

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DA DEGRADAÇÃO DE PONTES DE
CONCRETO ARMADO E MISTAS NOS ESTADOS DO CEARÁ E
AMAZONAS

ANTONIO EDVAR ANDRADE FILHO

Manaus
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ANTONIO EDVAR ANDRADE FILHO

ESTUDO COMPARATIVO DA DEGRADAÇÃO DE PONTES DE
CONCRETO ARMADO E MISTAS NOS ESTADOS DO CEARÁ E
AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Estruturas e Pavimentos.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco dos Santos Rocha

Manaus
2008

Ficha Catalográfica
(Catalogação na fonte realizada pela Biblioteca Central – UFAM)

Andrade Filho, Antonio Edvar

A554e Estudo comparativo da degradação de pontes de concreto armado e mistas nos estados do Ceará e Amazonas / Antonio Edvar Andrade Filho. - Manaus: UFAM, 2008.
107 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Amazonas, 2008.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco dos Santos Rocha

1. Pontes – Projetos e construção 2. Construção civil 3. Rodovias – Brasil I. Vasconcelos, Raimundo Pereira de II. Rocha, Francisco dos Santos III. Universidade Federal do Amazonas IV. Título

CDU 625.745.1(811.3)(813.1)(043.3)

ANTONIO EDVAR ANDRADE FILHO

ESTUDO COMPARATIVO DA DEGRADAÇÃO DE PONTES DE
CONCRETO ARMADO E MISTAS NOS ESTADOS DO CEARÁ E
AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Estruturas e Pavimentos.

Aprovado em 29 de julho de 2008

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Francisco dos Santos Rocha, Membro
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene, Membro
Politécnica da Universidade de São Paulo

À minha esposa Nádyá e meus filhos
Davi e Vitória. Aos meus pais Edvar e
Jandira pelo incentivo para a realização
deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado coragem e determinação para a vida;

Aos meus pais que com todo esforço e dedicação me deram a educação e o preparo, necessários à condução da minha vida;

A minha esposa e filhos, que com amor, paciência e sabedoria aceitaram e compreenderam a minha ausência em tantos momentos;

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, que com sua sabedoria me mostrou o melhor caminho a ser trilhado para atingir este objetivo;

A todos os professores da pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Amazonas que acreditaram e me apoiaram na realização deste desafio, em especial ao meu co-orientador Prof. Dr. Francisco dos Santos Rocha, pelos seus conhecimentos transmitidos, pela sua paciência e dedicação;

Ao meu amigo e professor Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene pelos seus ensinamentos técnicos que me serviram de incentivo ao desenvolvimento desse trabalho;

Ao Prof. José Orlando Medeiros e demais amigos do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará por dar novo arranjo ao curso de edificações quando de minha ausência;

Ao meu amigo Rosemberg Mendes Zogahib, pelo apoio espontâneo nas grandes dificuldades de levantamentos de dados em campo no Estado do Amazonas;

Ao meu amigo Cláudio José Montenegro Silva que, nos diversos momentos de dificuldade, esteve sempre disposto a ajudar na digitação do trabalho;

Aos amigos da Divisão de Tecnologia de Construção Civil do NUTEC pela cooperação e companheirismo durante os levantamentos de dados no Estado do Ceará, e;

A todos aqueles que direta ou indiretamente me auxiliaram nos momentos de dificuldade para obtenção deste propósito.

**O verdadeiro ato da descoberta
não consiste em encontrar novas terras,
mas sim em vê-las com novos olhos.**

Marcel Proust

ESTUDO COMPARATIVO DA DEGRADAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO ARMADO E MISTAS NOS ESTADOS DO CEARÁ E AMAZONAS

Antonio Edvar Andrade Filho

RESUMO

No presente trabalho, são tratadas das principais ocorrências patológicas em obras de arte rodoviárias nos Estados do Ceará e Amazonas, visando subsidiar os profissionais envolvidos com projetos de pontes e, também, contribuir com a prevenção de futuras manifestações patológicas. A necessidade deste estudo decorre do elevado número de ocorrências patológicas em obras rodoviárias no Brasil, que tem demandado um custo bastante significativo no que se refere à recuperação e/ou reforço desse tipo de estrutura. Foram vistoriadas setenta e quatro pontes pertencentes às rodovias CE-060, CE-292, CE-359 e CE-386, componentes da malha viária do Estado do Ceará, e AM-010, BR-319 e BR-174, componentes da malha viária do Estado do Amazonas. A metodologia adotada na pesquisa passou pelo levantamento de dados, compreensão, avaliação e comparação das patologias, suas manifestações e causas quando inseridas em dois meios ambientes. Foi contemplada, no desenvolvimento da pesquisa, a criação de um sistema computacional específico para gerenciar obras de arte rodoviárias. Constam, ainda, considerações técnicas para melhoria da qualidade de futuras obras do gênero, numa tentativa de contribuir com a segurança e funcionalidade das obras de arte no Brasil, ampliando a vida útil desse tipo de estrutura.

Palavras-chave: Patologia, ponte, construção civil.

COMPARATIVE STUDY OF THE DEGRADATION IN BRIDGES OF REINFORCED CONCRETE AND STEEL-CONCRETE IN THE STATES OF THE CEARÁ AND AMAZONAS

Antonio Edvar Andrade Filho

ABSTRACT

In the present work, they are dealt with the main pathological occurrences in bridges in the States of the Ceará and Amazonas, aiming at to subsidize the involved professionals with projects of road bridges and, also, to contribute with the prevention of future pathologies. The necessity of this study elapses of the high number of pathological occurrences in road workmanships in Brazil that has demanded a sufficiently significant cost as for the recovery and/or reinforcement of this type of structure. Seventy four pertaining bridges to highways CE-060, CE-292, CE-359 and CE-386, components of the road mesh of the State of the Ceará, and AM-010, BR-319 and BR-174 had been inspected, components of the road mesh of the State of Amazonas. The methodology adopted in the research passed for the understanding, data-collecting, evaluation and comparison of the pathologies, it's when inserted manifestations and causes in two half environments. It was contemplated, in the development of the research, the creation of a specific computational system to manage works of art road. They consist, still, considerations techniques for improvement of the quality of future workmanships of the sort, in an attempt to contribute with the security and functionality of the works of art in Brazil, being extended the useful life of this type of structure.

