14 (a) – Esquemas de ponte em pórtico

FIGURA 14 (b) – Pontes em pórtico

2.5.5 Pontes em arco e em abóbodas

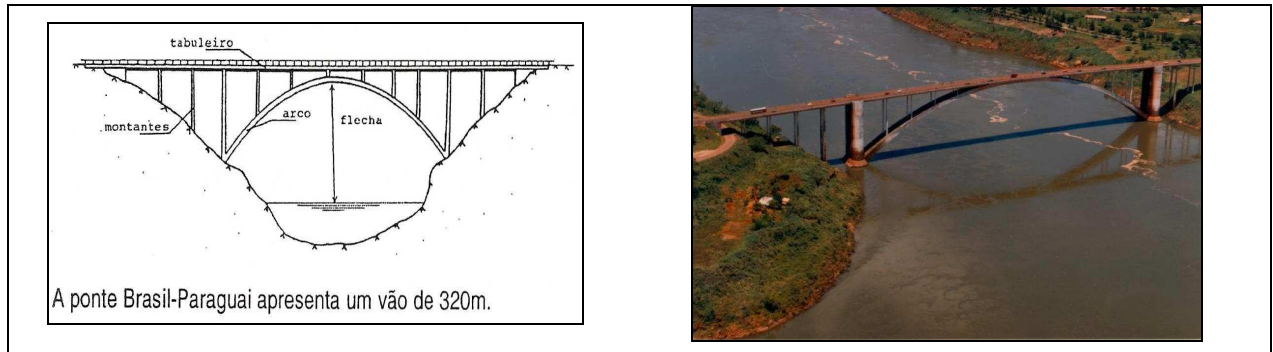
As estruturas em arco permitem o emprego do concreto armado convencional em grandes vãos, com pequeno consumo de material. O eixo do arco pode ser projetado em coincidência com a linha de pressões devidas à carga permanente, aproveitando, assim, a boa resistência a esforços de compressão proporcionada pelo concreto (DNER, 1996).

Em se tratando de materiais maciços, a estrutura em arco é o sistema estrutural mais antigo do mundo, uma vez que constituiu no passado a única solução para vencer grandes vãos, principalmente em vales profundos e em regiões montanhosas (MENDES, 2003).

Nas pontes com tabuleiro superior, os elementos de apoio do tabuleiro sobre o arco são denominados “tímpanos”. Nas pontes antigas, os tímpanos eram geralmente cheios. São constituídos de material de enchimento (terra, pedra ou concreto magro), contidos pelas paredes laterais. Como os tímpanos cheios aumentam o peso próprio da obra, os construtores

passaram a adotar tímpanos vazados, constituídos por pilares ou paredes de concreto armado. Os tímpanos podem ser vazados na direção longitudinal e na direção transversal. Nas pontes com tabuleiro inferior, o tabuleiro é suspenso nos arcos por meio de tirantes ou pendurais (PFEIL, 1990; LENCIONI, 2005).

Nessas estruturas os esforços predominantes são normais de compressão, agindo, simultaneamente ou não, com momentos fletores, como ilustra a Fig. 15 b.



Fonte: Mendes (2003, p. 64)

FIGURA 15 (a) – Esquema ponte em arco

Fonte: <<http://www.transportes.gov.br/bit/pontes/pt/htm>>

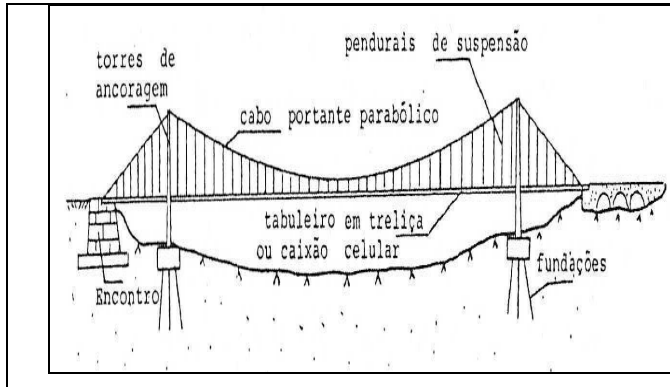
FIGURA 15 (b) – Ponte em arco

Os maiores arcos existentes têm vãos da ordem de 300 m, ligeiramente superiores aos vãos alcançados por estruturas celulares construídas em balanços sucessivos, que alcançam cerca de 250 m (DNER, 1996).

2.5.6 Pontes pênsil e estaiada

a) Pontes suspensas ou pênséis

As pontes suspensas ou pênséis (Fig. 16 b) tiveram seu início com travessias de cipó e cordas usadas por astecas e incas na América do Sul, bem como pelos povos do Japão, China, Índia e Tibet (DNER, 1996; SARTORTI, 2008). Solicitadas predominantemente por esforço normal de tração, estas estruturas superam facilmente vãos maiores que 1000 m.



Fonte: Mendes (2003, p. 67)

FIGURA 16 (a) – Esquema de pontes suspensas ou pênséis



Fonte: <http://www.guiafloripa.com.br/>

FIGURA 16 (b) – Pontes suspensas ou pênséis

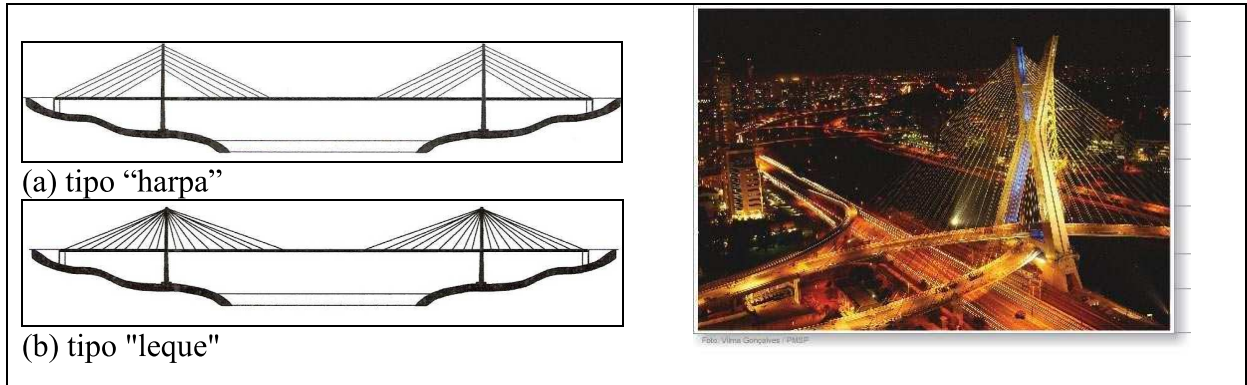
As pontes pênséis apresentam-se com um sistema estrutural onde o tabuleiro contínuo é sustentado por diversos cabos metálicos atirantados ligados a dois cabos maiores, que, por sua vez, ligam-se às torres de sustentação. A transferência das principais cargas às torres e às ancoragens em forma de pendurais é feita simplesmente por esforços de tração (MENDES, 2003).

b) Pontes estaiadas

As estruturas estaiadas são, principalmente, aplicáveis a grandes vãos, com vantagens técnicas, econômicas e estéticas. As pontes estaiadas têm sido utilizadas com frequência acentuada a partir da década de 1950 (DNER, 1996).

As estruturas estaiadas atualmente exigem alta qualidade, tanto tecnológica quanto de materiais, particularmente nos estais, que são os elementos mais críticos nesta tipologia de estruturas. Durante os últimos anos, as características quanto à resistência e durabilidade das cordoalhas existentes foram continuamente aperfeiçoadas, permitindo projetos de estruturas estaiadas muito mais avançados (BOURNAND; PALOS; SCHMID, 2006).

Existem dois tipos básicos de pontes estaiadas: tipo "harpa" (Fig. 17 'a'), em que os cabos correm paralelos, ou quase, a partir do mastro, de modo que a altura de fixação do cabo ao mastro é proporcional da distância entre o mastro e o ponto de fixação deste cabo ao tabuleiro; tipo "leque" (Fig. 17 b), na qual os cabos se conectam ou passam pelo topo do mastro.



Fonte: DNER (1996, p. 144)

Figura 17 (a; b) – Esquemas de pontes estaiadas

Fonte: <<http://www.spturis.com/ponte/pagina.php?>>

Figura 17 (c) - Pontes estaiadas

3 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

3.1 INTRODUÇÃO

Patologia vem a ser a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das obras civis. Em alguns casos tão somente com a visualização é possível estabelecer o diagnóstico das patologias. Em outros, porém, o problema é complexo, sendo necessário verificar o projeto; investigar as cargas a que foi submetida a estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta patologia reage diante de determinados estímulos (FERNÁNDEZ CÁNOVAS, 1988).

Machado (2002) destaca que o objetivo principal da patologia das estruturas é encontrar explicações técnicas e científicas para as anomalias encontradas no comportamento das estruturas. Isso pode ocorrer durante a sua construção, em sua fase de serviço, para que se determinem as suas consequências em relação à segurança e à confiabilidade da obra, permitindo que se tome uma decisão correta e segura quanto à utilização posterior das estruturas em análise. Levando-se em conta sua duração residual, o objetivo da patologia das estruturas busca definir a conveniência da recuperação, do reforço ou mesmo da demolição pura e simples dos elementos ou da estrutura danificada.

Para que seja completo o diagnóstico das patologias, Machado (2002, p. 5) afirma que é necessário abordar e esclarecer “as manifestações patológicas; os vícios construtivos; as origens dos problemas; os agentes causadores dos problemas; o prognóstico para a terapia, os erros de projeto”.

É fato que um diagnóstico adequado será aquele que possibilite esclarecer todos os aspectos do problema, tais como sintomas, mecanismos, origem, causas, consequências e intervenção, terapia, procedimentos. Cada um desses problemas será tratado individualmente a seguir.

3.1.1 Sintomas

O sintoma analisa os fenômenos que são as manifestações das doenças. Com o aparecimento de um efeito atípico, as estruturas reagem com diferentes sinais externos, permitindo conhecer a enfermidade que está afetando a estrutura (FERNÁNDES CÁNOVAS, 1988).

Destaca-se que os sintomas comuns, de maior acometimento no concreto, são as “fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão da armadura, os defeitos de aterro e compactação e problemas devido à segregação dos componentes do concreto” (HELENE; PEREIRA, 2007, p. 20). Generalizando, as manifestações patológicas apresentam-se de maneira bastante característica e segundo uma incidência bem estabelecida estatisticamente.

Conhecendo as manifestações, é possível o estabelecimento da natureza e das origens dos problemas, bem como das futuras consequências. Machado (2002) enumera as principais manifestações patológicas (Quadro 5), em ordem crescente de ocorrência estatística:

Manifestações Patológicas	Ocorrência %
Deterioração e degradação química da construção	7%
Deformações (flechas e rotações) excessivas	10%
Segregação dos materiais componentes do concreto	20%
Corrosão das armaduras do concreto armado	20%
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	21%
Manchas na superfície do concreto armado	22%

Fonte: Machado (2002, p. 06)

Quadro 5 – Manifestações patológicas

Adverte Fernândes Cánovas (1988) que, no caso das estruturas de concreto armado, a fissuração é um dos mais importantes sintomas patológicos. No entendimento de Souza (1998), as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo o dano de ocorrência mais comum aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está para acontecer.

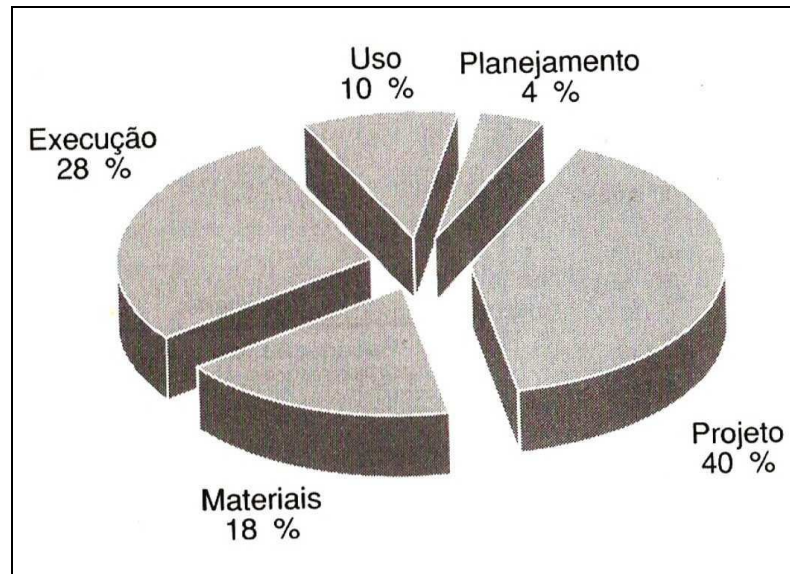
3.1.2 Mecanismos

Conhecer o mecanismo do problema é indispensável para um tratamento adequado da patologia. Helene (1992), fundamentado em seus conhecimentos, ensina que todo o problema patológico, conhecido na linguagem jurídica por “vício oculto”, “vício de construção”, ou “dano oculto”, ocorre por meio de um processo, de um mecanismo. Exemplificando: a corrosão da armadura no concreto armado é um fenômeno de natureza eletroquímica, que pode ser acelerado pela presença de agentes agressivos externos, do ambiente, ou internos, incorporados no concreto. Para que a corrosão se manifeste “é necessário que haja oxigênio (ar), umidade (água) e o estabelecimento de uma célula de corrosão eletroquímica (heterogeneidade da estrutura), que só ocorre após a despassivação da armadura” (HELENE, 1992, p. 20).

3.1.3 Origem

As etapas de planejamento, projeto, fabricação e construção comumente se manifestam em períodos curtos (inferiores a dois anos), contudo a fase de utilização pode se estender por muitos anos. Por conta disso, é muito importante a determinação da etapa que ensejou o aparecimento do vício construtivo, até mesmo para a fixação de responsabilidades civis (MACHADO, 2002).

Helene e Pereira (2007) afirmam que os processos de construção e uso podem ser divididos em até cinco etapas, sendo elas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e elementos fora da obra, execução propriamente dita e uso. Um elevado índice de manifestações patológicas tem origem nas etapas de planejamento e projeto, conforme mostra a Fig. 18. As falhas de planejamento e projetos são, em geral, mais sérias que as falhas da qualidade dos materiais e de má execução. Por isso, o indicado é investir mais tempo em fazer projetos mais detalhados e completos.



Fonte: Helene (1992, p. 22).

FIGURA 18 – Etapas de processo de construção

Comumente, todos os problemas patológicos são originalmente decorrentes do que se designa de “vício construtivo”. Desse modo, segundo Machado (2002), os problemas patológicos são decorrentes dos vícios construtivos incorporados ao processo em alguma ou em várias das seguintes etapas de construção:

- Durante a fase de planejamento da obra;
- Durante a fase de fabricação dos materiais que compõem a construção;
- Durante a fase de construção propriamente dita, em que são incorporados os diversos materiais e processos;
- Durante a fase de utilização da construção.

O surgimento de problema patológico, de maneira geral, aponta a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção. Souza e Ripper (1998) chamam a atenção para um aspecto interessante nesta questão, que tem sido o desejo de se procurar definir a atividade que tem sido responsável, ao longo dos tempos, pela maior quantidade de erros. Porém, podem ser várias as causas para a ocorrência de problemas patológicos.

3.1.4 Causas

São bastante diversificados os agentes causadores dos problemas patológicos nas construções. Machado (2002) enumera as principais causas:

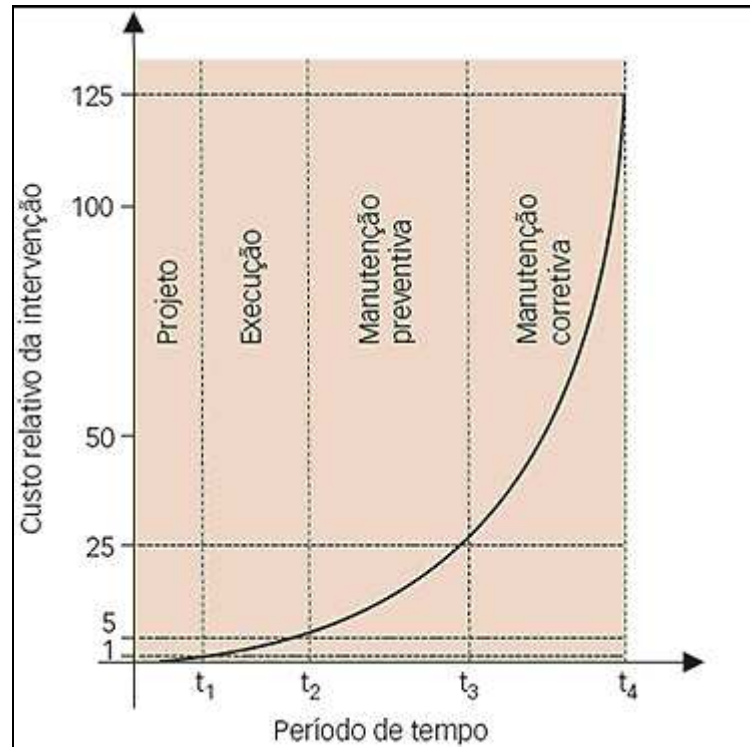
- Deficiência dos projetos relativamente à determinação das cargas atuantes, estabelecimento incorreto das dimensões necessárias e especificações inadequadas de materiais e processos;
- Ações térmicas internas (gradientes térmicos originados pelo calor de hidratação) e externas (variação sazonal de temperatura) atuando nas estruturas de concreto armado;
- Agentes químicos e biológicos diversos;
- Intemperismo, tais como variação de umidade, agentes atmosféricos diversos, agressões ambientais, entre outros.
- Utilização inadequada da construção (alteração da destinação, acréscimo das solicitações).

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (2004) registra que as causas da fissuração nas pontes de concreto armado podem ser variadas e nem sempre de fácil identificação, porém as mesmas causas produzem idênticos padrões de fissuras, o que facilita bastante a tarefa do inspetor.

3.1.5 Consequências e intervenção

Para se obter um adequado diagnóstico fazem-se necessárias algumas ponderações sobre as consequências do problema e o comportamento geral da estrutura. De maneira geral, costuma-se separar as considerações em dois tipos: “a) as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) b) e as que compõem as condições de higiene, estética, ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da obra (associadas ao estado limite de utilização)” (HELENE; PEREIRA, 2007, p. 22).

De maneira geral, os problemas patológicos evoluem e acabam se agravando com o tempo, além de envolver outros problemas associados ao problema inicial. Pode-se afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais econômicas quanto menor for o tempo para a execução da intervenção. Como demonstração significativa, cita-se a “lei de Sitter” (Fig. 19), que prevê os custos crescentes segundo uma progressão geométrica na razão de cinco.



Fonte: Helene (1992, p. 24)

FIGURA 19 - Lei de evolução de custos de Sitter (SITTER, 1984)

3.1.6 Terapia

As medidas de terapia para correção dos problemas das estruturas de pontes em concreto armado e madeira podem incluir pequenos reparos localizados até uma recuperação generalizada da estrutura ou reforço de fundações, pilares, vigas e tabuleiros.

A reparação das estruturas é uma atividade considerada normal na indústria da construção civil. A necessidade de recuperar uma estrutura existente advém, geralmente, do fraco desempenho da mesma, comparativamente às expectativas para as quais foi concebida. Por isso, a identificação da(s) causa(s) do processo patológico que levou(ram) à degradação das estruturas será continuamente um fator principal para a prescrição das mais adequadas metodologias de reparação (CUNHA; SOUZA; LIMA, 1998).

3.1.7 Procedimentos

Existem vastas bibliografias referentes a reparos e reforços de estruturas, assim como uma ampla oferta de materiais e sistemas. Em contrapartida, a experiência científica

acumulada não é muito grande; por isso, e em certas ocasiões ocorre uma falha precoce do reparo, que poderia ser evitada com estudos mais cuidadosos da situação. Em outras ocasiões a falha é inevitável em razão da exígua experiência disponível sobre o comportamento dos materiais e sistemas de reparo, principalmente a longa duração (ANDRADE PERDRIX, 1992).

A opção por um método ou sistema de reparo específico para uma situação vai depender de uma série de variáveis, nas quais intervêm fatores tais como a possibilidade de acesso à zona a ser reparada, fatores econômicos e aqueles meramente técnicos.

3.2 AÇÕES E MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As estruturas de concreto são projetadas e executadas para manter condições mínimas de segurança, estabilidade e funcionalidade durante um tempo de vida útil, sem custos de manutenção e de reparos (GENTIL, 2003).

Verçozza (1991) afirma que o concreto é um material de construção de grande e diversificado uso; por essa razão, sua durabilidade é fator essencial na avaliação de um projeto. Há diversos fatores que podem danificar ou destruir o concreto armado, o que torna difícil classificá-los em grupos. De fato, há agentes que só atacam o concreto, há os que só atacam a armadura e os que danificam ambos. Contudo, também poderiam ser classificados em agentes químicos, físicos, biológicos e mecânicos. Outra divisão seria em agentes intrínsecos e extrínsecos.

As estruturas de concreto, quando localizadas em meios favoráveis à sua agressão, têm possibilidades de terem a saúde abalada pelos mais diversos fatores. A ausência de conhecimento do local e de suas características; a falta de cuidados em detalhes construtivos, tais como o cobrimento insuficiente de armaduras e a utilização incorreta de pingadeiras em estruturas de concreto aparente; o arrojado de alguns projetos arquitetônicos e, conseqüentemente, dos seus projetos estruturais, e a ausência de especificações, ou, por outro lado, a especificação incorreta dos materiais a serem utilizados são falhas que podem, individualmente ou em conjunto, criar as condições necessárias para diminuir a vida útil das estruturas (SOUZA, 1998).

O concreto armado proporciona características mecânicas amplas, possuindo uma durabilidade adequada para a maior parte dos usos a que se destina. Esta durabilidade das estruturas de concreto armado é o resultado natural da dupla natureza que o concreto exerce sobre o aço: por uma parte, o cobrimento de concreto é uma barreira física; por outra, a elevada alcalinidade do concreto desenvolve sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo indefinido (VERÇOZA, 1991).

Cita o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (2004) que o concreto, como todos os demais materiais, está sujeito à degradação natural. Entretanto, várias causas podem apressar a degradação das estruturas de concreto armado, em particular as pontes:

- Na concepção, no dimensionamento, no detalhamento e nas especificações.
- Escoramentos e formas defeituosas, má colocação de armaduras, cobrimentos insuficientes, concreto com qualidades inferiores às especificadas, ausência de plano de concretagem;
- Utilização inadequada da estrutura, submetendo-a a sobrecargas imprevistas;
- 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;
- Causas de origem física, tais como ação do calor, do vento e da água;
- Causas de origem mecânica, tais como choques de veículos e embarcações, acidentes de origem diversa e recalque de fundações;
- 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.

É de extrema importância considerar as ações sobre as estruturas consideradas nos projetos, uma vez que incidem diretamente na durabilidade, no serviço, na estabilidade e ou na resistência. Por essa razão, ao se deparar com uma deficiência é essencial determinar as causas que se originam, pois muitas vezes estão associadas várias ações.

3.2.1 Corrosão das armaduras

Os danos causados pela corrosão de armadura geralmente são manifestados por fissuras no concreto paralelas à direção da armadura, delimitando e ou desprendendo o recobrimento. Em componentes estruturais que apresentam uma elevada quantidade de umidade, os primeiros sintomas de corrosão evidenciam-se por meio de manchas de óxido nas superfícies do concreto. Ao produzir-se por efeito da corrosão óxido expansivo, com aumento de volume de aproximadamente oito a dez vezes do volume original, criam-se fortes tensões no concreto, que levam a que este se rompa por tração, apresentando fissuras que seguem as linhas das armaduras principais e, inclusive, dos estribos, se a corrosão foi muito intensa (FERNÁNDES CÁNOVAS, 1988).

Os fatores que afetam a corrosão da armadura estão associados basicamente às características do concreto, ao meio ambiente e à disposição das armaduras nos componentes estruturais afetados.

3.2.1.1 Processo de corrosão

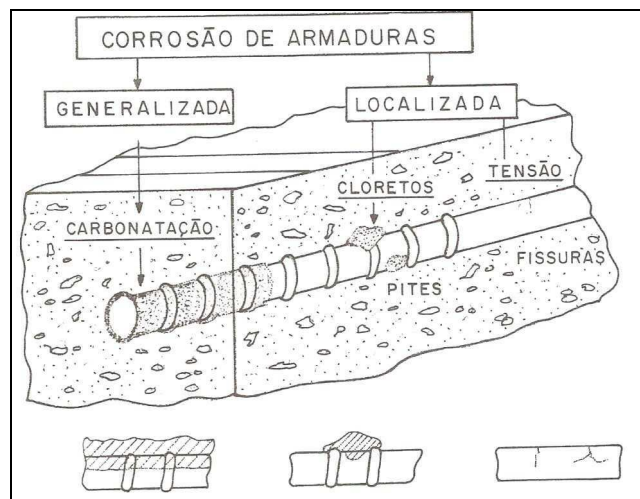
Helene e Pereira (2007, p. 35) consideram que todo processo de corrosão eletroquímico requer a presença de, pelo menos, quatro elementos: “a) um anodo, aonde ocorre à oxidação do aço, b) um cátodo, aonde ocorre à reação de redução, c) um condutor elétrico por onde circula os elétrons liberados do anodo e consumidos no cátodo e d) um eletrólito, onde ocorrem tais reações”.

A corrosão das armaduras dentro do concreto unicamente, segundo Fusco (2008, p. 48), poderá acontecer se for destruída a película passivadora. Essa destruição pode acontecer de modo generalizado, em virtude de três diferentes causas:

- Redução do pH, abaixo de 9, por efeito da carbonatação da camada de cobrimento da armadura;
- Presença de íons de cloreto ou de poluição atmosférica acima de um valor crítico;
- Lixiviação do concreto na presença de fluxos de água que percolem através de sua massa.

O autor ainda afirma que a elevada alcalinidade apresentada pela solução dos poros do concreto ($\text{pH} > 12,5$) proporciona um ambiente protetor para o aço, sendo a velocidade de corrosão praticamente nula. O estado passivo das armaduras pode se perder em razão, fundamentalmente, da ação dos seguintes mecanismos: ataque por cloretos e perda de alcalinidade do concreto.

Para Andrade Perdrix (1992), essencialmente, são duas as causas que podem dar lugar à destruição da capa passivante do aço: a presença de uma quantidade suficiente de cloretos, adicionada durante o amassamento do concreto ou penetrada do exterior, ou outros íons despassivantes em contato com a armadura; a diminuição da alcalinidade do concreto por reação com substâncias ácidas do meio. Na Fig. 20 estão ilustrados tipos de corrosão:



Fonte: Andrade (1992, p. 22)

FIGURA 20 – Tipos de corrosão de armadura e fatores que os provocam

Para que as armaduras de aço dentro do concreto sejam acometidas de corrosão é preciso que junto a elas haja umidade e oxigênio, uma vez que o meio em que estão mergulhadas é alcalino.

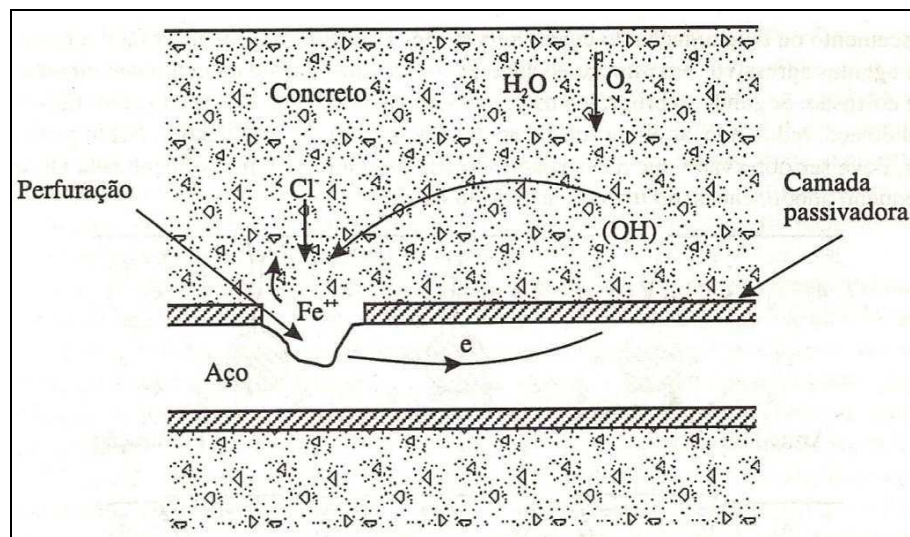
A água necessária para a manutenção da reação eletrolítica é formada pela umidade existente na rede capilar. A reação de oxidação do ferro não consome a água envolvida no processo; assim, não é favorecido o bloqueio da própria reação. Enquanto o oxigênio puder chegar até o metal, por difusão através da camada de cobrimento e da película passivadora rompida, a corrosão prosseguirá. Desse modo, para que haja corrosão é indispensável a presença simultânea de água e oxigênio (FUSCO, 2008).

Bauer (1994) relata que a porosidade e permeabilidade do concreto, associadas à presença da água, extraem a cal e dão início ao processo de corrosão das armaduras, que é

tanto mais acelerada quanto menor for sua camada de cobrimento. O produto da corrosão acaba provocando um apreciável aumento de seção das armaduras, que se fendem e expõem as camadas do concreto de cobrimento vizinho. As armaduras de aço corroídas têm cada vez menor seção resistente, problema que, se não for tratado em tempo oportuno, conduz à ruína da ponte.

3.2.1.2 Ataque por cloretos

Quando existe uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos do aço no concreto, forma-se uma célula eletroquímica: uma região anódica e uma região catódica ligadas pelo eletrólito na forma de água dos poros da pasta endurecida. Os íons de Fe^{++} , com carga elétrica positiva no anodo, passam para a solução, ao passo que os elétrons livres, e^- , com carga elétrica negativa, passam pelo aço para o catodo, onde são absorvidos pelos constituintes do eletrólito e se combinam com a água e oxigênio para formar íons de hidroxila, OH^- . Estes íons se deslocam pelo eletrólito e se combinam com os íons formando hidróxido ferroso, que por outra oxidação se transformam em hidróxido férrico (ferrugem), conforme ilustra a Fig. 21 (NEVILLE, 1997).



Fonte: Neville (1997, p. 557)

FIGURA 21 – Representação da corrosão eletroquímica na presença de cloretos

O comparecimento de uma concentração crítica (C_c) de íons de cloreto em contato com a superfície da armadura desencadeia a despassivação do aço: o pH, o conteúdo de aluminato tricálcico (C_3A) no cimento e, em alguns casos, do conteúdo de umidade no concreto. O valor do conteúdo crítico de cloretos (expresso como cloretos totais ou solúveis

em ácido) geralmente adotado na prática é $C_c=0,4\%$ em peso respectivo ao conteúdo de cimento do concreto. A entrada de íons de cloro no interior do concreto deve-se à interação com o meio ambiente, à utilização de aditivos, agregados que contenham este tipo de íons na produção do concreto e ou emprego de sais para descongelar (HELENE; PEREIRA, 2007, p. 35). Esta última situação é a que se dá em ambientes marinhos ou quando se utilizam sais de degelo em estradas ou pontes em climas frios.

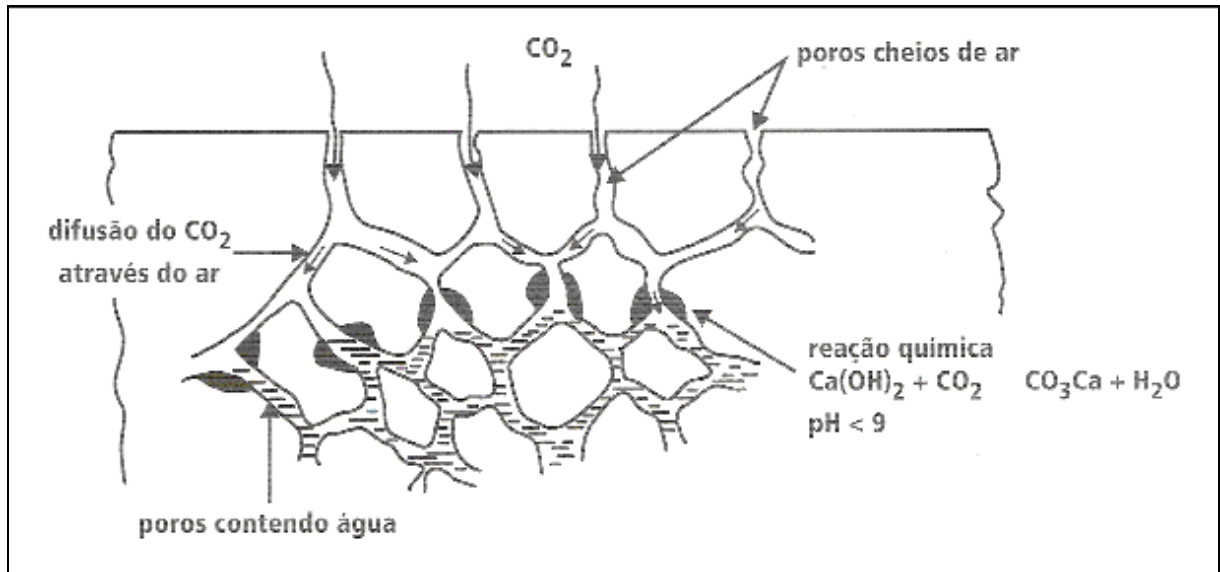
3.2.1.3 Perda de alcalinidade no concreto

A diminuição do pH do concreto ($\text{pH}<9$) desencadeia a perda da passividade do aço. Esse processo pode ocorrer como resultado da lixiviação das substâncias alcalinas existentes nos poros do concreto ou em razão do processo de carbonatação.

A carbonatação é um processo químico que se manifesta na superfície do concreto e avança durante anos e anos. Ao longo desta reação, o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que tem origem na hidratação do cimento e que se encontra nos poros do concreto combina-se com gás carbônico do ar atmosférico (CO_2), na razão de 0,03 a 0,05% em volume, para formar o (CaCO_3) carbonato de cálcio, ou calcáreo, insolúvel em água, que se deposita nos poros do concreto, fechando-os. Para determinar a profundidade de ataque da carbonatação na obra pode-se fazer uso de fenolftaleína sobre a superfície de concreto rompida recentemente, ou sobre o pó produzido por perfuratriz e percussão. Se for possível extrair um corpo-de-prova, pode ser determinada em laboratório (BAUER, 1994).

Se as peças de concreto não estiverem completamente mergulhadas em água, por suas superfícies expostas ao ar penetrará o gás carbônico da atmosfera. Esse CO_2 , por difusão através do ar, chegará até os poros úmidos que contêm o hidróxido dissolvido, dando-se, então, a reação de carbonatação do hidróxido, como se mostra na Figura 22.

Fusco (2008) salienta que a transformação de hidróxido em carbonato é acompanhada pelo abaixamento do pH do meio úmido interno. Se for atingido $\text{pH}<9$, torna-se possível a dissolução da película de óxido de ferro que reveste as barras de aço dentro do concreto (Fig. 22).



Fonte: Fusco (2008, p. 53)

FIGURA 22 – Representação esquemática da reação de carbonatação do hidróxido

3.2.2 Ações das cargas exteriores: processos mecânicos

As ações das cargas exteriores provocam no concreto armado um estado tensional completo. Ao verificar um elemento qualquer de uma estrutura de concreto armado, comprova-se que cada uma de suas seções está submetida a uma sollicitação simples ou a uma composta por vários tipos de sollicitações simples. As sollicitações simples são conhecidas por tração, compressão, flexão, cortante e torção. Se houver alguma deficiência numa estrutura de concreto armado, esta se manifestará, geralmente, por meio de uma configuração de fissuras, que dependerá do tipo de sollicitação que atuam neste setor. Portanto, a interpretação das fissuras observadas numa estrutura de concreto armado não pode guiar com muita certeza às causas do problema (HELENE; PEREIRA, 2007).

São compreendidas como fissuras devidas à ação de efeitos mecânicos as fissuras de tração, de compressão, de flexão, torção e cortante. Em muitos casos essas ações podem estar combinadas entre si, tornando complexo o diagnóstico. As fissuras de esforço cortante costumam aparecer na alma das vigas, progredindo até as armaduras até chegar, finalmente, aos pontos de aplicação das cargas, quando dividem as peças em duas partes. Sua inclinação segue o antifunicular das cargas que atuam sobre a peça, fissurando o concreto se este não dispõe de armadura suficiente para absorver as trações produzidas (FERNÁNDES

CÁNOVAS, 1988). Porém, para Helene e Pereira em poucas ocasiões é única a causa de determinado problema estrutural; na maioria dos casos, são várias as causas que os geram.

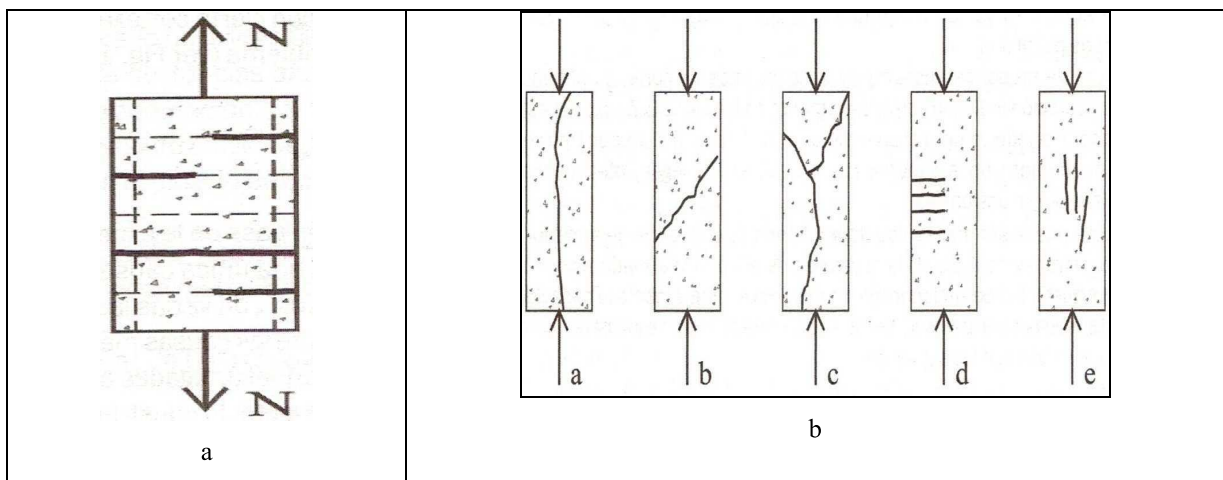
3.2.2.1 Tração axial e compressão axial

Os elementos de concreto possuem adequado desempenho mecânico quando solicitados a esforços de compressão, porém o mesmo não ocorre com os esforços de tração. As tensões a que pode resistir um concreto tracionado são na ordem de 10% das de compressão.