Word-key: Pathology, bridge, civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Mapa do Estado do Ceará: informativo das rodovias percorridas para levantamento de dados.	20
Figura 2– Mapa do Estado do Amazonas: informativo das rodovias percorridas para levantamento de dados.....	21
Figura 3 – Representação de pilares da estrutura de uma ponte.....	24
Figura 4 – Representação do aparelho de apoio	24
Figura 5 – Representação das longarinas.	25
Figura 6 – Representação das transversinas.	25
Figura 7 – Representação das cortinas.	26
Figura 8 – Representação do aterro	27
Figura 9 – Desmoronamento de aterro.	27
Figura 10 – Representação dos encontros	28
Figura 11 – Representação da laje de tabuleiro.....	28
Figura 12 – Representação do guarda-corpo e guarda-rodas	29
Figura 13 – Representação das lajes de transição.....	30
Figura 14 – Representação da pista de rolamento.	31
Figura 15 – Esquema de carreamento de material à jusante da ponte.	32
Figura 16 – Carreamento de aterro observado em umas das pontes vistoriadas na rodovia CE-060	32
Figura 17 – Fluxograma de vistoria para infra-estrutura de uma ponte.	33
Figura 18 – Exemplo de fuga de nata ou pasta de cimento observada em uma ponte na rodovia CE-060.....	34
Figura 19 – Geometria dos diversos tipos de pilares encontrados nas vistorias.....	35
Figura 20 – Fluxograma adotado para a mesoestrutura de uma ponte	36
Figura 21 – Pilares desaprumados ou desalinhados.	36
Figura 22 – Fluxograma usado na vistoria da superestrutura de uma ponte	37
Figura 23 – Base de apoio da tribo Waimiri-Atroari sob a ponte do rio Alalaú, no Estado do Amazonas.	38
Figura 24 – Marcenaria sob a ponte do Rio Capitarí no Estado do Amazonas.....	39
Figura 25 – Patologias decorrentes da ação humana na viga de bordo, no Estado do Ceará..	39
Figura 26 – Vista lateral de um dente Gerber.....	40
Figura 27 – Localização da cidade de Aracoiaba no Estado do Ceará.....	42
Figura 28 – Vista lateral da ponte sobre o rio Aracoiaba, no Estado do Ceará.....	43
Figura 29 – Esquema estrutural adotado na ponte sobre o rio Aracoiaba	43
Figura 30 – Esquema estrutural da ponte	44
Figura 31 – Determinação da profundidade de carbonatação	45
Figura 32 – Profundidade de carbonatação.	46
Figura 33 – Peças que compõem a ponte.	50
Figura 34 – Resumo das patologias encontradas na obra pesquisada sobre o rio Aracoiaba..	52
Figura 35 – Tela principal do sistema de monitoramento de obras.....	56
Figura 36 – Página de cadastro da obra e suas características.....	57
Figura 37 – Página de cadastro das patologias e suas localizações.....	57
Figura 38 – Página de localização de alteração e dados cadastrais.....	58
Figura 39 – Página do relatório de obras prioritárias.	58
Figura 40 – Formulário de campo utilizado no cadastro das obras.	59
Figura 41 – Fluxograma de atuação para identificação e diagnóstico das patologias.....	61

Figura 42 – Obras consideradas em estado crítico de conservação.....	71
Figura 43 – Ponte sobre o rio Muchinato	78
Figura 44 – Detalhe 1	78
Figura 45 – Ponte sobre o riacho dos bois.....	79
Figura 46 – Detalhe 2.	79
Figura 47 – Ponte sobre o rio João Alves.....	80
Figura 48 – Ponte sobre o rio Aracoiaba.	80
Figura 49 – Ponte sobre o rio Granjeiro	81
Figura 50 – Ponte sobre o rio Vacaria.	81
Figura 51 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	82
Figura 52 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	82
Figura 53 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	83
Figura 54 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	83
Figura 55 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	84
Figura 56 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	84
Figura 57 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	85
Figura 58 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	85
Figura 59 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	86
Figura 60 – Ponte sobre o Rio Preto da Eva.....	86
Figura 61 – Ponte sobre o igarapé do Peréua.	87
Figura 62 - Ponte sobre o igarapé do Sargento Picanço.	87
Figura 63 – Ponte sobre o igarapé Bá.....	88
Figura 64 – Ponte sobre o igarapé Tarumã.....	88
Figura 65 - Ponte sobre o rio Urubu	89
Figura 66 - Tipologias das obras vistoriadas.....	90
Figura 67 - Estrutura mista com aplicação de pré-moldado na laje de tabuleiro	90
Figura 68 - Tipos de ambientes em que estão inseridas as obras	91
Figura 69 - Exemplos de aparelhos de apoio encontrados.	92
Figura 70 - Tipos de aparelhos de apoio	92
Figura 71 - Patologias mais freqüentes nos pilares	93
Figura 72 - Patologias encontradas nas longarinas.....	94
Figura 73 - Patologias encontradas nas transversinas	94
Figura 74 - Patologias encontradas nas lajes de tabuleiro	95
Figura 75 - Patologias encontradas nos guarda-rodas	96
Figura 76 - Patologias encontradas nos guarda-corpos	97
Figura 77 - Patologias encontradas nas cortinas.....	97
Figura 78 - Patologias evidenciadas nos encontros	98
Figura 79 - Patologias encontradas nas lajes de transição.....	99
Figura 80 - Obras que necessitam de intervenções.....	101
Figura 81 - Situação das obras pesquisadas em seu estado visual.....	102
Figura 82 - Patologias encontradas na ponte sobre o rio Preto da Eva	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Patologias encontradas na ponte sobre o rio Aracoiaba	51
Quadro 2 – Tipologia das patologias e suas possíveis localizações.....	68
Quadro 3 – Metodologia de geração de grau parcial.....	73
Quadro 4 – Metodologia de geração do grau final.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado de conservação das rodovias no ano de 2008	31
Tabela 2 – Classe de agressividade	41
Tabela 3 – Nomenclatura e posicionamento das obras no Estado do Ceará	76
Tabela 4 – Nomenclatura e posicionamento das obras no Estado do Amazonas.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