A compressão axial não é frequente nos elementos de concreto armado e pode causar, se não forem realizadas as verificações correspondentes aos estados limites últimos de utilização, a fissura de configuração perpendicular à armadura principal.

Um elemento de concreto submetido a esforços de compressão axial pode manifestar distintas formas de fissuração, que dependem de sua esbelteza e do grau de forças transversais em seus extremos (Fig. 23). As fissuras podem aparecer nas colunas em situações prévias de ruptura, podendo ser maiores se aumentada a taxa de armadura, em especial a transversal.

As colunas de concreto armado, por sua natureza, têm pouca capacidade de aviso de ruptura e, por conseguinte, apresentam uma ruptura do tipo frágil. Por sua função no conjunto estrutural, o colapso de colunas solicitadas à compressão simples, ou com pequena excentricidade, é causa determinante de acidentes nas estruturas.



Fonte: Helene e Pereira (2007, p. 45)

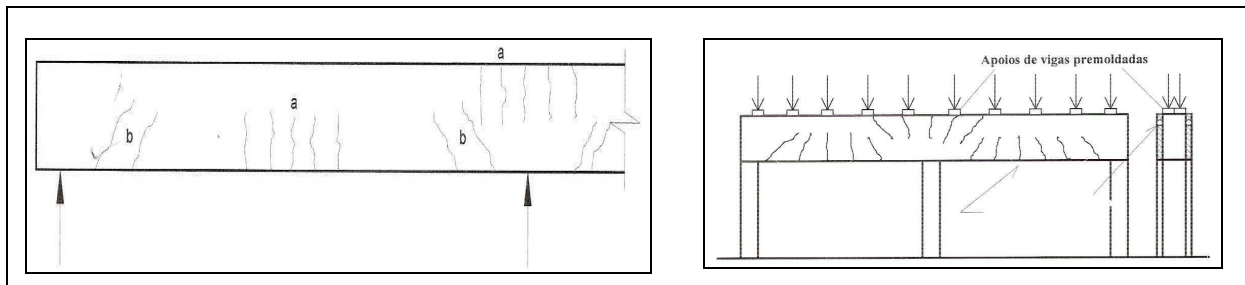
FIGURA 23 (a, b) - Fissuração por tração e compressão axial

3.2.2.2 Flexão e cortante

As fissuras geradas por flexão são as mais comuns (Fig. 24) e, portanto, as mais conhecidas, aparecendo a partir de uma solicitação de flexão pura ou por uma combinação de flexão e cortante.

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; nos apoios podem ser encontradas nas faces superiores, prolongando-se pelas faces laterais (HELENE; PEREIRA, 2007).

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 (Fig. 24 a), visto que podem prenunciar uma ruptura frágil.



Fonte: Manual de Inspeção Pontes (2004, p. 56)

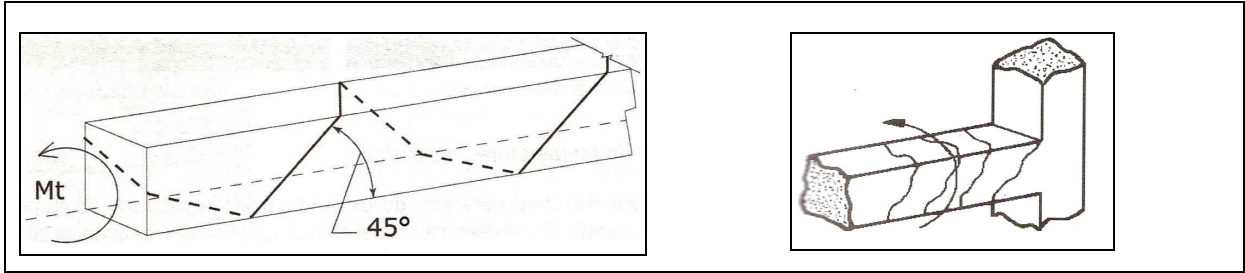
FIGURA 24 (a) – Fissuras de: a – flexão; b – cortante

Fonte: Manual de Inspeção Pontes (2004, p. 56)

FIGURA 24 (b) – Fissuras de flexão e cortante

3.2.2.3 Torção

As fissuras de torção são semelhantes às da força cortante, mas com direções contrárias nas faces opostas. E os esforços de torção geralmente se apresentam acompanhados de solicitações de flexão e cortante, gerando tensões tangenciais à peça, na forma similar aos dos esforços de cortante. Os esforços de torção geram nas peças de concreto armado fissuras a 45° em cada uma das faces com uma configuração do tipo helicoidal, como ilustrado na Fig. 25 (HELENE; PEREIRA, 2007).



Fonte: Helene e Pereira (2007, p. 49).

FIGURA 25 (a) – Esquemas de fissuras de torção

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 61)

FIGURA 25 (b) – Fissuras de torção

3.2.2.4 Impacto

Os impactos de embarcações contra as estruturas de pontes, que inserem nelas uma solicitação exagerada, de difícil dimensionamento, causadora de deformações acentuadas e de danos, como destacamento de cobrimentos e exposição de armaduras, requerem um programa de manutenção para eventuais reparos (SARTORTI; MASCIA, 2009).

A resistência ao impacto deve ser considerada nos casos em que o concreto é submetido a quedas repetidas de objetos, como em cravação de estacas, ou um impacto único de uma grande massa a grande velocidade, como a choque de embarcações nos pilares de pontes. Em geral, a resistência ao impacto do concreto aumenta com o aumento da resistência à compressão; porém, quanto mais alta a resistência estática à compressão do concreto, menor a quantidade de energia absorvida por golpes antes da ruptura (NEVILLE, 1997).

O impacto em virtude de colisão de embarcações apresenta papel determinante na fixação de dimensões e na armadura dos pilares das pontes. Os pilares paredes são os preferidos no caso de pontes fluviais, sendo geralmente muito espessos e fortes para terem segurança contra a colisão de navios. Em rios com descarga de detritos (incluindo silte, areia e cascalho), os pilares devem possuir um revestimento de proteção contra a erosão (LEONHARDT, 1979).

3.2.2.5 Troca de temperatura e umidade

Existem três condições climáticas fundamentais que podem criar problemas no concreto durante o período de cura: o frio, o calor e a baixa umidade, todas aumentadas pela ação do vento.

Bauer (1994) alerta que atenção especial deve ser dada ao concreto na fase de concretagem e cura, indicando como período mínimo de cura, em média, de sete a dez dias para concretos de cimento Portland. Também demonstra a sensibilidade do concreto recém-lançado sob efeito das condições climáticas e considera, ainda, temperaturas favoráveis à cura dentro de um intervalo de 15 °C a 35 °C.

Quando o concreto está curado, isto é, quando seu endurecimento chegou a um estado avançado, é um material resistente, dentro de certos limites das condições térmicas e higrométricas. Entretanto, nem por isso deixa de ser um material sensível a esses efeitos nos primeiros tempos e, especialmente, quando está na fase de cura, na qual o frio, o calor, o vento e a baixa umidade do ar podem produzir sobre ele efeitos patológicos consideráveis (FERNÁNDEZ CÁNOVAS, 1988).

3.2.2.6 Ações que geram deterioração do concreto

As estruturas de concreto armado não podem ser consideradas obras eternas, devendo, por isso, passar por inspeções periódicas para que as anomalias que possam apresentar sejam diagnosticadas e corrigidas a tempo, mediante um tratamento adequado. Isso é especialmente importante em complexos industriais, estruturas portuárias, centrais térmicas e nucleares, construções marítimas, represas, pontes e em todas as obras nas quais o meio possa atuar desfavoravelmente, provocando a corrosão do concreto (FERNÁNDEZ CÁNOVAS, 1998).

Uma adequada durabilidade do concreto das estruturas “depende de sua fabricação com materiais não expansivos e de sua capacidade de resistir às agressões provenientes do meio externo” (FUSCO, 2008, p. 48).

A corrosão do concreto provoca a sua deterioração, afetando a estabilidade e a durabilidade das estruturas. A armadura não é suscetível de sofrer corrosão, a não ser que ocorram contaminação e deterioração do concreto. Os constituintes do concreto impedem a corrosão do material metálico resistindo à entrada de contaminantes. Dessa forma, quanto mais o concreto se mantiver inalterado, mais protegida estará a armadura.

Gentil (2003) leva em consideração que a corrosão e a deterioração observadas em concreto podem estar associadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos. O Quadro 6 descreve os fatores determinantes da corrosão de concreto.

Fatores determinantes da corrosão em concreto	
Fatores mecânicos	Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu consequente desgaste. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso de cavitação.
Fatores físicos	Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos.
Fatores biológicos	Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias por ácido sulfúrico.
Fatores químicos	Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono.

Fonte: Gentil (2003) adaptado

QUADRO 6 – Fatores determinantes da corrosão em concreto

3.2.2.7 Ações de baixas temperaturas sobre o concreto – efeitos do ciclo de gelo-degelo

O problema do concreto quando submetido a baixas temperaturas incide no fato de que é um material poroso, capaz de armazenar água. Quanto ao congelamento sobre concretos, elencam-se dois fenômenos como sendo os causadores da deterioração deste material quando submetido a esta agressividade: a) a geração da pressão hidráulica; b) a difusão da água gel e água capilar (LIMA; LIBORIO, 2008).

A deterioração causada pelo congelamento no concreto apresenta várias formas, sendo as mais comuns a fissuração e o destacamento do concreto superficial; lajes de concreto expostas a congelamento e degelo, na presença de umidade e produtos químicos para degelo, são suscetíveis a descascamento, isto é, a superfície acabada do concreto escama ou descasca. As causas da deterioração do concreto endurecido pela ação do congelamento podem ser relacionadas à complexa microestrutura do material e às condições específicas do meio ambiente. A incorporação de ar tem demonstrado ser uma maneira efetiva de reduzir o risco de danos ao concreto pela ação do congelamento (DNIT 090/2006 – ES).

3.2.2.8 Ação do fogo sobre as estruturas de concreto armado

A norma brasileira NBR 15200 (2004) da ABNT estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

Os objetivos gerais da verificação de estruturas em situação de incêndio são limitar o risco à vida humana, limitar o risco da vizinhança e limitar o risco da propriedade exposta ao fogo. Como plastificações, ruínas e até colapsos locais são aceitos, a estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio se for vistoriada, tiver sua capacidade remanescente verificada e sua recuperação for projetada e executada. Em condições usuais, as estruturas são projetadas em temperatura ambiente e, dependendo das suas características e uso, devem ser verificadas em situação de incêndio (SILVA, 2008).

O comportamento real de um concreto exposto a alta temperatura traz consequências que interagem simultaneamente e que são de grande complexidade para uma análise primorosa. As estruturas de concreto são reconhecidas pela boa resistência ao incêndio em virtude das características térmicas do material, tais como incombustibilidade; não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas e baixa condutividade térmica; ao contrário do aço, é capaz de manter resistência suficiente por períodos longos quando sujeito a temperaturas da ordem de 700 a 800 °C (NORMA DNIT 090/2006 – ES).

Entretanto, tem-se de considerar que o aumento da temperatura nos elementos de concreto causa redução na resistência característica e no módulo de elasticidade dos materiais; há perda de rigidez da estrutura e a heterogeneidade dos materiais constituintes do concreto (pasta, agregados, aço) conduz à degradação polifásica do concreto armado, podendo levar as peças estruturais à ruína. O aço e o concreto têm sua resistência reduzida quando submetidos a altas temperaturas. As estruturas de concreto, sobretudo aquelas de concretos de alta resistência, podem estar sujeitas à degradação prematura por meio do *spalling* (COSTA e SILVA, 2002).

3.2.2.9 Ataque por ácidos e bases

a) Ácidos

O concreto está invariavelmente sob a influência das condições atmosféricas. A crescente ameaça às estruturas de concreto pelo ataque ácido é uma questão que ocorre em todos os países. O ataque ácido é uma consequência do crescimento das atividades em áreas urbanas e industriais nas últimas três décadas, originando uma atmosfera ácida. Os compostos formados da reação entre os produtos de hidratação do cimento e os agentes agressores que constituem a atmosfera ácida causam um decréscimo do pH da matriz de cimento, despassivando a superfície do aço, o que leva ao início da corrosão (TOMMASELLI; MARIANO; KURI, 2006).

Dessa forma, o contato direto de concreto com soluções de ácidos, como, por exemplo, clorídrico, fluorídrico, nítrico, sulfuroso e sulfúrico, provoca deterioração do concreto, porque reagem com componentes do concreto e diminuem o valor de pH.

Em conformidade com Gentil (2003, p. 201), no ataque ácido do concreto observa-se, seguidamente, “a destruição da pasta de cimento e, no concreto armado, tem-se, em seguida ao ataque da pasta, o ataque da armadura, notando-se a formação de coloração castanho-alaranjada característica dos sais de ferro”.

b) Bases – Reação Álcali-Agregado

A reação álcali-agregado (RAA) é um processo químico de deterioração que pode ocorrer no interior do concreto afetando seu desempenho e durabilidade. Pode ser definida como um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente na estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultado da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto (HASPARYK, 2005).

3.2.2.10 Ação dos sulfatos

Basicamente, são dois os meios conhecidos de ataque por sulfato ao concreto: a) reação com os produtos de hidratação da alumina e/ou aluminato tricálcico não hidratado, produzindo etringita e b) reação com o hidróxido de cálcio produzindo gesso. No concreto endurecido, a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode, embora nem sempre, levar à expansão. Em virtude da baixa resistência à tração do concreto, deformações provenientes da expansão resultantes da formação de etringita durante o ataque de sulfato podem levar à fissuração, com conseqüente redução da resistência e desempenho da peça. A intensidade do ataque varia com o íon cátion que está ligado ao radical SO_4^{-2} . E, embora os sulfatos mais solúveis sejam os de sódio (Na_2SO_4) e magnésio (MgSO_4), a ordem crescente de agressividade começa com o sulfato de cálcio (CaSO_4), passando pelos sulfatos supracitados, respectivamente, e terminando com o sulfato de amônia (NH_4SO_4) (COSTA, 2004). Encontrado no solo, no mar, no ar e em lençóis freáticos, é caracterizado como um dos mais deteriorantes agentes das estruturas de concreto.

Nas obras marítimas, a zona de borrifos é a que mais sofre com o ataque dos sulfatos ao concreto. Nas partes permanentes mergulhadas com, pelo menos, um metro e meio de pressão positiva de água pela ausência de oxigênio do ar, o ataque de sulfatos é muito reduzido (FUSCO, 2008).

3.2.2.11 Substâncias deletérias no agregado

Três categorias de substâncias deletérias podem ser encontradas nos agregados: impurezas, películas e algumas partículas que são fracas ou não sãs. Todo o agregado ou parte dele também pode ser prejudicial em virtude de reações químicas com a pasta do cimento. O Quadro 7 apresenta as três categorias e suas conseqüências:

Substâncias deletérias no agregado	
Impurezas orgânicas	Os agregados naturais podem ser suficientemente resistentes ao desgaste e ainda assim não serem satisfatórios para uso em concreto se contiverem impurezas orgânicas que possam interferir com as reações químicas da hidratação. A matéria orgânica encontrada em agregados consiste geralmente de produtos de decomposição de matéria vegetal (principalmente de ácido tânico e derivados) e aparecem na forma de húmus e argila orgânica. Esses materiais são encontrados com mais frequência na areia do que nos agregados graúdos, que são facilmente laváveis
Películas	A argila pode estar presente no agregado na forma de películas superficiais que interferem com a aderência entre o agregado e a pasta de cimento. Como uma boa aderência é fundamental para assegurar à resistência e durabilidade satisfórias, o

Continuação	
	problema das películas de argila se torna importante. Em vista disso, é necessário controlar os teores de argila e a outros tipos de materiais finos que podem estar presentes no agregado, como por exemplo, o <i>silte</i> e pó de pedreira.
Fracas ou não sãs	Os ensaios com agregados mostram que a maioria das partículas são satisfatórias, mas existem algumas não sãs que devem ser limitadas. Existem dois tipos gerais de partículas não sãs: aquelas que não conseguem manter a integridade, ou friáveis, e aquelas que resultam uma expansão e desagregação quando expostas ao congelamento ou mesmo à água.

Fonte: Neville (1997) Adaptado.

QUADRO 7 – Categorias de substâncias deletérias

3.2.2.12 Deterioração por desgaste superficial

A perda progressiva de massa de uma superfície de concreto pode ocorrer em virtude da abrasão, erosão e cavitação. O termo “abrasão” geralmente se refere ao atrito seco, como no caso do desgaste de pavimentos pelo tráfego de veículos. O termo “erosão” é usado normalmente para descrever o desgaste pela ação abrasiva de fluidos contendo partículas sólidas em suspensão. A erosão ocorre em estruturas hidráulicas, por exemplo, em revestimentos de canais, vertedouros, pilares das pontes, tubulação para transporte de água e esgoto. Outra possibilidade de dano em estruturas hidráulicas é por “cavitação”, que se relaciona à perda de massa pela formação de bolhas de vapor e sua subsequente ruptura em virtude de mudanças repentinas de direção em águas que fluem com alta velocidade (MEHTA, 1994).

3.2.2.13 Lixiviação e eflorescência

A lixiviação do hidróxido de cálcio, com a conseqüente formação do carbonato de cálcio insolúvel, é responsável pelo aparecimento de eflorescência caracterizada por depósitos de cor branca na superfície do concreto. Algumas vezes, esse depósito aparece sob a forma de estalactites. Quando o processo de lixiviação é acentuado, o concreto vai se tornando poroso, tendo-se maiores espessuras de carbonato de cálcio.

A lixiviação é observada em fissuras e juntas de concretagem, o escorrimento de resíduo branco que cessa após algum tempo. Esse fato se deve à lixiviação do hidróxido de cálcio, que, ao entrar em contato com o gás carbônico atmosférico, forma o carbonato de cálcio insolúvel, que acaba vedando as fissuras ou juntas de concretagem (GENTIL, 2003).

As eflorescências consistem em depósitos de sais que são lixiviados para fora do concreto, os quais cristalizam logo após a evaporação da água que a transporta ou por interação com dióxido de carbono da atmosfera. Entre os sais podem-se citar os sulfatos e carbonatos de sódio, potássio ou cálcio.

A lixiviação é um processo de perda de cálcio da massa de concreto em virtude da percolação de água através de seu interior. A lixiviação produz aumento da porosidade e diminuição do pH no interior do concreto (FUSCO, 2008).

3.2.4 Ações induzidas

3.2.4.1 Fluência/Fadiga

A fluência é definida como sendo a deformação lenta de um corpo submetido a uma ação constante e a fadiga caracteriza-se pela diminuição gradual da resistência de um material por efeito de solicitações repetidas.

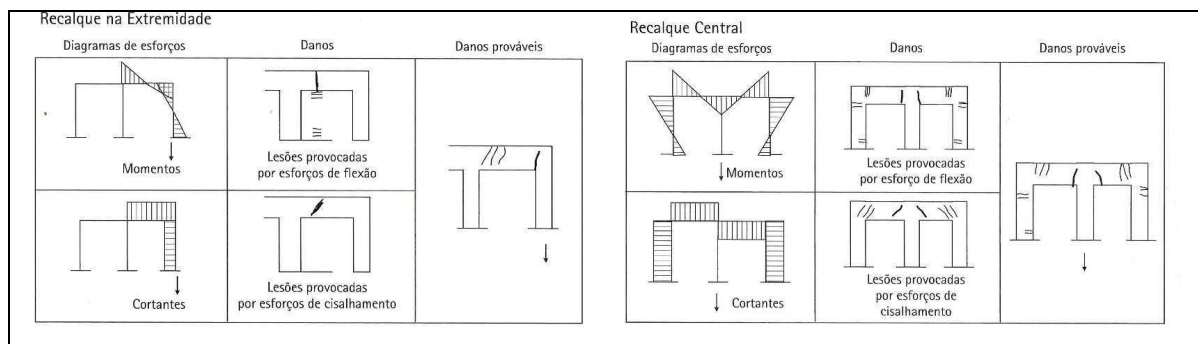
A relação entre tensão e deformação é função do tempo: o aumento gradual da deformação com o tempo sob carga mantida deve-se à fluência. Portanto, a fluência pode ser definida com o aumento da deformação sob tensão mantida e, como esse aumento pode ser muitas vezes maior do que a deformação no momento do carregamento, tem considerável importância nas estruturas. A fluência tem efeitos sobre as deformações e deflexões e muitas vezes também sobre a distribuição de tensões, mas esses efeitos variam com o tipo de estrutura (NEVILLE, 1997).

Nas estruturas de concreto armado, além das solicitações estáticas, são aplicadas solicitações cíclicas. Casos típicos são as estruturas de alto-mar, submetidas às solicitações das ondas e dos ventos; pontes, pavimentos rodoviários e aeroportuários e dormentes ferroviários. O número de ciclos de solicitações aplicadas durante a vida da estrutura pode chegar até a dez milhões e, ocasionalmente, a até cinquenta milhões. Quando um material se rompe sob um número repetido de solicitações, todas menores que a resistência, diz-se que houve ruptura por fadiga. Tanto o concreto como o aço apresentam características da fadiga (NEVILLE, 1997).

Verçoza (1991) considera a fluência ou fadiga do concreto como sendo uma deformação permanente ou progressiva causada por um esforço excessivo. Isso acontece porque os grãos do concreto mudaram permanentemente de posição; houve ruptura de algumas ligações e o equilíbrio mudou. É a fluência ou fadiga do concreto. A fluência pode se tornar causa de ruína de uma estrutura quando as deformações são exageradas. Até o peso próprio da estrutura pode se tornar causa de fluência se o cálculo não foi bem feito. Há muitos exemplos de pontes condenadas por efeito da fluência.

3.2.4.2 Efeito de movimento das fundações

A manifestação reconhecível de ocorrência de movimento das fundações é o aparecimento de fissuras nos elementos estruturais. Toda vez que a resistência dos componentes da obra ou conexão entre elementos for superada pelas tensões geradas por movimentação, ocorrem fissuras. Além disso, efeitos combinados de movimentos causados por outra origem que não deslocamento tornam, nos casos reais, bastante complexas a definição e identificação dos movimentos a partir apenas das fissuras apresentadas. Assim, torna-se necessária a realização de acompanhamento ou controle de recalques (Fig. 26) para a identificação precisa do comportamento real das fundações (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2008).



Fonte: Milititsky; Consoli; Schnaid (2008)

FIGURA 26 – Recalques nas fundações

Na ocorrência de patologias devem-se caracterizar suas origens e possíveis mecanismos deflagradores, que incluem a monitoração do aparecimento e evolução de fissuras, trincas, desaprumos e/ou desalinhamentos. Segundo os autores, as fases em que os problemas podem ocorrer ou ser originados são: caracterização do comportamento do solo; análise e projeto das fundações; execução das fundações; eventos pós-conclusão e a

degradação dos materiais constituintes das fundações (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2008).

3.2.5 Falhas construtivas típicas

Nas estruturas de concreto armado, o concreto possui duas funções básicas: resistência aos esforços de compressão aos quais a estrutura está sendo submetida e proteção ao aço. Para que a estrutura de concreto atenda às especificações de projeto, é preciso considerar uma série de fatores do próprio concreto, como propriedades dos materiais constituintes, dosagem da mistura e execução da concretagem. Se alguma dessas etapas não for executada corretamente, poderá desencadear o surgimento de manifestações patológicas na estrutura (ZONATO; KACHEL; PEREIRA, 2009). Apresentam-se no Quadro 8 as principais falhas construtivas típicas encontradas.

Falhas construtivas típicas	
Armadura	Deficiência nos detalhes e posicionamento da armadura no projeto ou na execução; Cobrimento insuficiente das armaduras; Armadura insuficiente.
Formas e Cimbramentos	Inexistência de projeto detalhado de forma e cimbramento; falhas nas dimensões e posicionamento das formas; falta de verificação do suporte de sobrecarga de concretagem, peso próprio, trânsito de pessoas e equipamentos; consideração das condições de suporte de solo p/ apoio de postes; retirada de escoramentos antecipados.
Ninhos (segregação)	Dosagem inadequada; Dimensões máximas características do agregado graúdo inadequada; Lançamento e adensamento inadequados, taxa excessiva de armaduras.
Concretagem Submersa	O lançamento de concreto sob água apresenta alguns problemas particulares. Antes de tudo deve-se evitar que a água lave o concreto, de modo que a concretagem deve ser feita por descarga através de um tubo de aço imersa em concreto já lançado, mas ainda fresco. O tubo, conhecido como <i>tremie</i> , deve permanecer cheio durante toda a concretagem. A concretagem submersa é uma operação delicada que, se executada incorretamente, pode ter sérias consequências embora não perceptíveis; é necessário que se disponha de pessoal experiente.

Fonte: Souza (1998); Neville (1997); Moliterno (1989) Adaptado.

QUADRO 8 - Falhas construtivas típicas

3.2.6 Ações sísmicas

Segundo a NBR 15421 da ABNT (2006) “Projetos de estruturas resistentes a sismo – Procedimento”, sismo é definido como sendo um fenômeno de vibração passageira da superfície da Terra, resultante de movimentos subterrâneos de placas rochosas (terrenos de classe “B”, conforme item 6.2 da corrente norma) e que ocorre geralmente em zonas localizadas no rebordo das placas tectônicas.

3.3 AÇÕES E MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

A madeira é um produto privilegiado no Brasil. Trata-se de uma fonte de recursos renovável, quando mantidos programas de controle de extração, reflorestamento, proteção e combate de desastres naturais. Por possuir elevada relação resistência/peso, acaba por favorecer a construção de estruturas mais leves. Além disso, conta com uma alta capacidade de absorção de cargas de curta duração e um baixo custo tecnológico, uma vez que não necessita de equipamentos especiais nem de mão de obra altamente qualificada para a sua construção, permitindo a pré-fabricação e industrialização (FONTE, 2004).

Callir Junior, Lahr e Dias (2003) consideram a madeira um material adequado para a construção de pontes em estradas vicinais no meio rural para pequenos e médios vãos, não só pela frequente disponibilidade como também pelo seu potencial de resistência e durabilidade, o que a torna economicamente interessante.

Segundo Abdalla (2002), muitas pontes de madeira no Brasil têm sido construídas por proprietários de sítios e fazendas, auxiliados pelas prefeituras, para atender às emergências locais, geralmente sem nenhum cálculo estrutural. De fato, os responsáveis por sua edificação são pessoas que não possuem conhecimentos atualizados sobre a madeira e que, na maioria dos casos, desconhecem as características do local onde se dará a construção.

Nota-se, entretanto, que ao longo dos anos, incorretos processos de construção e de manutenção foram empregados na execução de estradas no meio rural, principalmente pela carência de informações técnicas por parte das Administrações Estaduais e Municipais. Com relação às pontes de madeira existentes nestas vias é possível afirmar que não são projetadas e construídas por técnicos e construtores especializados em madeiras. Isto resulta em estruturas caras, inseguras e de baixa durabilidade. O estado atual de degradação destas pontes reflete em um quadro negativo no uso da madeira como um material estrutural (FIORELLI; DIAS, 2008).

Fonte (2004) também concorda que as pontes existentes não foram projetadas e construídas por profissionais especializados em madeira, o que resultou em obras caras, sem segurança e de baixa durabilidade, as quais, na maior parte dos casos, necessitam de reforço estrutural. O estado atual de degradação dessas pontes acaba gerando uma visão negativa da madeira como material de construção.

Percebe-se a necessidade de pontes novas e de recuperação das existentes no Brasil, começando pela esfera municipal até a federal. A construção de rodovias e, por conseguinte, de novas pontes facilita o acesso a lugares com baixa densidade populacional. Também nas regiões populosas ocorre carência de novas pontes, principalmente em vias rurais ou secundárias. Por conta disso, pesquisas de novas tecnologias em madeira, que sejam competitivas, técnica e economicamente, com outros materiais são vitais para reduzir os gastos com essas benfeitorias (CALLIR JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

3.3.1 Mecanismos de formação e manifestação das patologias nas estruturas de madeira

A madeira é um produto biológico sujeito à deterioração pela ação de fungos apodrecedores, insetos xilófagos, perfuradores marinhos, descoloração, agentes químicos, intemperismo e fogo (ABDALLA, 2002).

É fato natural que as obras de madeira apresentem patologias. Verçoza (1991) adverte que a madeira já foi um ser vivo, sendo, por isso, um material orgânico. Dessa forma, em sua maioria, os defeitos nas madeiras são irreversíveis, ou seja, surgindo problemas, não há como fazer correções, apenas remendos. Por conta disso, a solução costumeiramente é substituí-la. Por isso, como em todas as patologias, é preferível prevenir que remediar.

Calil Junior et al. (2006) advertem que para impedir, ou, pelo menos, minimizar, a ação de agentes biodeterioradores há, basicamente, três linhas de ação: usar madeiras de elevada resistência biológica, embora essa medida não impeça a ocorrência dos demais fenômenos de natureza física e/ou química; incorporar produtos químicos à madeira como os preservantes, produtos ignífugos e de acabamentos superficiais; por fim, introduzir alterações químicas permanentes na estrutura dos componentes poliméricos da madeira.

Abdalla (2002) concorda que todas as ações necessárias para aumentar a durabilidade das pontes de madeira devem ser estudadas e aplicadas desde o início da construção. A manutenção de uma ponte poderá compreender a sua quase completa substituição ou apenas reparos preventivos, mas nenhum projeto de reparo ou manutenção deve ser elaborado antes de uma completa e minuciosa vistoria.

A deterioração da madeira é um processo que altera negativamente as suas propriedades, podendo ser atribuída a duas causas principais: agentes bióticos e agentes abióticos, conforme aponta o Quadro 09.

Agentes bióticos e abióticos	
Agentes bióticos (vivos)	Os agentes bióticos (vivos) são principalmente os fungos, insetos e furadores marinhos. Estes organismos necessitam de algumas condições para sua sobrevivência, entre elas: temperatura, oxigênio, umidade e fonte adequada de alimento, geralmente a madeira. Embora o grau de dependência destes parâmetros seja variável, cada um precisa estar presente para ocorrer a deterioração.
Agentes abióticos (não vivos)	Os agentes abióticos (não vivos) incluem os condicionantes físicos, mecânicos, químicos e limáticos. Embora destrutivos, os agentes abióticos podem também danificar o tratamento preservativo, expondo a madeira não tratada ao ataque de agentes bióticos.

Fonte: Calil Junior (2006) adaptado

QUADRO 09 – Agentes bióticos e abióticos

3.3.2 Ataque por microorganismos: bactérias e fungos

Segundo Bauer (1994), os micro-organismos são causadores do apodrecimento e arididura da madeira. Vivem a expensas de outros organismos vivos na condição de parasitas ou saprófitas, porque estão privados da função clorofiliana para absorção do carbono.

As bactérias são organismos normalmente unicelulares que se reproduzem por cissiparidade; ocasionam tumores que hipertrofiam os tecidos vivos das madeiras (bactérias parasitas), ou originam nos tecidos das madeiras desdobradas complexos fenômenos de decomposição química por oxidação (saprófitas aeróbias) ou redução (saprófitas anaeróbias) (BAUER, 1994).

Gonzaga (2006) caracteriza as bactérias como agentes auxiliares dos fungos com capacidade enzimática de decompor celulose e hemicelulose; rompendo as pontuações (válvulas de passagem da seiva entre tecidos), facilitam a penetração das hifas dos fungos apodrecedores.

Os fungos são seres vivos que apresentam um só núcleo, e consomem matéria orgânica (morta – fungos saprofíticos, ou viva – fungos parasitários). Em movimentos como os do vento, contato com um animal ou um pequeno impacto, os esporos são liberados do corpo de frutificação e podem ser depositados na superfície de uma peça de madeira (FRIED; HALDEMOS, 2001).

Os fungos são organismos vegetais (alguns biólogos divergem) rudimentares que não possuem clorofila. Todos requerem certas condições ambientais para seu desenvolvimento:

- Umidade – acima de 20% na madeira;

- Temperatura – ideal entre 25 C° e 30 C°; podendo ocorrer acima de 0° e abaixo de 60 C°;
- Oxigênio – significa aeração, pois não sobrevivem submersos;
- Pouca luz solar – não resistem à ação direta dos raios ultravioleta;
- pH levemente ácido (entre 4,5 e 5,5) – não toleram ambiente alcalino (pH acima de 7).

O conhecimento do tipo climático de uma região fornece indicativos de larga escala sobre as condições médias de pluviosidade e temperatura esperadas. Esse é um primeiro indicativo para se planejar todas as atividades humanas, com atenção especial para a construção de pontes de madeira (IAPAR, 2010). As informações climáticas históricas do município de Pato Branco estão dispostas no Anexo A.

No Quadro 10 estão elencados os principais fungos que atacam a madeira.

Fungos que atuam na madeira	
Bolores primários de hifas hialinas	Alimentam-se de açúcares e de resíduos de madeira.
Fungos manchadores	Suas hifas são pigmentadas. Apesar de não comprometerem a estrutura, diminuem o valor da madeira por mancharem sua superfície. Sob esse aspecto, o fungo mais comum no Brasil é o que produz a chamada “mancha azul”.
Podridão-mole	Em geral é provocada por ascomicetos, capazes de degradar celulose e hemicelulose. Sua ação é relativamente lenta e mais superficial. A peça atacada apresenta superfície amolecida, com trincas transversais.
Podridão-parda	Os principais agentes, os basideomicetos, atacam a celulose, deixando intacta a lignina. Seu nome vem da cor castanha mais escura que apresentam. A madeira adquire aspecto de queimado, com rachaduras longitudinais, e suas características mecânicas entram em colapso.
Podridão-branca	No início apresentam um aspecto “piolhado” por bolsas brancas na superfície da madeira. Os principais agentes são os basideomicetos que também degradam a lignina. Pouco a pouco, as pequenas manchas brancas vão se juntando.

Fonte: Gonzaga (2006) adaptado

QUADRO 10 – Fungos que atuam na madeira

Os fungos são micro-organismos inferiores, aeróbicos, unicelulares (ficomicetos) ou pluricelulares, que se reproduzem por esporulação. Havendo condições favoráveis ao seu desenvolvimento, o esporo vai se desenvolver e produzir hifas que penetrarão pela estrutura da madeira, fechando assim o seu ciclo vital (BAUER, 1994).

3.3.3 Infestação de insetos

A madeira, por ser um material orgânico, está sujeita a ataques por insetos xilófagos que se alimentam de tecido lenhoso e são grandes destruidores de madeira. Suas larvas, durante o desenvolvimento do seu ciclo biológico, alimentam-se da madeira e minam extensas galerias nos tecidos lenhosos. Essas galerias, quando não reduzem perigosamente as seções resistentes das peças em serviço, facilitam a entrada da umidade indispensável ao desenvolvimento de fungos (BAUER, 1994).

Cada família de insetos possui diferenças quanto a características corporais, alimentares ou à fase xilófaga. Na Fig. 27 apresentam-se as informações de maior relevância.



Fonte: Montana e Química (2009)

FIGURA 27 – Manifestações de insetos na madeira

- (A) - resíduo de madeira granulada gerado pelo ataque de cupins;
- (B) - resíduo de madeira em pó fino produzido por brocas.
- (C) - galeria de cupins;
- (D) - madeira atacada por brocas.

Várias espécies de insetos, como cupins e larvas, usam a madeira como abrigo e fonte de alimentação. Neste caso, a alta umidade não é essencial e o risco de infestação é grande. Alguns tipos de ataques de insetos indicam a necessidade do conhecimento de sua extensão, ao passo que outros podem ser menos prejudiciais. Entretanto, a correta identificação é essencial (CALIL JUNIOR, 2006).

As chamadas brocas-de-madeira são besouros que perfuram a madeira em busca de alimento ou abrigo. Diferentemente dos cupins de madeira seca, esses besouros passam por metamorfose completa, apresentando quatro estágios distintos de desenvolvimento: ovo, larva, pupa e adulto. São as larvas as responsáveis pelos ataques à mobília e a outras peças de madeira. As brocas que atacam a madeira seca, sendo por isso confundidas com cupins, pertencem quase sempre às famílias *Anobiidae* e *Lyctidae*. O ataque por anóbídeos produz geralmente um pó mais grosso, enquanto o ataque por lictídeos é facilmente reconhecido pelo

resíduo bastante fino, semelhante a talco. O pó-de-broca é constituído apenas de aparas de madeira irregulares (LEONARDO, 2004).

3.3.4 Abrasão mecânica

A abrasão mecânica é, possivelmente, o agente físico que mais apresenta deterioração de pontes de madeira. Segundo Calil Junior, Lahr e Dias (2003), a abrasão mecânica é causada por vários fatores e varia consideravelmente nos seus efeitos na estrutura. O mais comum é a abrasão do veículo, que produz gastos na superfície de rolamento, reduzindo a seção efetiva de madeira. Obviamente, exemplos deste dano ocorrem no tabuleiro, onde a abrasão produz degradação da superfície de revestimento e do guarda-rodas. Danos mecânicos mais severos podem ser causados por sobrecargas de veículos, recalques diferenciais e impactos de entulhos no canal de fluxo.