% - percentual;
A/C – relação água-cimento;
ACI – American Concrete Institute;
AF – alto forno;
AM 010 - rodovia pertencente ao Estado do Amazonas de número 010;
BR 174 - rodovia federal de número 174;
BR 319 - rodovia federal de número 319;
CA – concreto armado;
CAA – classe de agressividade ambiental;
CE 060 - rodovia pertencente ao Estado do Ceará de número 60;
CE 292 - rodovia pertencente ao Estado do Ceará de número 292;
CE 386 - rodovia pertencente ao Estado do Ceará de número 386;
cm – centímetro;
CO₂ – dióxido de carbono
DERT – Departamento Estadual de Estradas de Rodagens e Transportes;
DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes;
EH – Norma Espanhola;
GF – grau final;
GP – grau parcial;
GPS – Global Position System;
kg/dm³ – quilograma por decímetro cúbico;
km – quilometro;
kN – quilo-Newton;
l/m³ - litro por metro cúbico;
m – metro;
mm – milímetro;
MPa – mega Pascal;
NBR – Norma Brasileira;
NO – nordeste;
NUTEC – Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial;
°C – grau Celsius;
pH - potencial hidrogeniônico;
PI – Estado do Piauí;
PIB – produto interno bruto;
SC – Estado de Santa Catarina;
SE – sudeste;
SISMOD – sistema de monitoramento de obras d’arte;
UR – umidade relativa.

SUMÁRIO

Capítulo I.....	14
1.1 Introdução	14
Capítulo II.....	17
2.1 Pressupostos da problematização.....	17
2.2 Objetivo da pesquisa.....	21
2.3 Estruturação desta dissertação	21
Capítulo III	23
3.1 Patologias em obras de arte rodoviárias	23
3.1.1 Considerações gerais	23
3.1.2 Patologias de infra-estrutura	33
3.1.3 Patologias de mesoestrutura	35
3.1.4 Patologias de superestrutura	37
3.2 Características do ambiente	41
3.3 Exemplo de caso: Ponte sobre o rio Aracoiaba na rodovia CE-060.....	42
3.3.1 Procedimentos e fundamentação teórica	44
3.3.2 Situação encontrada na vistoria	48
3.3.3 Análise estrutural	48
3.3.4 Diagnóstico do problema e agravantes	49
3.3.5 Resumo das patologias	49
3.3.6 Conclusão	52
Capítulo IV	54
4.1 Aspectos metodológicos	54
4.2 Informações gerais.....	62
4.2.1 Parâmetros para registro de patologia.....	63
4.2.1.1 Nome do curso d'água.....	63
4.2.1.2 Nome da rodovia.....	63
4.2.1.3 Localização	65
4.2.1.4 Caracterização da Obra.....	65
4.2.1.5 Caracterização da superestrutura	66
4.2.1.6 Caracterização do sistema de apoio.....	66
4.2.1.7 Caracterização dos pilares	66
4.2.1.8 Caracterização das fundações	66
4.2.1.9 Caracterização dos encontros	67
4.2.1.10 Caracterização do sistema de drenagem.....	67
4.2.1.11 Caracterização do ambiente.....	67
4.2.1.12 Ensaios de esclerometria.....	67
4.2.1.13 Patologias.....	68
4.2.2. Estado aparente da obra	70
4.2.3 Urgência de intervenção	71
4.3 Metodologia de geração do grau final	72
Capítulo V	75
5.1 Obras vistoriadas nos Estados do Ceará e Amazonas.....	75
5.2 Levantamento de dados	77

5.3 Tratamento das informações coletadas	89
5.3.1 Sobre a concepção estrutural e o ambiente.....	89
5.3.2 Sobre as patologias	92
5.3.3 Sobre a necessidade de intervenção.....	99
Capítulo VI.....	104
6 Conclusão.....	104
Referências bibliográficas	107

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais estruturais mais usados na construção civil. Desde sua invenção até os dias de hoje, diversos são os fins a que ele se destina, tais como estruturas armadas e protendidas, obras de arte e obras navais. Substituindo a madeira e a pedra, o concreto tem sido um valioso aliado dos técnicos envolvidos com arquitetura e engenharia.

Após a segunda guerra mundial houve um grande avanço no desenvolvimento do concreto devido à necessidade de reconstruir os danos provocados por esta guerra ao menor custo e no menor tempo. (COUTINHO,1973). Porém, ao contrário do que se pode imaginar o concreto não é eterno. Como todo material, se bem conservado, tem uma elevada durabilidade. Segundo o comitê do ACI 201 (1989:77), a durabilidade é a habilidade para resistir às ações de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, ou seja, um concreto durável manterá sua forma original, qualidade e funcionalidade, quando colocado em uso.

No Brasil, a grande maioria das obras de arte é construída em concreto devido à versatilidade executiva e alto desempenho estrutural, aliados ao relativo baixo custo. Entretanto, apesar de ser um material nobre, o que se observam são obras de pouca idade apresentarem manifestações patológicas. São exemplos fissuras, lixiviações, deformações

excessivas, corrosões, lascamentos de concreto, ninhos de concretagem e até mesmo trechos de armaduras ativas expostas às intempéries.

Neste trabalho procura-se identificar e comparar as principais patologias que ocorrem ao longo da vida útil das pontes de concreto armado ou mistas de concreto e aço das rodovias dos Estados do Ceará (CE) e Amazonas (AM). Os resultados obtidos visam servir de subsídio para o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT) sobre a problemática das patologias que ocorrem com mais frequência nessas obras. É fornecida uma visão geral das ocorrências patológicas, permitindo o acompanhamento de sua evolução ao longo da vida útil da obra. Essas informações servirão, também, de parâmetros para execução de novas obras de arte, incluindo concepção e projeto.

Inicialmente os dados coletados se referem às obras viárias do tipo ponte situadas no interior do Estado do Ceará. As obras fazem parte das rodovias CE-060, CE-292, CE-359 e CE-386 que servem aos municípios de Chorozinho, Ibareta, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu, Mombaça, Acopiara, Iguatu, Carui, Assaré, Várzea Alegre, Farias Brito, Crato e Santana do Cariri. A análise dessas obras decorreu de uma solicitação do Governo do Estado do Ceará, através do Departamento Estadual de Estradas de Rodagens e Transportes (DERT), para a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC) sobre o estado de conservação das pontes estaduais. A preocupação se deu por conta de várias obras apresentarem deformações excessivas, com risco de ruína, necessitando de escoramentos imediatos.

A segunda fase de coleta de dados foi relativa às obras viárias situadas nas estradas do Estado do Amazonas, rodovias AM-010, BR-319 e BR-174, que servem, respectivamente, aos municípios de Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Careiro Castanho. A escolha dessas rodovias foi intencional, motivada apenas pela facilidade de deslocamentos através do Estado do Amazonas, onde a grande maioria dos transportes é por via fluvial.

Faz parte do corpo deste trabalho, ainda, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional específica para definir, por prioridade, obras que deverão sofrer intervenções em função das patologias encontradas. As definições das prioridades são relativas às intervenções imediata (curto prazo), médio prazo e longo prazo.

CAPÍTULO II

2.1 PRESSUPOSTOS DA PROBLEMATIZAÇÃO

Apesar de constituir um setor de grande importância sócio-econômica no país, responsável por 15,5% do Produto Interno Bruto (PIB) e pelo emprego de 5,6% da mão-de-obra ocupada, conforme Torres, 2007, a construção civil não tem acompanhado o desenvolvimento tecnológico de outros setores industriais. Como resultado, obras construídas para durar 50 anos já apresentam patologias, em geral, nos três primeiros anos. Contribuem para isso a utilização de técnicas construtivas ultrapassadas, sem garantia de qualidade nas diversas fases do empreendimento (planejamento, projeto, qualidade dos materiais, execução e uso), desperdício de matéria-prima e mão-de-obra, e alto custo de manutenção. Apesar de diversas ações de setores privado e público, ainda, tem-se muito o que avançar na busca de reduzir a ineficiência e o desperdício nas obras.

O problema é ainda agravado quando se somam falta de planejamento, desconhecimento técnico, ineficiência de fiscalização e acompanhamento, e inexistência de infra-estrutura física mínima para execução, como é o caso da construção de obras de arte no interior dos estados brasileiros. Por exemplo, o controle tecnológico do concreto nessas obras, em geral, não segue as prescrições da NBR 12655/96 – concreto: preparo, controle e recebimento, reduzindo a vida útil da obra e a margem de segurança.

No interior do Estado do Ceará, a água de amassamento é coletada no próprio local da obra, para confecção do concreto. Nessa região, em geral, as águas são provenientes de poços e possuem teores de sais bastante significativos. No Estado do Amazonas, as águas de seus igarapés não contêm sais, porém, são consideradas ácidas, com pH variando de 3 a 6. Vale ressaltar que as obras analisadas no Estado do Ceará estão entre 70 e 550 km de distância da orla marítima. Já as examinadas no Estado do Amazonas, a mais de 1.000 km do litoral mais próximo.

A presença de agentes agressivos na água de amassamento poderá desencadear um processo patológico generalizado. Sobre a água de amassamento do concreto, a NBR 7187/87 diz: Como a água de amassamento, só devem ser empregadas águas reconhecidamente aceitáveis, considerando as utilizações que tiveram anteriormente. Não havendo antecedente, as águas devem ser analisadas para determinação do pH, do teor de ácido carbônico, de sulfatos, de cloretos ou de outros sais ou impurezas. A água deve ser limpa, praticamente isenta de matérias orgânicas e de produtos químicos capazes de prejudicar a durabilidade da obra.

Os agentes agressivos são aqueles produzidos por ações mecânicas, físicas, químicas ou biológicas, atuando sozinhos ou associados entre si. Os produzidos por ações mecânicas são em sua grande maioria, cargas elevadas, sobrecargas, impactos, vibrações, cavitações, produzidos por causas naturais ou artificiais. As ações físicas podem ser as variações de temperatura e umidade, temperaturas extremas, gelo, fogo intenso, correntes elétricas ou radiações. Já os produzidos por ações químicas podem ser causados por gases, atmosfera contaminada, águas agressivas ou salgadas, despejos industriais ou outros líquidos com elementos incorporados, agressivos ao concreto. Estas ações, geralmente, são as mais temidas, pois podem causar, entre tantas, a dissolução dos compostos hidratados do cimento, as formações de novos sais solúveis que vão sendo arrastados pela água, de cristais e

eflorescências. As reações entre agregados e aglomerantes também se encontram nesta classificação. Finalmente os produzidos por ações biológicas, tais como micro-organismos e bactérias também podem causar danos ao concreto. (MONTROYA et al., 1987).