Segundo a NBR 7190 (1997) da ABNT “Projeto de estruturas de Madeira”, nas pontes rodoviárias ou para pedestres sem revestimento protetor deve-se admitir uma camada de desgaste com, pelo menos, 2 cm de espessura.

Relata Moliterno (1989), que, para proteger o soalho dos pontilhões contra desgaste, alguns construtores utilizam tábuas pregadas no sentido longitudinal, facilmente substituíveis, designadas como “guias das rodas”.

3.3.5 Danos devidos ao fogo

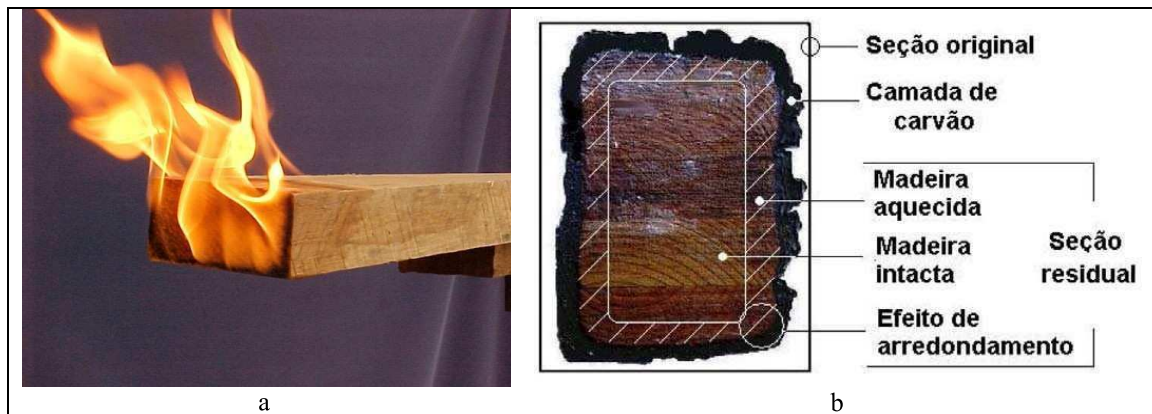
Quando a madeira está bem seca, é considerada um material combustível (Fig. 28). Para Verçosa (1991), a combustão é uma reação química persistente, na qual um composto qualquer (substância combustível) se oxida, liberando energia térmica (calor) e luminosa. Para que haja combustão, são necessários o combustível, o comburente (oxigênio) e uma temperatura elevada.

Por ser combustível a madeira é comumente considerada um material de pequena resistência ao fogo. Contrariamente, Pfeil e Pfeil (2003) afirmam que, as pontes quando adequadamente projetadas e construídas, apresentam ótimo desempenho sob ação do fogo. As peças robustas de madeira possuem excelente resistência ao fogo, porque se oxidam

lentamente em razão da baixa condutividade de calor, guardando um núcleo de material íntegro (com propriedades mecânicas inalteradas) por longo período de tempo.

A madeira não se classifica como um bom condutor de calor, pois a temperatura interna cresce mais lentamente, não provocando maior comprometimento da região central das peças, que, dessa maneira, podem se manter em serviço nas condições em que o aço, por exemplo, já teria entrado em colapso (escoamento), mesmo não sendo inflamável.

Ainda sobre a questão de temperatura, Pinto (2005) afirma que, durante um incêndio, as temperaturas atingem mais do que 1000 °C. No entanto, o aço a 500 °C já perdeu 80% de sua resistência, ao passo que o concreto começa a perder resistência a partir dos 80 °C.



Fonte: Pinto (2005, p. 35)

Fonte: Pinto (2005, p. 35)

FIGURA 28 (a) – Madeira exposta ao fogo

FIGURA 28 (b) – Viga de madeira laminada colada

A carbonização superficial isola e protege a parte central da peça de madeira, que pode manter parte significativa de sua resistência. Os conectores de metal transferirão aquecimento para o centro e, neste caso, danos maiores nestas áreas podem ser esperados (CALIL JUNIOR, 2003).

3.3.6 Defeitos das madeiras

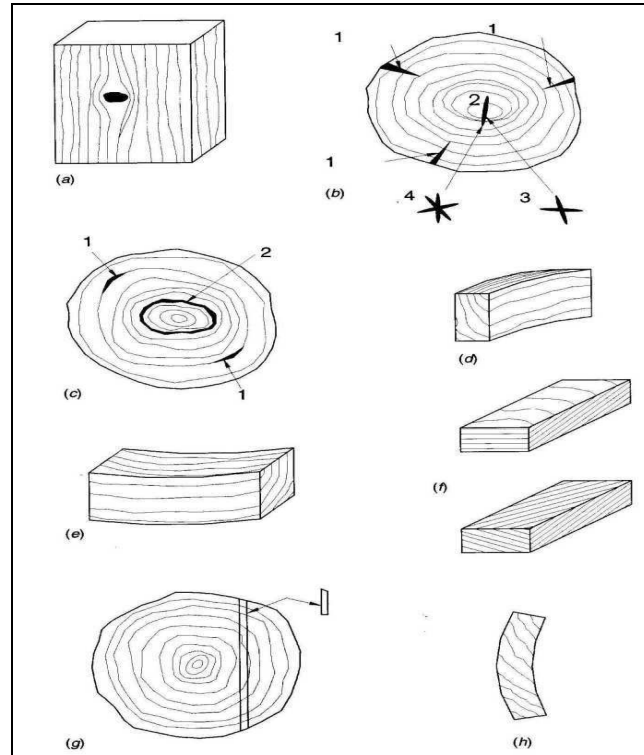
As peças de madeira utilizadas nas construções apresentam uma relação de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade. São consideradas como defeitos nas madeiras todas as anomalias em sua integridade e constituição que alteram seu desempenho e suas propriedades físico-mecânicas (KLOSS, 1991).

No Quadro 11 descrevem-se os principais defeitos da madeira.

Defeitos da madeira	
Defeitos de produção	Compreendem as fraturas, rachaduras, fendas e machucaduras ocorridos no abate e derrubada das arvores, e os cantos esmoados, camadas de cortiça e fibras cortadas, introduzidos pelo desdobro e serragem das peças.
Defeitos de alteração	O ataque de predadores, fungos e insetos causa, muitas vezes, reduções consideráveis na seção resistente de peças estruturais. Tem ainda um efeito de reforço e agravamento dos demais defeitos preexistentes.
Defeitos de crescimento	Nós São originários dos galhos existentes nos troncos da árvore. Existem dois tipos de nós, os soltos e os firmes. Ambos reduzem a resistência da madeira pelo fato de interromperem a continuidade e direção das fibras. Podem também causar efeitos localizados de tensão concentrada. A influência de um nó depende do seu tamanho, localização, forma, firmeza e do tipo de tensão considerada. No geral, os nós têm maior influencia na tração do que na compressão.
	Desvio de veios, fibras torcidas São devidos a um crescimento acelerado de fibras periféricas, enquanto permanecem estacionário o crescimento interno. As fibras torcidas resultam de uma orientação anormal das células lenhosas que, em vez de se disporem paralelas à medula, se distribuem segundo uma espiral em torno dela. Acontece normalmente no lenho próximo das raízes.
	Gretas ou ventas São deslocamentos, separações com descontinuidade, entre fibras ou anéis de crescimento. Foram provocados, durante a vida do vegetal, por paralisações de crescimento, golpes (de vento) ou ações dinâmicas.
Defeitos de secagem	Rachaduras Aberturas radiais de grande extensão no topo de toras ou peças produzidas por agentes mecânicos ou más condições de secagem.
	Fendas Aberturas nas extremidades das peças, produzidas pela secagem mais rápida da superfície; ficam situadas em planos longitudinais radiais, atravessando os anéis de crescimento. O aparecimento de fendas pode ser evitado mediante a secagem lenta e uniforme da madeira.
	Fendilhado Pequenas aberturas ao longo das peças resultantes da secagem.
	Abaulamento Empenamento no sentido da largura da peça, expresso pelo comprimento da flecha do arco respectivo.
	Curvatura Encurvamento longitudinal das peças provocado por operações de secagem ou defeitos de serragem.
	Curvatura lateral Encurvamento lateral das peças.

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003); Bauer (1994); Kloss (1991) Adaptado

QUADRO 11 - Defeitos da madeira



Fonte: Pfeil e Pfeil (2000)

FIGURA 29 – Defeitos na madeira

(a) nó; (b) fendas: 1 – fendas periféricas; 2 a 4 – fendas no cerne; (c) gretas: 1 – greta parcial; 2- greta completa; (d) abaulamento; (e) arqueamento; (f) fibras reversas; (g) esmoado; (h) empenamento.

Apresentam-se no Quadro 12 outras considerações importantes sobre danos nas estruturas de pontes de madeira.

Outros danos nas estruturas de pontes de madeira	
Corrosão de peças metálica	Frequentemente não são levadas em consideração a degradação da madeira por corrosão metálica como causa de deterioração em pontes. Este tipo de degradação pode ser importante em determinadas situações, particularmente em ambiente marinho onde a água salina está presente e acelera a degradação. A corrosão se inicia quando a umidade da madeira reage com o ferro no conector metálico, desprendendo íons que deterioram as paredes das células da madeira.
Degradação fotoquímica	Os agentes atmosféricos (sobretudo a conjugação da luz solar e da chuva) provocam alterações de cor e textura, que se traduzem na tonalidade acinzentada da madeira “velha”. Estas alterações, que consistem numa decomposição química dos compostos da madeira por ação da radiação ultra-violeta.
Degradação química	Em casos isolados, ácidos fortes atacam a celulose e hemicelulose, causando perda de peso e resistência. O dano da madeira por ácido é de cor escura e sua aparência é similar a da madeira danificada por fogo. Não é comum o contato de produtos químicos fortes na madeira das pontes.
Patologias por deformações excessivas e instabilidade	Isto pode ser visto em deslocamentos laterais excessivos ou em movimento de pórtico, usualmente causado por danos, corte ou falta de barras de contraventamento.
Remoção da madeira	É muito comum encontrar a madeira danificada pela remoção de suas partes para instalação de utilidades, por reformas e outras atividades de carpintaria. O corte ou a remoção de vigas tracionadas é comum. A redução da seção transversal de vigas e travessas pode diminuir sua capacidade resistente.
Fraturas incipientes	Fraturas incipientes podem ocorrer por acidentes ou ignorância como por exemplo sobrecargas. Felizmente são bastante raras. Entretanto, podem não ser fáceis de detectar e, em caso de suspeita, deve ser solicitado um especialista.

Continuação	
Movimento de nós e distorções:	As ligações, quando montadas com madeira verde e deixadas para secar, podem resultar em retração, fissuras, distorções ou outras formas de ruptura local. Cavilhas de madeiras duras e entalhes podem partir ou se deslocar. Retração e falta de detalhamento de projeto ou inexistência de conectores não são problemas incomuns em novas estruturas.
Deslocamentos	Isto pode indicar excessivo carregamento, que precisa ser corrigido. Em estruturas antigas o deslocamento pode ser do efeito da fluência ou secagem a partir de uma condição verde. Isto pode não conduzir a problemas estruturais.
Fissuras	Tipicamente é o resultado da secagem da madeira verde, <i>in loco</i> . Embora preocupantes, as fissuras têm pequena importância estrutural. Em estruturas antigas, podem permanecer presentes por décadas e somente observadas em deslocamentos não estruturais. Ocasionalmente, se as fissuras são de grande extensão, por exemplo, mais profundas que a metade da espessura da peça; em uma posição crítica em relação aos conectores; ou em uma barra necessitando de proteção ao fogo, os reparos devem ser realizados.

Fonte: Calil Junior; Lahr; Dias (2003) adaptado

QUADRO 12 - Outros danos nas estruturas de pontes de madeira

4 VISTORIA E INSPEÇÃO DE PONTES

4.1 INSPEÇÃO DE PONTE

A inspeção de pontes é a atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos de projeto e de construção, o exame minucioso da ponte, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de obras de recuperação, de reforço ou de reabilitação (BRASIL, 2004).

No Brasil as vistorias das pontes de concreto devem ser realizadas em conformidade com a NBR-9452/1986 da ABNT. Trata-se de procedimento técnico da Associação Brasileira de Normas Técnicas que orienta quanto às diretrizes a serem aplicadas nas vistorias de pontes e viadutos de concreto, servindo como orientação aos profissionais quanto à adequada aplicação de técnicas de vistoria, visando, acima de tudo, à qualidade do trabalho e à segurança dos usuários, bem como assegurar a durabilidade das estruturas.

A cultura de vistoriar e manter o patrimônio público representado pelas pontes e viadutos no Brasil não é uma rotina ampla, quer na área federal, quer na estadual e municipal. De fato, a incalculável quantia que representa essa herança rodoviária nem de longe está cercada dos devidos cuidados quanto à preservação estrutural ou de durabilidade. No máximo, quando a obra está acometida de uma grave enfermidade, aproximando-se do seu estado terminal, soluções emergenciais são deflagradas como terapia para tirá-la da UTI, dando-lhe sobrevida. A regra é esta; qualquer desvio é exceção (SIQUEIRA, 2009).

Sartorti (2008) afirma que a finalidade principal de avaliar o estado de conservação de pontes de pequeno e médio porte em vias urbanas e rurais nos municípios é fazer uma interface entre o meio técnico e científico que traga benefícios ao estudo da conservação e manutenção de pontes. Sartorti (2008) chegou à conclusão que a melhor alternativa para evitar os estados patológicos é a prevenção, gerada sobretudo por um programa de manutenção estrutural. Tais programas desempenham papel importante em qualquer estrutura, facilitando as verificações dos estados de deterioração estrutural e favorecendo a redução de custos dos tratamentos. Esses procedimentos evitarão a formação de manifestações patológicas acentuadas e generalizadas.

Em conformidade com Laner (2001) no que se refere às intervenções nas obras de arte, tendo em vista o impacto que isso representa para a população e o decorrente desgaste para a administração pública, é necessário contar com equipes bem formadas de engenheiros vistoriadores e auxiliares para a obtenção de bons resultados.

Nos Estados Unidos da América, por conta da tragédia no ano de 1967 da Silver Bridge, ponte suspensa com cerca de quarenta anos, sobre o rio Ohio, em Point Pleasant, West Virgínia, perderam a vida 46 pessoas. Em 1968 uma lei federal deu início a um programa nacional de inspeção de pontes, que reconhecia a necessidade de serem realizadas inspeções periódicas consistentes. Por conta disso, em 1971 foram publicadas as primeiras normas nacionais de inspeção de ponte (NBIS – *National Bridge Inspection Standard*).

O NBIS (*National Bridge Inspection Standards*), publicado em 27 de abril de 1971, estabeleceu um programa de inspeção regular e abrangente de todas as pontes do sistema rodoviário federal, prevendo qualificações mínimas para os inspetores, tipos específicos e frequências de inspeção de pontes, bem como a padronização das informações de cada uma. Desde então, nos Estados Unidos está em vigor um programa de inspeção nacional de pontes, e as agências estaduais e locais têm realizado inspeções em conformidade com essas orientações. O NBIS exige que cada Estado inspecione suas pontes para manter um inventário atualizado de todas aquelas pelas quais são responsáveis.

4.1.1 Procedimentos nas inspeções

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 documento fotográfico ou de imagens digitalizadas deve ser abrangente e completo. Defeitos eventualmente encontrados em qualquer elemento estrutural devem ser cuidadosamente examinados e registrados para permitir avaliar suas causas. Deve-se efetuar a limpeza de determinadas áreas da ponte para verificar se há trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos (BRASIL, 2004).

Para as inspeções de pontes o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte conta com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, editado em 1980 pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (DNER/IPR), que foi revisado e atualizado em 2004 e segue, principalmente, a orientação de uma vasta bibliografia da *Federal Highway*

Administration e da *American Association of State Highway and Transportation Officials*, em que se pontifica o *Bridge's Inspector Training Manual* de 1990, editado pela FHWA em julho de 1991 e revisado em março de 1995. O manual tem dois objetivos principais:

- Treinar engenheiros e profissionais de nível médio para inspeções cadastrais e rotineiras de pontes rodoviárias;
- 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.

A NBR 9452 (1986) da ABNT determina três tipos de vistorias:

- Vistoria cadastral: refere-se aos procedimentos a serem adotados para a verificação da segurança e da durabilidade da obra, sendo esta vistoria complementada com os documentos e informes construtivos, compreendendo a identificação da obra, sua descrição e características estruturais;
- Vistoria rotineira: é realizada com a finalidade de manter o cadastro da obra atualizado e deverá ser realizada a intervalos de tempos regulares, não superiores a um ano, ou sempre que houver ocorrências excepcionais que a motive;
- Vistoria especial: tem por finalidade interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas em vistorias rotineiras, podendo ser visual e instrumental, realizada por engenheiros especialistas.

No entendimento de Siqueira (2009), a NBR 9452 (1986) da ABNT, na forma atual, não atende à plenitude que se deseja para a condução de uma vistoria satisfatória, visto que não aborda itens capitais constantes das pontes e viadutos e, por isso, restringe e empobrece a inspeção, quando não omite informações preciosas à estabilidade das obras.

A Norma DNIT 010/2004 – PRO acrescenta, além das três inspeções citadas, duas inspeções: a extraordinária e a intermediária.

- Inspeção extraordinária: é uma inspeção não programada, solicitada para avaliar um dano estrutural excepcional causado pelo homem ou pela natureza;
- Inspeção intermediária: é recomendada para monitorar uma deficiência 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, entre outros.

Nos Estados Unidos cada ponte deve ser inspecionada de acordo com o NBIS. Existem cinco tipos de controle principais (Quadro 13):

Principais controles de inspeção	
Inspeção de Inventário	É a inspeção inicial de uma ponte que passa a fazer parte do cadastro das pontes de um sistema de gerenciamento. As Inspeções de Inventário fornecem dados com informações dos elementos e condição estrutural básicas. As Inspeções de Inventário geralmente começam no escritório com os projetos e planejamentos de construção e as informações da sequência de execução, completando com as verificações das condições de <i>as-built</i> .
Inspeção de Rotina	A inspeção de rotina é realizada em intervalos regulares não superior a vinte e quatro meses. Intervalos de inspeção de mais de vinte e quatro meses, não superior a quarenta e oito meses, poderão ser aprovadas quando os últimos resultados da inspeção e análise apresentarem resultados que justifiquem este aumento. Para inspeções com mais de vinte e quatro meses é necessária a aprovação escrita da FHWA. A inspeção de rotina atual identifica a adequação estrutural e hidráulica e as condições da ponte. Deverá ser incluído no relatório de inspeção de rotina as recomendações de reparo e recomendações para posterior análise ou investigação.
Inspeção Especial	A inspeção especial é exigida nas pontes que tenham características especiais e complexas que requerem maior atenção. Os procedimentos de inspeção devem ser desenvolvidos para identificar as necessidades de controle e deve ser elaborada por inspetor com formação especializada e com experiência necessárias para inspecionar este tipo de ponte.
Inspeção emergencial	É uma avaliação aprofundada dos componentes críticos da ponte, realizada em conformidade com os procedimentos desenvolvidos para essa estrutura. Estes procedimentos de inspeção identificam o local do dano e descrevem os requisitos de controle. Um elemento com fratura crítica é definido como um elemento de aço em tensão, ou com um elemento de tensão, cuja falha provavelmente levaria uma parcela ou a ponte inteira para o colapso. Devem-se Inspecionar os elementos com fratura crítica, com periodicidade não superior a vinte e quatro meses.
Inspeção Subaquática	Uma inspeção subaquática é realizada em pontes com elementos estruturais que não são acessíveis para a inspeção de outra forma. O procedimento de inspeção subaquática será desenvolvido para identificar, localizar e descrever elementos subaquáticos para cada uma das pontes que exigem este tipo de inspeção. As Inspeções subaquáticas dos elementos estruturais devem ser regulares e em intervalos não superior a sessenta meses.