Outro fator de deterioração brusca das obras de arte é a mudança da característica de suporte de carga da estrutura, sem a preocupação da avaliação prévia de um possível e necessário reforço estrutural, pois o desenvolvimento do setor de transportes rodoviários no Brasil produz incremento permanente na capacidade de carga de caminhões e carretas. As características de suporte de carga das pontes denominadas classes ou trens-tipo são definidas pela NBR 7188/84 – carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre, como:

- Classe 45: veículo-tipo com 450kN de peso total;
- Classe 30: veículo-tipo com 300kN de peso total;
- Classe 12: veículo-tipo com 120kN de peso total.

O elevado número de pontes em estado avançado de deterioração é, na maioria das vezes, causado por problemas de ordem executiva. Por exemplo, a simples colocação de espaçadores de armaduras (cocadas) nas estruturas já garante a medida de cobrimento mínimo da armadura, exigida pela norma brasileira. Segundo Helene (1994), aumentando-se a qualidade do concreto, podem-se reduzir as espessuras de cobrimento sem comprometer a vida útil da peça, porém, esta preocupação com a garantia das camadas protetoras das armaduras não são tão bem observadas nas obras.

A garantia da estanqueidade das formas também é um fator para obtenção de concretos de boa qualidade. A fuga da nata ou pasta de cimento produz concretos com excesso de poros ou vazios, permitindo, por sua vez, o contato de agentes agressivos com as armaduras, presentes na atmosfera local. Esses exemplos e as características da região contribuem para que as obras de arte executadas no interior dos estados apresentem manifestações patológicas mais numerosas e intensas que as obras executadas nas zonas urbanas.

A figura 1 mostra os trechos de rodovias estaduais, no Estado do Ceará, que foram vistoriados. Essas rodovias, codificadas como CE-060, CE-292, CE-359 e CE-386, servem aos municípios de Chorozinho, Ibaretama, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu, Mombaça, Acopiara, Iguatu, Carius, Assaré, Várzea Alegre, Farias Brito, Crato, Santana do Cariri e Nova Olinda.



Figura 1– Mapa do Estado do Ceará: informativo das rodovias percorridas para levantamento de dados.

No Estado do Amazonas, foram vistoriados os trechos de rodovias mostrados na figura 2, rodovias codificadas como AM-010, BR-319 e BR-174, que servem aos municípios de Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Careiro Castanho.



Figura 2– Mapa do Estado do Amazonas: informativo das rodovias percorridas para levantamento de dados.

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem por objetivo geral registrar e comparar as manifestações patológicas existentes em setenta e quatro pontes componentes das rodovias dos Estados do Ceará e Amazonas, disponibilizando ao meio técnico a problemática da deterioração de elementos de aço e concreto armado quando submetidas a dois meios ambientes diferentes. Isto é, o clima semi-árido da região nordeste e o clima úmido da região norte e suas peculiaridades.

2.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo I apresenta uma introdução que reflete a problemática central discutida neste trabalho em uma formatação mais abrangente.

No capítulo II, destacam-se os pressupostos da problematização que retrata as patologias de maneira generalizada sem induzir particularidades das obras em questão e, também, o objetivo da pesquisa.

O capítulo III trata essencialmente do estado da arte nos diversos assuntos abordados neste trabalho. Isto é: caracterização das patologias, patologias de infra-estruturas, mesoestrutura, superestrutura, características dos ambientes nos quais estão inseridas obras de arte e exemplo de caso: ponte sobre o rio Aracoiaba na rodovia CE-060.

No capítulo IV se abordam aspectos metodológicos da pesquisa, características da pesquisa, técnicas de coletas e organização de informações.

A relação de obras vistoriadas nos Estados do Ceará e Amazonas, levantamento de dados e tratamento das informações coletadas são apresentados no capítulo V.

O capítulo VI trata da conclusão da pesquisa.

CAPÍTULO III

3.1 PATOLOGIAS EM OBRAS DE ARTE RODOVIÁRIAS

3.1.1 Considerações gerais

O termo *Manifestação Patológica*, originário da área de saúde, indica deficiência presente nas obras, tornando-as doentias, podendo agravar-se por deterioração ou até mesmo, ruptura de componentes ou colapso da obra. Como ficou evidente em algumas obras vistoriadas, uma determinada patologia pode ter origem no projeto, na execução ou até mesmo no uso inadequado. É importante destacar que algumas patologias ocorrem com mais frequência em determinados elementos estruturais em decorrência de sua concepção e emprego.

As obras analisadas são de concreto armado ou de concreto armado e aço. Esta é uma mescla de elementos portantes de aço, em geral, longarinas e transversinas, e de elementos de concreto armado, constituindo as demais partes da ponte. Todas as obras analisadas têm a função de transpor obstáculos naturais de curso d'água, exceto um viaduto na cidade de Manaus, Estado do Amazonas, que serve para transpor outra rodovia.

A seguir, efetuam-se considerações sobre os principais elementos estruturais que compõem as obras estudadas nos Estados do Amazonas e Ceará.

Os pilares, figura 3, são elementos estruturais verticais que recebem as cargas permanentes, acidentais, verticais e horizontais, e as transferem para as fundações, que por sua vez as transmitem para o terreno. Essas peças estruturais têm a particularidade de serem as mais atingidas por depredações, devido à sua exposição direta e acessibilidade.

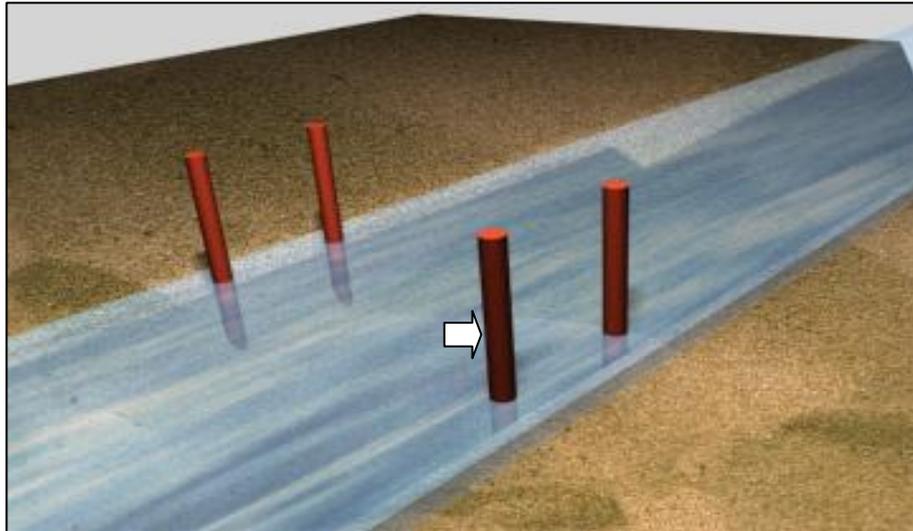


Figura 3 – Representação de pilares da estrutura de uma ponte.

Os aparelhos de apoio são elementos idealizados para a superestrutura, componentes do sistema estrutural, com a função de absorver e/ou amortecer esforços, figura 4. Estes esforços são provenientes do peso próprio da estrutura, de cargas acidentais, de frenagens ou manobras de veículos sobre a ponte.

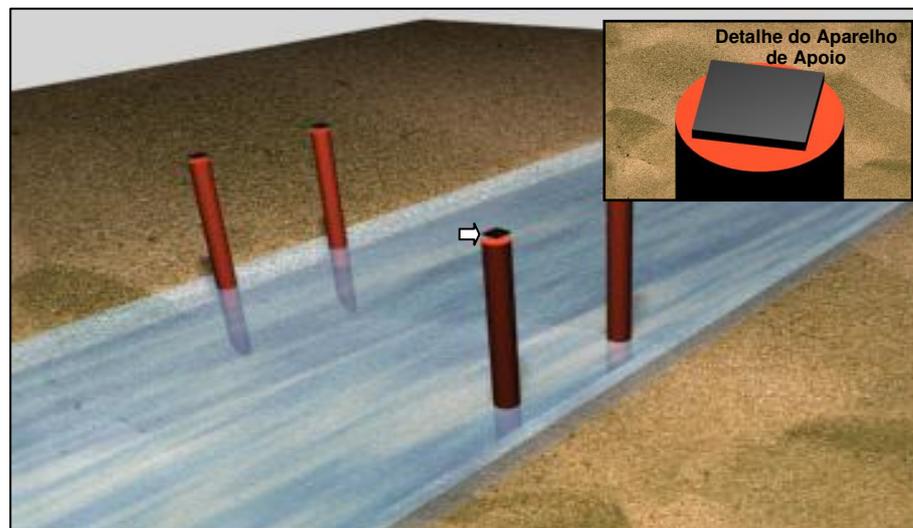


Figura 4 – Representação de aparelho de apoio.

As longarinas das pontes são vigas posicionadas na direção longitudinal, conforme mostra a figura 5, tendo a função de distribuir longitudinalmente as cargas. Em função da importância desses elementos estruturais, atenção especial deve ser dada às suas deformações visando não comprometer outras peças que são interligadas a elas, ou, ainda, não atingir um estado limite de serviço.



Figura 5 – Representação de longarinas.

As transversinas são vigas posicionadas na direção transversal da obra, tendo a função de distribuir transversalmente as cargas, figura 6. Elas, geralmente, estão ligadas monoliticamente às longarinas. O conjunto composto pelas longarinas e transversinas servirá de apoio para a laje de tabuleiro.



Figura 6 – Representação de transversinas.

No Brasil, os elementos estruturais das pontes sofrem problemas de corrosão de armaduras, em sua grande maioria, nas faces inferiores das longarinas, transversinas e laje de tabuleiro devido à agressividade do meio ambiente. Já na Europa e nos Estados Unidos, esse tipo de manifestação patológica ocorre na superfície superior das pontes, devido à agressividade provocada pelos sais usados para degelo no inverno.

A figura 7 fornece exemplos de cortinas, que têm a função de conter o aterro do pavimento, evitando seu desmoronamento nas regiões próximas à obra e à pista de rolamento. Essas peças tanto podem receber ações decorrentes de empuxo de terra no sentido longitudinal quanto ações no sentido transversal. Elas se ligam monoliticamente às lajes de tabuleiro.

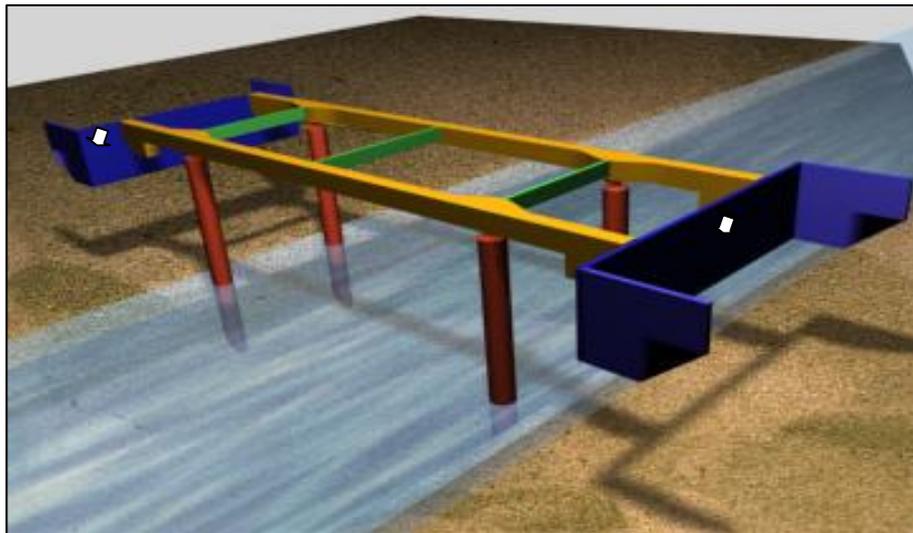


Figura 7 – Representação de cortinas.