Fonte: Washington State Bridge Inspection Manual December (2006).

QUADRO 13 – Principais controles de inspeção

4.1.2 Instruções para atribuição de notas de avaliação – Estados Unidos

Códigos são usados para fornecer uma caracterização global do estado geral de todo o conjunto de componentes que estão sendo avaliados. Na atribuição de códigos de condição, portanto, o engenheiro deve considerar a gravidade da deterioração ou ruína, na medida em

que é difundida por todos os componentes a serem avaliados. São baseadas no estado geral dos elementos que compõem a ponte ou da superestrutura ou infraestrutura. O Quadro 14 descreve as instruções para atribuições de notas de avaliação.

Instruções para atribuição de notas de avaliação	
9	Não Aplicável.
8	Condição muito boa. Sem problemas anotados.
7	Bom estado. Alguns pequenos problemas.
6	Condições satisfatórias. Elementos estruturais apresentam pequena deterioração.
5	Razoável condição. Todos os elementos estruturais principais são sólidos, mas pode haver deficiências, tais como perda de seção, deterioração, fissuras, ou erosão.
4	Precárias condição. Com avançada deficiência, tais como perda de seção, deterioração, fissuras, ou erosão.
3	Sérias Condições. Perda de seção, deterioração, estilhaçamento ou a erosão têm afetado seriamente os principais componentes estruturais. Falhas localizadas são possíveis. Trincas de fadiga em aço ou talvez presença de fissuras de cisalhamento no concreto.
2	Estado crítico. Avançada deterioração dos principais elementos estruturais. Trincas de fadiga em aço ou fissuras de cisalhamento no concreto pode estar presente ou se não for acompanhada de perto, pode ser necessário fechar a ponte até que sejam tomadas medidas corretivas.
1	Condição de falha iminente. Maior deterioração ou perda seção crítica presente nos elementos estruturais ou de movimento vertical ou horizontal visível que afetam a estabilidade da estrutura. Ponte interdita, mas com a recuperação pode colocá-la de volta em condições de serviço.
0	Condição de falha. Fora de serviço. Sem recuperação. Interdição total ou demolição.

Fonte: Washington State Bridge Inspection Manual December (2006).

QUADRO 14 – Instruções para atribuição de notas de avaliação (Estados Unidos)

4.1.3 Instruções para atribuição de notas de avaliação – Brasil

Para a avaliação de elementos de pontes com função estrutural, conforme o sistema SGO v3 para gerenciamento do pontes do DNIT, é 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 15 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	Existe danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer; apenas manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes.
3	Há danos gerando insuficiência estrutural, sem sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser adiada, porém, colocar o problema em observação.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática. Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, p/ detectar agravamento d/insuficiência estrutural.

Continuação				
2	Há danos, com significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	<p>Obra problemática</p> <p>Adiar, a recuperação levará a estado crítico, comprometendo a vida útil da estrutura.</p> <p>Inspeções intermediárias são recomendáveis p/ monitorar os problemas.</p>
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) ou em alguns casos, substituição da obra, deve ser feita sem tardar.	Precária	<p>Obra crítica</p> <p>Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação 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; deformações entre outros.</p>

Nota: A nota final da ponte corresponde à menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

Fonte: DNIT 010/2004 – PRO

QUADRO 15 – Instruções para atribuição de notas de avaliação (Brasil)

Convém lembrar que foi utilizado esta fonte de instrução (Quadro 15) para avaliar (não considerando o ‘valor nota’) as condições aparentes de estabilidade das pontes do município de Pato Branco, ilustradas na Figura 37 do item 6.3.

5 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo são apresentados os caminhos percorridos para o levantamento das pontes do município de Pato Branco, bem como os procedimentos adotados para identificar as patologias encontradas.

Pato Branco, município criado em 14/11/1951, localizado no estado do Paraná, distante 433 km da capital, Curitiba, tem área de 562,30 km², sendo 16,22 km² na área urbana. Faz divisa com os municípios de Bom Sucesso do Sul, Clevelândia, Coronel Vivida, Honório Serpa, Itapejara D' Oeste, Mariópolis, Renascença e Vitorino. Possui uma população de aproximadamente 70.160 habitantes, com 1.185 propriedades rurais. As principais atividades econômicas desenvolvidas são a produção de soja e milho e atividade leiteira, com produção agropecuária de R\$ 94.836.878,86 (Deral/SEAB – 2008).

5.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Em relação aos objetivos propostos, o presente estudo foi caracterizado como pesquisa descritiva, método que tem como objetivo primordial a descrição das características de determinado fenômeno. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título, cuja característica mais significativa é a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tal como a observação (GIL, 2002).

O método utilizado para identificar os danos mais recorrentes das pontes no município de Pato Branco foi fundamentado na norma de inspeção do DNIT - NORMA 010/2004 – PRO, que tem por finalidade interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas em vistorias, podendo ser visual e instrumental. Neste caso foi apenas visual, porém fundamentado em registro fotográfico.

5.1.1 Coleta de dados

Os dados coletados foram obtidos fundamentalmente por observação pessoal não participante, com estilo de relato descritivo, e fundamentado com ilustrações fotográficas. A coleta de dados por observação do tipo não participante manifesta para o observador da pesquisa que a relação é simplesmente de campo. A participação tende a ser mais profunda

em virtude de uma observação informal da vivência dos fatos mais relevantes e no acompanhamento das práticas cotidianas (MARCONI; LAKATOS, 2001).

5.1.2 Etapas da pesquisa

A coleta de dados foi desenvolvida por meio de visitas nas pontes do sistema viário do município de Pato Branco (Apêndice g) durante três meses (05/07/2009 até 15/10/2009). Para tanto, o delineamento geral da pesquisa demandou cinco etapas consecutivas, como descritas na sequência:

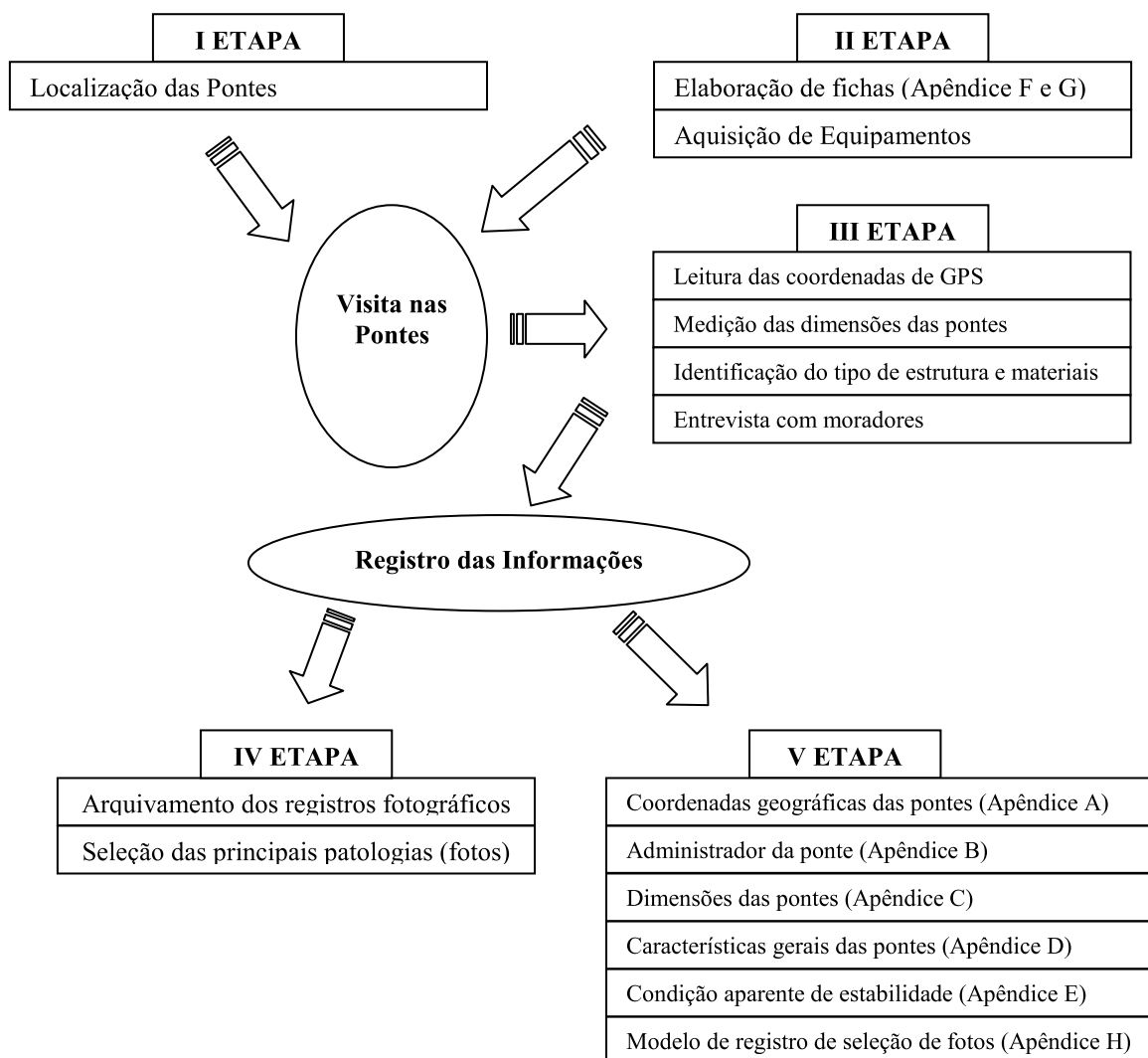


FIGURA 30 – Etapas da pesquisa

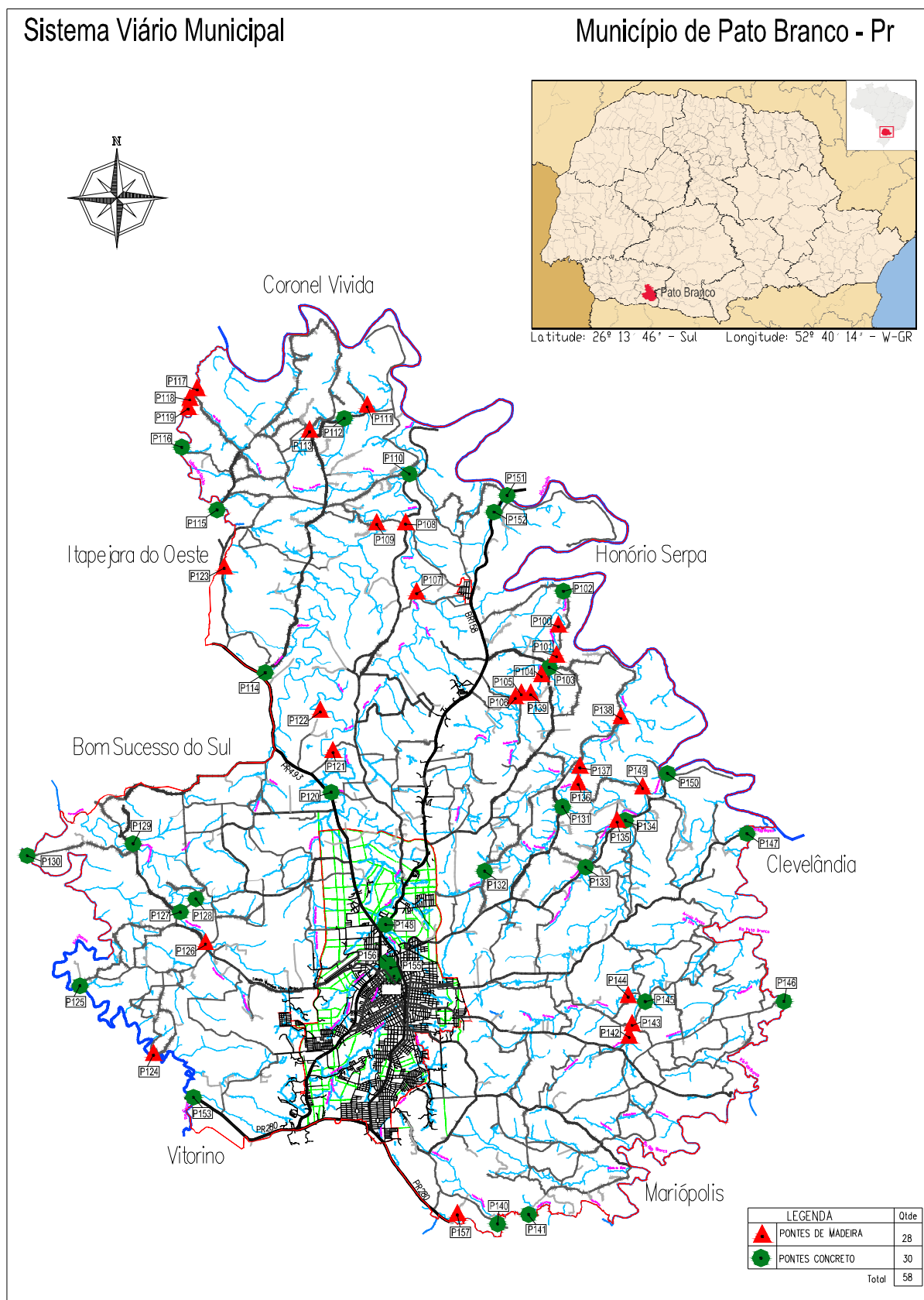


FIGURA 31 - Mapa de localização das pontes e identificação do tipo de material da superestrutura

I – Etapa

De posse do mapa do sistema viário municipal (<http://www.ippub.org.br/>) e com auxílio do Google Earth (<http://earth.google.com/>), foram identificadas as possíveis pontes localizadas nas estradas, conforme ilustra a Fig. 31:

II – Etapa

- Aquisição de equipamentos, tais como máquina fotográfica, trenas, prumo, facão, aparelho leitor de coordenadas de GPS, outros;
- Elaboração de fichas com base no anexo A e B da norma DNIT 010/2004-PRO, para anotação de dados (Apêndice F e G);

III – Etapa

Visitas às pontes através de rota predefinida efetuando os seguintes trabalhos:

- Leitura das coordenadas de GPS;
- Medição das dimensões das pontes (comprimento, largura);
- Identificação do tipo de estrutura e materiais utilizados na construção da ponte;
- Entrevista com moradores da comunidade, registro das demais informações;

IV – Etapa

- Arquivamento e análise dos registros fotográficos;
- Seleção das fotos com as principais patologias encontradas nas pontes;

V – Etapa

Registro das diversas informações encontradas sobre as pontes:

- Coordenadas geográficas das pontes por GPS (Sistema de Posicionamento Global) do município de Pato Branco (Apêndice A);
- Administrador da ponte (Apêndice B);
- Dimensões das pontes do município de Pato Branco – PR (Apêndice C);
- Características gerais das pontes (Apêndice D);
- Condição aparente de estabilidade (Apêndice E);
- Manifestações patológicas nos elementos das superestruturas das pontes de concreto do município de Pato Branco – PR (Apêndice F);
- Manifestações patológicas nos elementos das superestruturas das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR (Apêndice G);

- Manifestações patológicas nos elementos de concreto dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR (Apêndice H);
- Manifestações patológicas nos elementos de madeira dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR (Apêndice I);
- Ficha de inspeção cadastral de inscrição (Apêndice J);
- Modelo de registro de seleção de fotos com comentário individual de cada ponte (Apêndice K). Nesta ficha estão inclusas seis fotografias, que caracterizam as condições pormenorizadas da mesma. Além disso, apresenta as seguintes informações:
 - a) Localização;
 - b) Idade;
 - c) Comprimento;
 - d) Largura; Latitude e Longitude;
 - e) Material de Superestrutura;
 - f) Tipologia da estrutura.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, TIPO DE ESTRUTURA, MATERIAL DA SUPERESTRUTURA E IDADE

O presente estudo buscou identificar as pontes existentes no município de Pato Branco, mostrando detalhadamente os principais aspectos de cada uma, tais como: localidade; material da superestruturura (Tabela 1); comprimento; largura da pista; tipo de estrutura; estimativa de idade e patologias encontradas, entre outros detalhes registrados nos apêndices. Convém lembrar que cada ponte foi registrada por um código (Cód.), constando nos apêndices deste estudo outras particularidades de cada uma delas.

Neste capítulo apresentam-se informações gerais sobre as características das 58 pontes e as principais patologias encontradas entre vias urbanas e rurais com ampla documentação fotográfica.