O volume de solo compactado para formação do greide da estrada propriamente dita, como mostrado na figura 8, recebe a denominação de aterro.

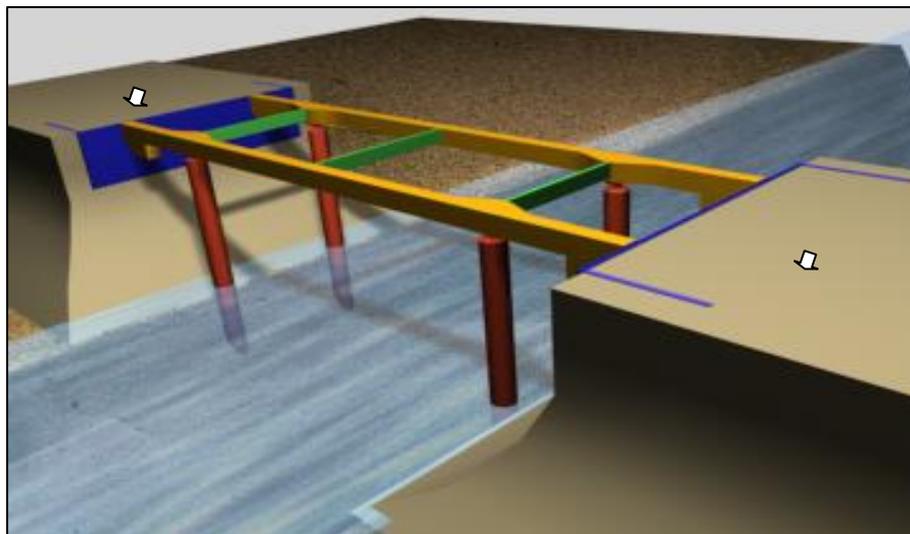


Figura 8 – Representação de aterro.

A saturação de um aterro de rodovia pode, além de desestabilizar sua base, danificar o pavimento da via, podendo até promover sua destruição, como é o caso do sistema estrutural mostrado na figura 9, localizado na rodovia federal BR-101, sobre o rio Preto, no Estado do Espírito Santo.



Figura 9 – Desmoronamento de aterro. (Fonte: Manual de inspeção de pontes rodoviárias – DNIT 2004)

Os muros de contenção de aterro, indicados na figura 10, recebem o nome de encontros e têm a função de receber o empuxo do solo, evitando sua transmissão a elementos

da ponte. No Estado do Ceará, são confeccionados com pedra-de-mão argamassada. Já no Estado do Amazonas, esses encontros são confeccionados em rip-rap ou simplesmente não existem, pela ausência de rochas nas proximidades da obra.

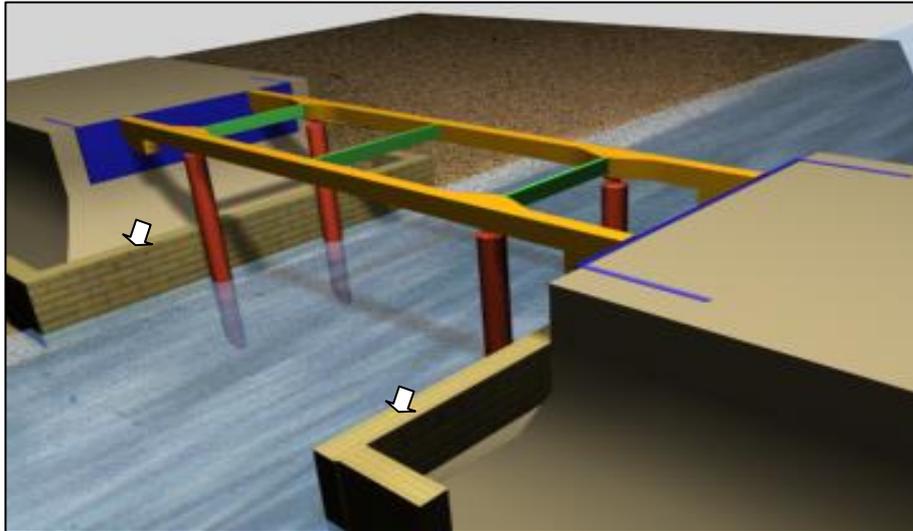


Figura 10 – Representação de encontros.

A laje de suporte do pavimento asfáltico, sobre o arranjo estrutural composto por longarinas e transversinas, é denominada tabuleiro, cuja função é dar continuidade à estrada, figura 11. As lajes de tabuleiro podem ser confeccionadas em elementos pré-fabricados de concreto ou executadas no próprio local da obra.

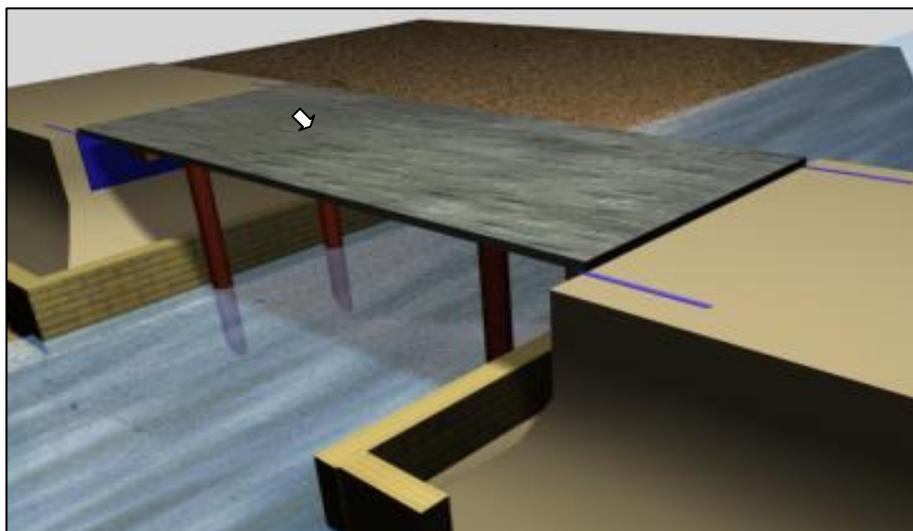


Figura 11 – Representação de laje de tabuleiro.