TABELA 1 – Dados gerais das pontes do município de Pato Branco – PR

Dados gerais das pontes do município de Pato Branco – PR						
Cód. Ponte	Localidade	Material Superestrutura	Comprimento (m)	Largura da pista (m)	Tipo de Estrutura	Estimativa de idade
P100	Linha Quebra Freio	Madeira	7,25	2,35	Vigas	15
P101	Linha Quebra Freio	Madeira	7,60	2,45	Vigas	40
P102	Linha Quebra Freio	Concreto	8,70	4,55	Vigas	4
P103	Linha Quebra Freio	Concreto	11,00	4,40	Vigas	26
P104	Linha Quebra Freio	Madeira	6,80	2,20	Vigas	50
P105	Linha Quebra Freio	Madeira	6,60	2,30	Vigas	50
P106	Linha Quebra Freio	Madeira	6,10	2,20	Vigas	50
P107	Distrito Novo Espero	Madeira	6,10	2,30	Vigas	50
P108	Linha Rondinha	Madeira	6,80	2,30	Vigas	12
P109	Linha Rondinha	Madeira	9,40	2,70	Vigas	50
P110	Linha Rondinha	Concreto	17,00	4,45	Vigas	22
P111	Linha Esperança	Madeira	5,00	2,20	Vigas	40
P112	Linha Esperança	Concreto	7,50	4,50	Vigas	30
P113	Linha Esperança	Madeira	5,00	2,30	Vigas	20
P114	Sede Dom Carlos	Concreto	6,70	5,80	Laje	20
P115	Linha Sede Gavião	Concreto	5,00	5,75	Laje	20
P116	Linha Sede Gavião	Concreto	6,00	2,65	Vigas	30
P117	Linha Santo Agostinho	Madeira	7,10	2,35	Vigas	35
P118	Linha Santo Agostinho	Madeira	9,20	2,30	Vigas	10
P119	Linha Santo Agostinho	Madeira	6,00	2,10	Vigas	35
P120	Linha Passo da Pedra	Concreto	8,55	5,10	Laje	10
P121	Linha Passo da Pedra	Madeira	8,70	2,50	Vigas	6
P122	Passo da Pedra	Madeira	15,60	2,40	Vigas	50
P123	Sede Gavião	Madeira	4,30	2,50	Vigas	10
P124	Linha Independência	Madeira	12,10	3,00	Viga/Trilho	40

Continuação						
Cód. Ponte	Localidade	Material Superestrutura	Comprimento (m)	Largura da pista (m)	Tipo de Estrutura	Estimativa de idade
P125	Linha Independência	Concreto	14,60	4,70	Laje	25
P126	Linha Independência	Madeira	5,20	2,30	Vigas	20
P127	Linha Independência	Concreto	6,00	5,70	Vigas	4
P128	Linha Independência	Concreto	6,30	4,50	Vigas	10
P129	Linha Independência	Concreto	13,00	5,85	Vigas	15
P130	Linha Independência	Concreto	18,10	6,05	Vigas	20
P131	Linha São Caetano	Concreto	7,00	4,35	Vigas	30
P132	Linha S. P. de Alcântara	Concreto	8,60	4,50	Vigas	30
P133	Linha N. S. do Carmo	Concreto	12,50	4,65	Vigas	8
P134	Linha N. S. do Carmo	Concreto	7,65	4,45	Vigas	30
P135	Linha N. S. do Carmo	Madeira	5,65	2,25	Vigas	30
P136	Linha São Caetano	Madeira	8,00	2,20	Vigas	50
P137	Linha São Caetano	Madeira	6,70	2,20	Vigas	40
P138	Linha Barra do Dourado	Madeira	8,30	2,40	Vigas	30
P139	Linha Quebra freio	Madeira	6,20	2,60	Vigas	30
P140	Linha Damaceno	Concreto	7,30	5,60	Vigas	2
P141	Linha Damaceno	Concreto	12,80	4,75	Vigas	15
P142	Linha Passo da Ilha	Madeira	4,90	2,40	Vigas	30
P143	Linha Passo da Ilha	Madeira	5,50	2,20	Vigas	50
P144	Linha Passo da Ilha	Madeira	6,15	2,30	Vigas	8
P145	Linha Passo da Ilha	Concreto	8,70	4,05	Vigas	30
P146	Linha Soares	Concreto	21,90	4,60	Vigas	14
P147	Linha São João Batista	Concreto	59,00	4,75	Vigas	30
P148	Parque Industrial (BR 158)	Concreto	55,00	7,20	Vigas	30
P149	Linha Cachoeirinha	Madeira	6,70	2,25	Vigas	30
P150	Linha Cachoeirinha	Concreto	160,00	10,50	Vigas	8
P151	Linha Mafra – BR 158	Concreto	170,00	7,10	Vigas	40
P152	Linha Mafra – BR 158	Concreto	5,00	7,20	Laje	40
P153	Linha Independência	Concreto	82,00	7,20	Vigas	40
P154	Bairro Bortot	Concreto	6,50	10,00	Laje	30
P155	Bairro Bortot	Concreto	7,00	10,05	Laje	30
P156	Bairro Bortot	Concreto	6,30	8,10	Laje	30
P157	Linha Três Pontes	Madeira	4,30	2,50	Vigas	30

A administração das pontes que fazem parte do sistema viário municipal em 66% é responsabilidade do Município de Pato Branco conforme observa-se na Figura 32. Além de suas pontes, o município faz parceria administrativa com outros municípios: 9% com o município de Itapejara d'Oeste; 5% com Vitorino; 5% com Mariópolis; 3% com Clevelândia e 2% com Honório Serpa. Outras pontes que fazem parte desta rede viária são assim administradas: 5% pelo DNIT e 2% com o DER-PR. Ainda existem 3% das pontes consideradas particulares, uma delas localizada numa fazenda, na qual a circulação de veículos é restrita aos veículos da fazenda e a alguns moradores das redondezas. Interessante é uma ponte que foi executada de forma rudimentar por um morador do município de Itapejara D'Oeste, que precisa do acesso para Pato Branco.

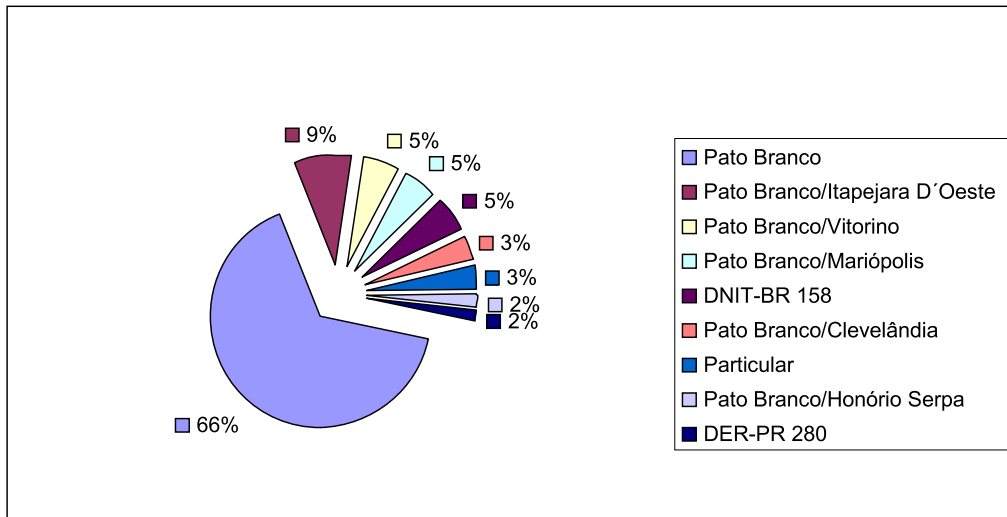


FIGURA 32 - Administração das pontes

6.2 PONTES: CARACTERÍSTICAS DAS PONTES AVALIADAS

O modelo estrutural encontrado nas pontes do município de Pato Branco é composto, de pontes de madeira, de vigas de madeira roliça ou falquejadas e, nas pontes de concreto, de vigas e lajes (Fig. 33). As vigas pré-moldadas tipo “I”, tipo “T”, predominam e existem também vigas de concreto moldado no local. As lajes são, na sua maioria, de concreto armado moldado *in loco*, e algumas foram executadas com laje pré-moldada com capa de concreto.

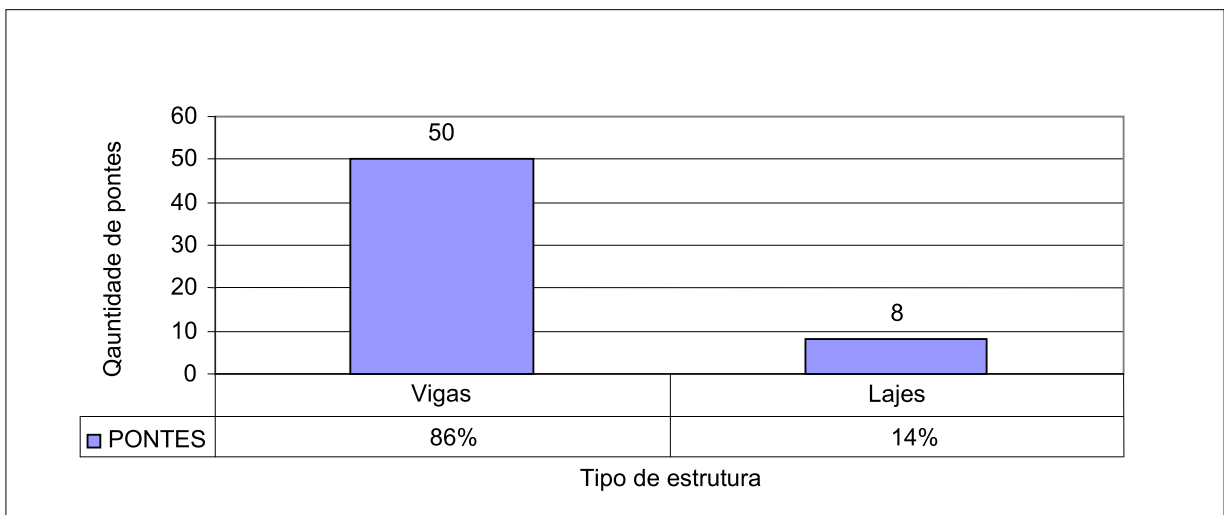


FIGURA 33 – Modelo estrutural das pontes do município de Pato Branco - PR

As pontes existentes no município são compostas por 74% de pontilhões com menos de 10 m de comprimento e 90% com extensão abaixo de 20 m (Fig. 34). As somatórias das pontes de concreto ocorrem em uma extensão de 765,70 m e as pontes de madeira uma

extensão de 197,25 m, totalizando 962,95 m de pontes no município. As pontes mais extensas são administradas pelos órgãos dos governos estadual e federal. Cabe salientar que, por se tratar de pontilhões, percebe-se a falta de cuidado com o projeto, execução, uso, manutenção e demais cuidados que requerem uma obra de tal importância como as pontes, cujo risco não se restringe às ocasiões em que ocorre algum acidente ou impossibilidade de transitar.

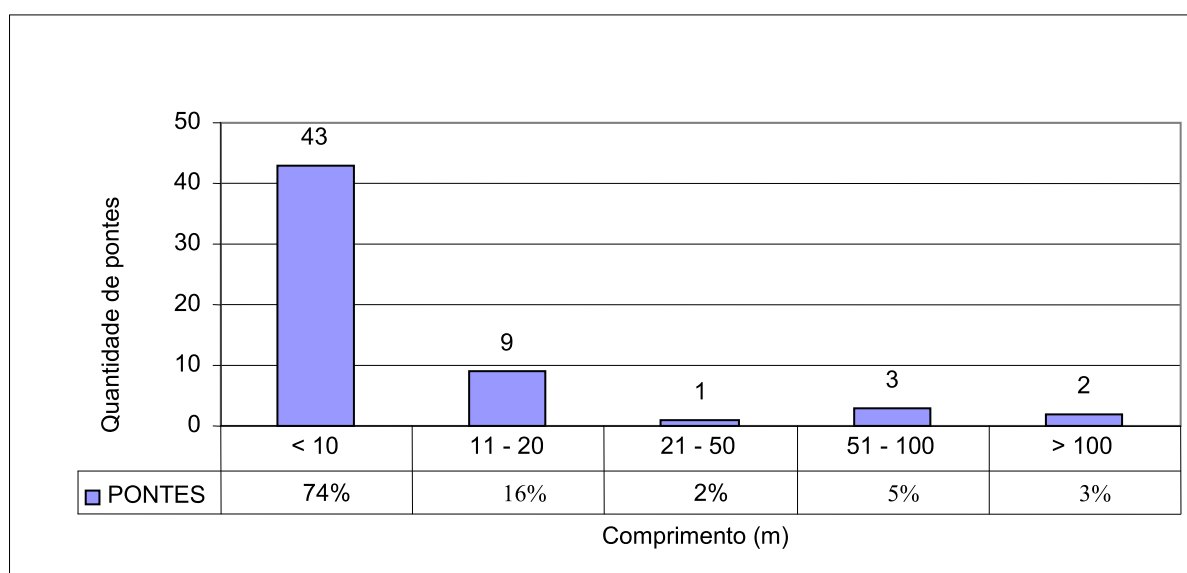


FIGURA 34 – Extensão das pontes do município de Pato Branco - PR

A idade das pontes (Fig. 35) é de difícil precisão na obtenção dos dados, em razão da falta de registro pelos órgãos responsáveis. As informações apresentadas neste gráfico são resultado de inscrições em placas fixadas nas pontes e feitas no concreto fresco, bem como por pesquisa de campo por meio de entrevista com moradores lindeiros.

Observa-se que no início da década de 1980 muitas pontes foram executadas, fato que se deveu a grandes cheias, que danificaram e ou levaram as pontes pela força das águas, obrigando os administradores a recuperá-las.

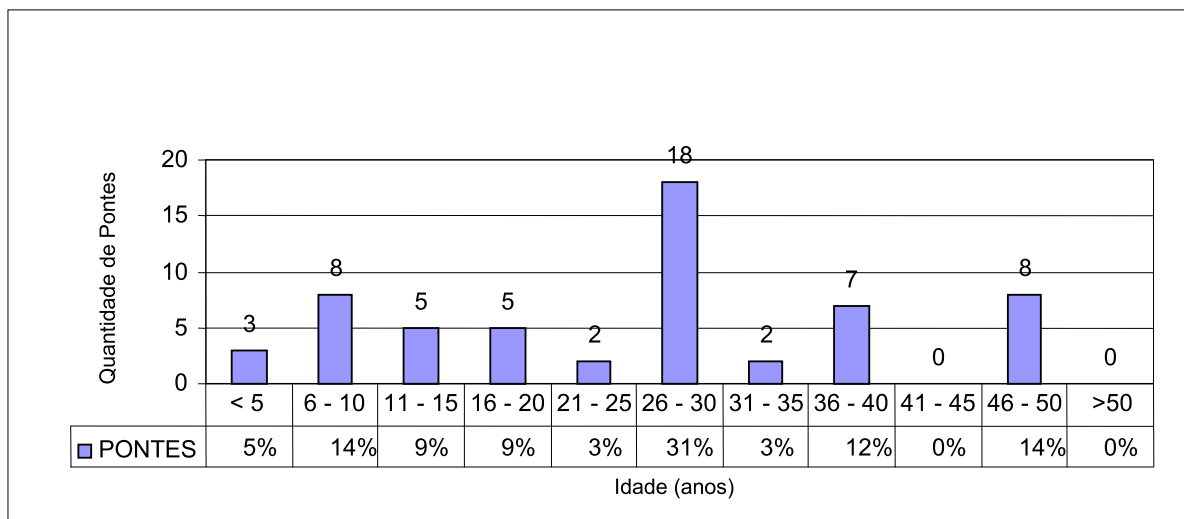


FIGURA 35 – Idade estimada das pontes do município de Pato Branco - PR

As pontes do município de Pato Branco foram executadas com materiais de fácil aquisição, sendo 48% com madeira e 52% em concreto (Fig. 36). Contudo, cabe salientar que a falta de planejamento e de equipe técnica qualificada para manusear esses materiais acabou resultando em grande quantidade de patologias. Por isso, seria aconselhável que os responsáveis pela execução e manutenção deste bem público elaborassem planos de gerenciamento das pontes visando a um melhor desempenho físico e financeiro e a maior segurança para sua população.

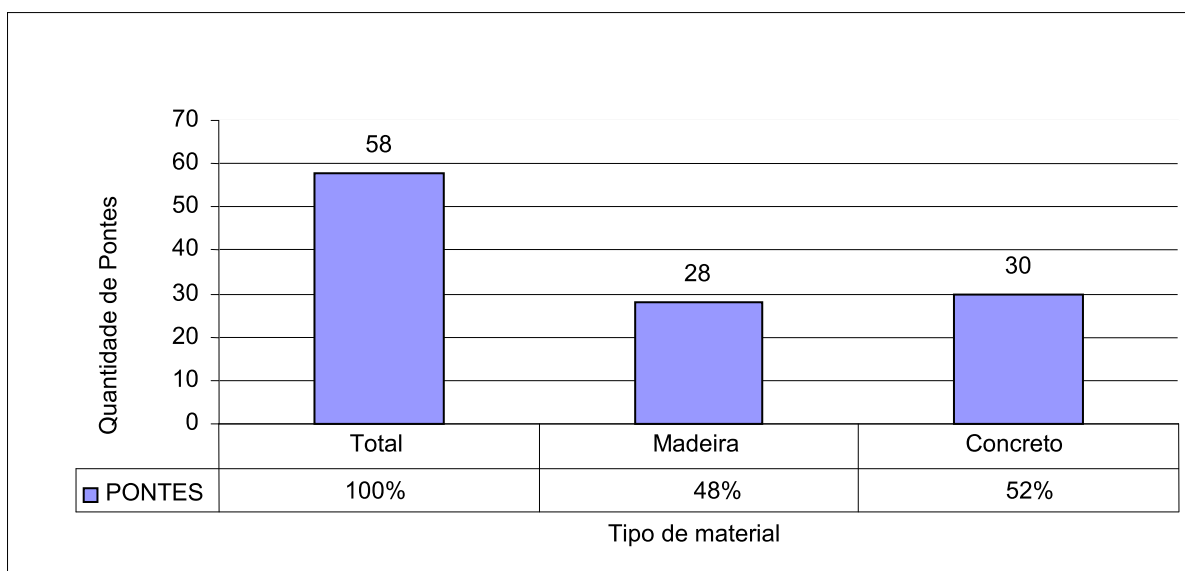


FIGURA 36– Material das superestruturas das pontes do Município de Pato Branco - PR

6.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS PONTES

Neste item são apresentados diversos tipos de patologias encontradas nas pontes do sistema viário do município de Pato Branco – Paraná. Observam-se diferentes riscos para cada estrutura das pontes em razão do grau de patologia que apresentam.

Verifica-se que as condições aparentes de estabilidade das pontes do município de Pato Branco requerem urgentes melhorias (Fig. 37), uma vez que 22% delas estão em situação precária e 19%, em situação sofrível, como comprovado nas ilustrações que fazem parte deste capítulo (NORMA 010/2004 – PRO do DNIT).

O estudo possibilitou identificar outras importantes informações, tal como a ocorrência de dez acidentes, inclusive com vítimas fatais. Quanto às características gerais das pistas, das 58 pontes do município 54 (93%) não possuem acostamento; 51 (88%) não contam com passeios; 29 (50%) não possuem guarda-rodas; 50 (86%) não têm guarda-corpo; 55 (95%) das pontes não contam com sinalização vertical; as faixas na pista são de difícil identificação, sendo na sua maioria constituídas de uma faixa. Outro dado importante é a constatação de que em 14 (24%) das pontes a seção de vazão aparenta ser insuficiente.

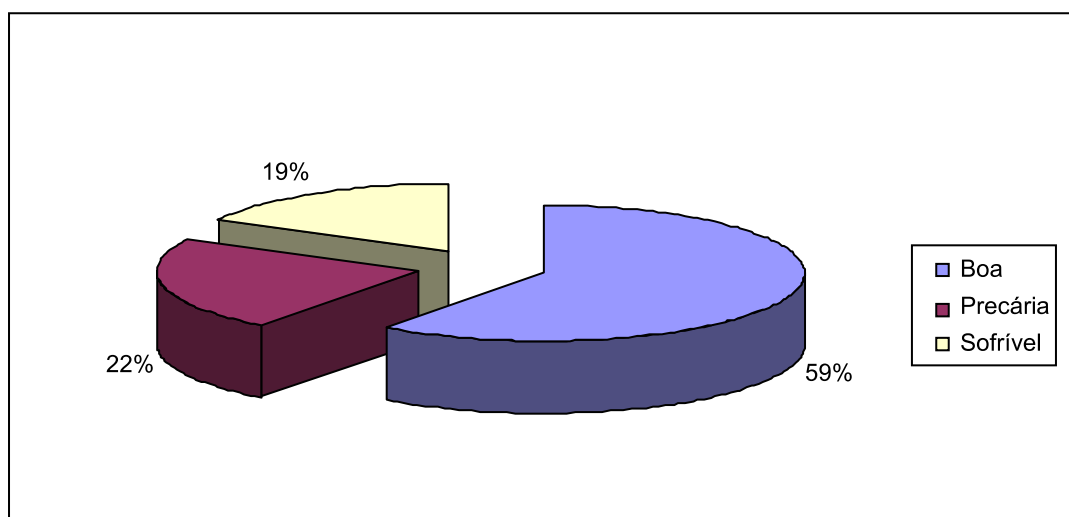


FIGURA 37 – Condições aparentes de estabilidade encontrada nas pontes vistoriadas de acordo com a norma 010/2004 – PRO do DNIT

Para a avaliação de elementos de pontes com função estrutural foram adotados os seguintes critérios: **Boa** - Não há danos nem insuficiência estrutural ou existe danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural. Obra sem problemas importantes.

Sofrível - Existe danos gerando insuficiência estrutural, sem sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Não há aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural. Obra potencialmente problemática, recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras para detectar agravamento de insuficiência estrutural. Adiar a recuperação levará a estado crítico, comprometendo a vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas. **Precária** - Existem danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte, encontra-se em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. Obra crítica. Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação 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; deformações entre outros. A recuperação (geralmente com reforço estrutural) ou em alguns casos, substituição da obra, deve ser feita sem tardar.

Conforme inspeção visual recomenda-se a necessidade de inspeção por profissional especializado em estruturas em 43%(25 pontes) das pontes do município.

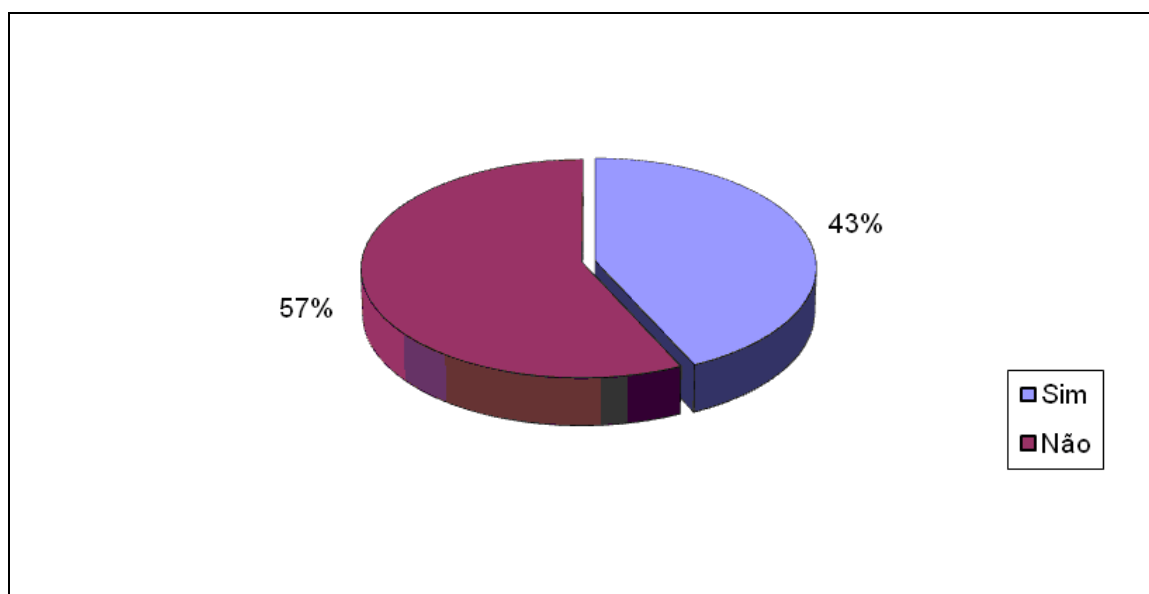


FIGURA 38 – Necessidade de inspeção especializada no total das pontes vistoriadas

Conforme indicado no apêndice E – Condição aparente de estabilidade, do total de pontes do município (58), recomenda-se inspeção urgente em 21% ou seja, em 12 pontes do total.

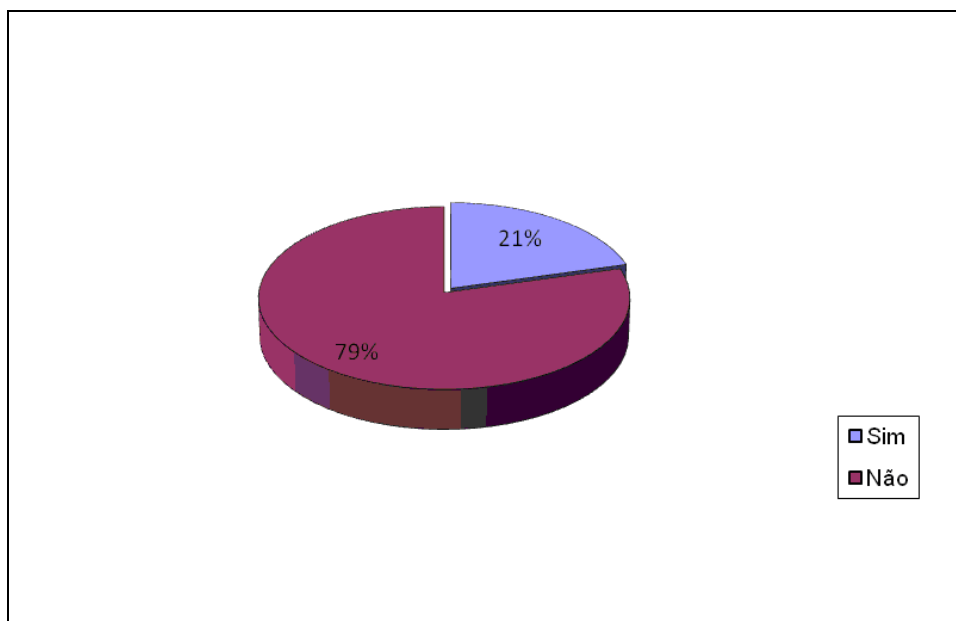


FIGURA 39 – Necessidade de inspeção especializada urgente do total das pontes do município

As principais manifestações patológicas observadas visualmente nos elementos da superestrutura das pontes de concreto do município de Pato Branco foram 83% com armadura exposta, 70% apresentam falhas no sistema de drenagem, 67% com abrasão no concreto do tabuleiro e 67% deparam com falhas de concretagem (Fig. 40).

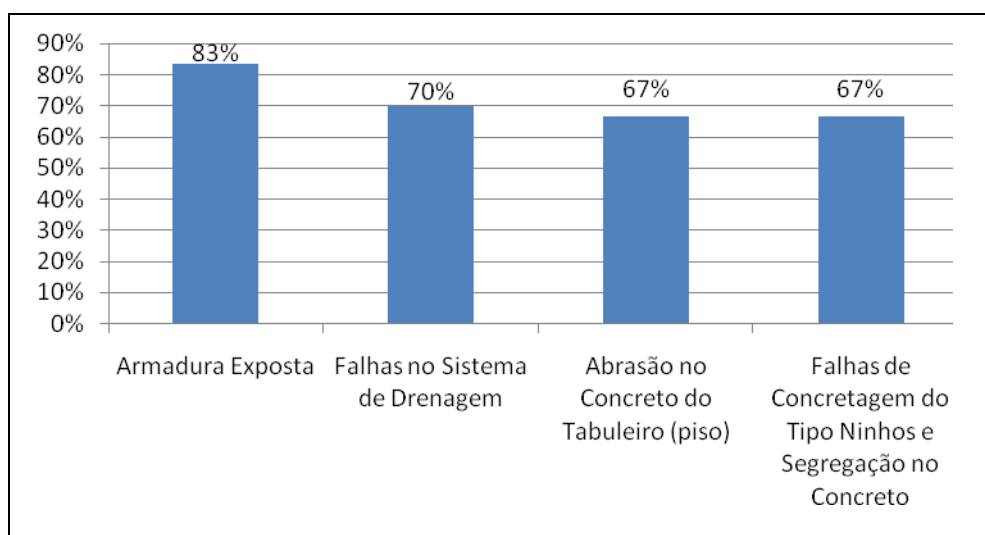


FIGURA 40 – Manifestações patológicas nos elementos da superestrutura das pontes de concreto do município de Pato Branco – PR

As principais manifestações patológicas observadas visualmente nos elementos da superestrutura das pontes de madeira do município foram 93% com danos na madeira por ataque de insetos e ou fungos, 43% das pontes de madeira apresentam vigas em estágio

avançado de apodrecimento, 82% com defeitos nas peças de madeira do tabuleiro e 25% apresentam danos devido a sobrecarga de veículos (Fig. 41).

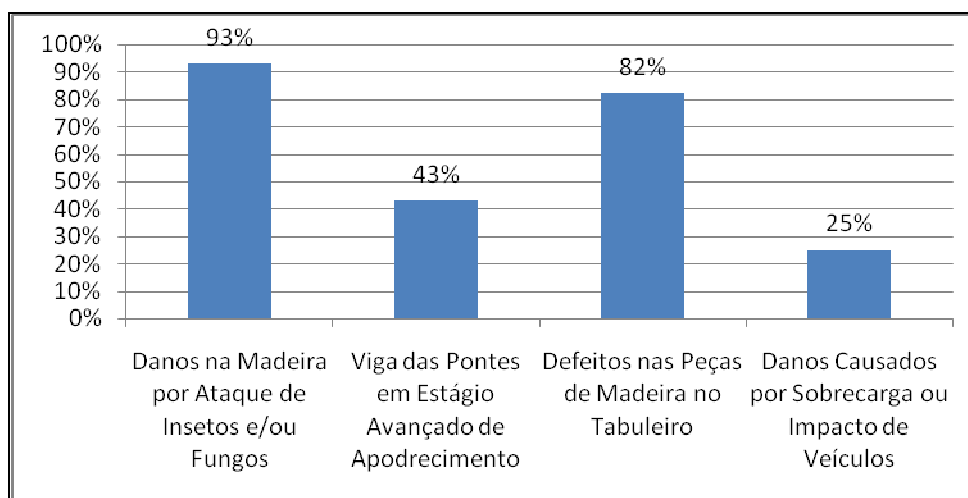


FIGURA 41 – Manifestações patológica nos elementos da superestrutura das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR

As principais manifestações patológicas observadas visualmente nos elementos de concreto dos apoios (pilares) das pontes do município foram 33% com armadura exposta, 67% deparam com falhas de concretagem, 67% apresentam erosão do concreto e 50% aparentam estar com erosão no solo das fundações (Fig. 42).

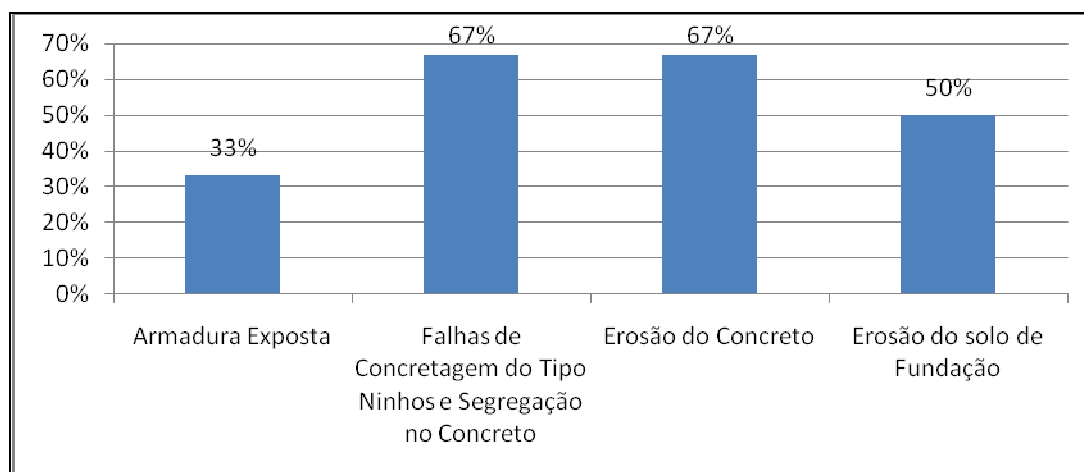


FIGURA 42 – Manifestações patológicas nos elementos de concreto dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR

O município apresenta dez pontes com apoios das pontes (pilares) construídos com toras de madeira tipo estiva e as principais manifestações patológicas observadas visualmente nos elementos de madeira dos apoios (pilares) das pontes foram 100% com toras de apoio em

estágio avançado de apodrecimento e 100% aparentam estar com erosão no solo das fundações (Fig. 43).

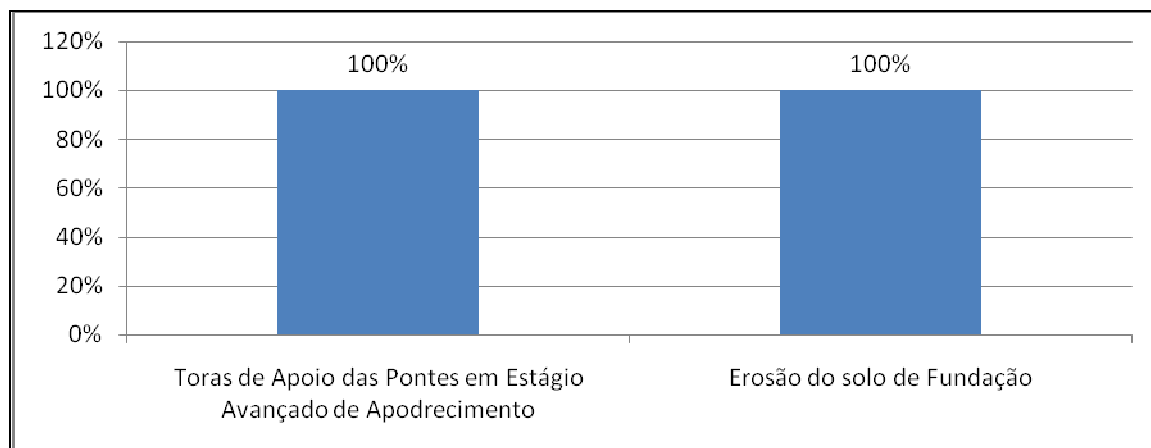


FIGURA 43 – Manifestações patológicas nos elementos de madeira dos apoios (pilares) das pontes do município de Pato Branco – PR

6.3.1 Patologias nas pontes de concreto

A seguir estão expostas 32 fotografias com as principais patologias encontradas nos elementos de concreto das pontes do município de Pato Branco.

A ponte da Fig. 44 apresenta, próximo aos tubos de drenagem, manchas e deslocamento do concreto e armadura aparente em estágio avançado de corrosão. É fato constatado que um dos sintomas comuns e de maior acometimento no concreto são as manchas e a corrosão da armadura.



FIGURA 44 - Deslocamento de concreto e corrosão de armadura (Ponte P148)

A ponte da Fig. 45 apresenta acelerado processo de corrosão, ocasionado pela falta de pingadeira na lateral e deficiência no cobrimento da armadura. A utilização incorreta de pingadeiras e ninhos de concretagem em estruturas de concreto é falha que pode, individualmente ou em conjunto, criar as condições necessárias para diminuir a vida útil das estruturas.



FIGURA 45 - Corrosão de armadura da viga lateral da ponte (Ponte P129)

Observa-se na ponte da Fig. 46 deslocamento do concreto em virtude da despassivação da armadura, intensificando o processo corrosivo. Destaca-se que o concreto, como todos os demais materiais, está sujeito à degradação natural; entretanto, várias causas podem apressar a degradação das estruturas de concreto armado.



FIGURA 46 - Deslocamento do concreto com exposição da armadura (Ponte P145)

A ponte da Fig. 47 ilustra a exposição de armadura de estribo. Salienta-se que os fatores que afetam a corrosão da armadura estão associados basicamente às características do concreto, ao meio ambiente e à disposição das armaduras nos componentes estruturais afetados.



FIGURA 47 - Exposição de armadura de estribo (Ponte P151)

Verifica-se na ponte da Fig. 48 detalhe de fixação de tubulações na laje da ponte. Nota-se falta de planejamento para fixação dos elementos externos, tais com tubulações, provocando um ponto de início do processo corrosivo da armadura.



FIGURA 48 - Detalhe de fixação de tubulações na laje da ponte (Ponte P156)

As galerias de águas pluviais foram executadas diretamente na laje da ponte, da fig. 49. Percebe-se neste local que o processo corrosivo é intenso em razão da umidade constante.



FIGURA 49 - Vista inferior da laje no acesso de drenagem das águas pluviais (Ponte P155)

As juntas de dilatação na ponte da Fig. 50 são dispositivos adequados capazes de acompanhar os movimentos da estrutura e de prover uma perfeita vedação do local. Em virtude da falta de vedação das juntas, a penetração da água é facilitada e mantém úmida a região, provocando corrosão da armadura.



FIGURA 50 - Corrosão da armadura nas bordas da junta de dilatação da ponte (Ponte P155)

Na viga pré-moldada na ponte da Fig. 51 verifica-se a armadura exposta facilitando o processo corrosivo nas armaduras.



FIGURA 51 – Armadura exposta na viga pré-moldada (Ponte P103)

Na ponte das Fig. 52 e 53 verifica-se falha grave de posicionamento da armadura, executado com espaçador inadequado (sarrafo de madeira), com exposição da armadura ao ataque pela corrosão, diminuindo a seção da armadura e podendo causar rompimento das barras e levar a ponte ao colapso.



FIGURA 52 - Espaçador de sarrafo de madeira (Ponte P121)



FIGURA 53 - Armadura exposta (Ponte P121)

Percebem-se nas pontes das Fig. 54 e 55 danos nas vigas em razão de ninhos de concretagem e colisão das peças no momento da montagem da estrutura pré-moldada. Chama-se atenção para o fato de que o governo do Paraná, por meio de parceria com os municípios, auxilia na execução de algumas pontes das estradas rurais. Este programa prevê o fornecimento das vigas pré-moldadas e o município encarrega-se de executar a ponte. Ocorre que estas vigas apresentam falhas de concretagem (ninhos) e recobrimento insuficiente.



FIGURA 54 - Ninhos de concretagem (Ponte P129)



FIGURA 55 - Cobrimento de armadura (Ponte P126)

Percebe-se na ponte da Fig. 56 ninhos de concretagem na face inferior da longarina, por falha de adensamento do concreto e possível taxa elevada de armadura.



FIGURA 56 - Ninhos de concretagem na face inferior da longarina (Ponte P148)

Na ponte da Fig. 57 verifica-se rompimento do elemento estrutural no balanço de acesso. Dentre os problemas patológicos encontrados nesta ponte está o da aparente vibração excessiva sentida ao ser realizada a inspeção da ponte.



FIGURA 57 - Rompimento do balanço de acesso da estrutura da ponte (Ponte P151)

O impacto nas estruturas das pontes (Fig. 58) do município de Pato Branco ocorre, na sua quase totalidade, por troncos de árvores que são arrastados pelas correntezas das águas e acabam colidindo com elementos estruturais das pontes, provocando danos na sua estrutura.



FIGURA 58 - Troncos de árvores impactando no pilar (Ponte P110)