A face inferior do tabuleiro, semelhante a da longarina, sofre ataques de agentes agressivos. O acúmulo de águas evaporadas, o acúmulo de fuligem e a penetração de agentes agressivos têm relação com este tipo de patologia.

A capacidade de carga do tabuleiro é quem determina a classe da ponte, ou seja, o conjunto de características de suporte e dimensão da obra em relação às cargas acidentais. Trem-tipo de eixo simples, com elevada capacidade de carga, é o que mais preocupa os especialistas em cálculo, por concentrarem grandes ações nas rodas traseiras. Vale ressaltar que trens-tipo representam cargas móveis verticais que devem ser consideradas nos projetos estruturais das pontes.

Os guarda-corpos e guarda-rodas, figura 12, são anteparos laterais ligados aos tabuleiros, com função de proteger pedestres e/ou veículos quando da travessia da ponte. Estas peças estruturais, além de sofrerem ataques de agentes agressivos naturais, são geralmente deterioradas por colisão de veículos.

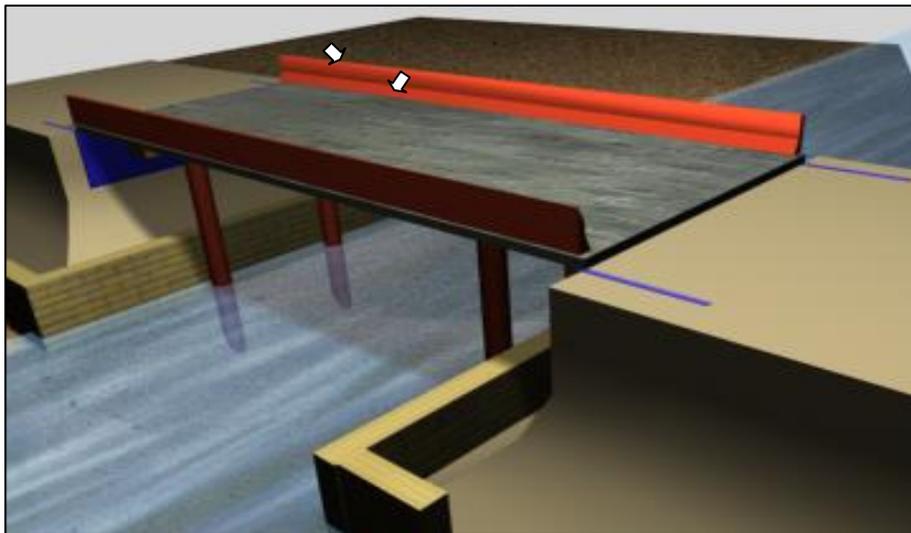


Figura 12 – Representação de guarda-corpo e guarda-rodas.

A figura 13 mostra elementos confeccionados em concreto armado sobre os aterros, conhecidos por lajes ou placas de transição, destinadas a realizarem transição suave entre a estrada e a ponte. Elas minimizam as possíveis diferenças de níveis entre a estrutura de concreto da ponte e o pavimento das estradas, provenientes dos recalques do aterro na entrada da obra. Essas lajes não são solidárias à ponte.

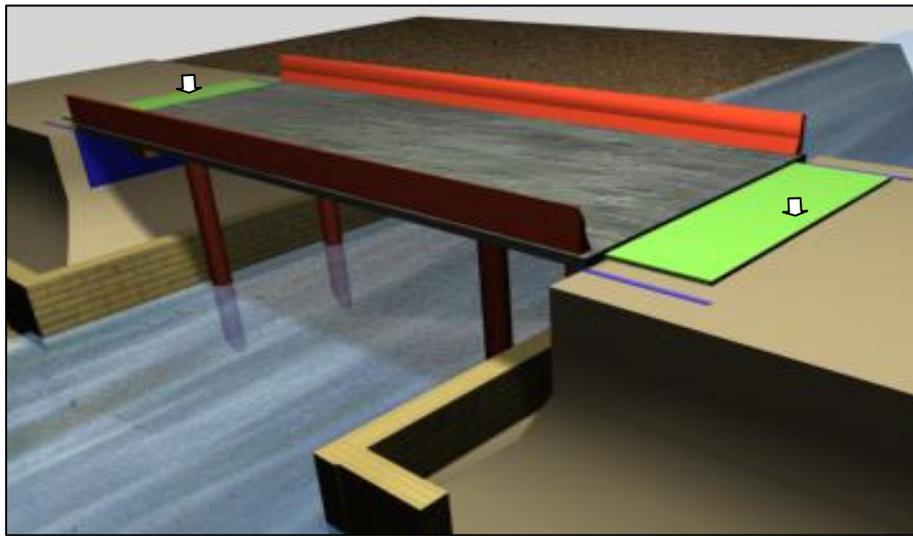


Figura 13 – Representação de lajes de transição.

A pista de rolamento, conforme mostra a figura 14, é a camada de pavimentação asfáltica ou de concreto destinada ao tráfego de pedestres e/ou veículos. A condição de conservação deste pavimento implica em maior ou menor risco de acidente quando da passagem de veículos sobre as pontes. Estes acidentes, na maioria das vezes, provocam a destruição do guarda-corpo.

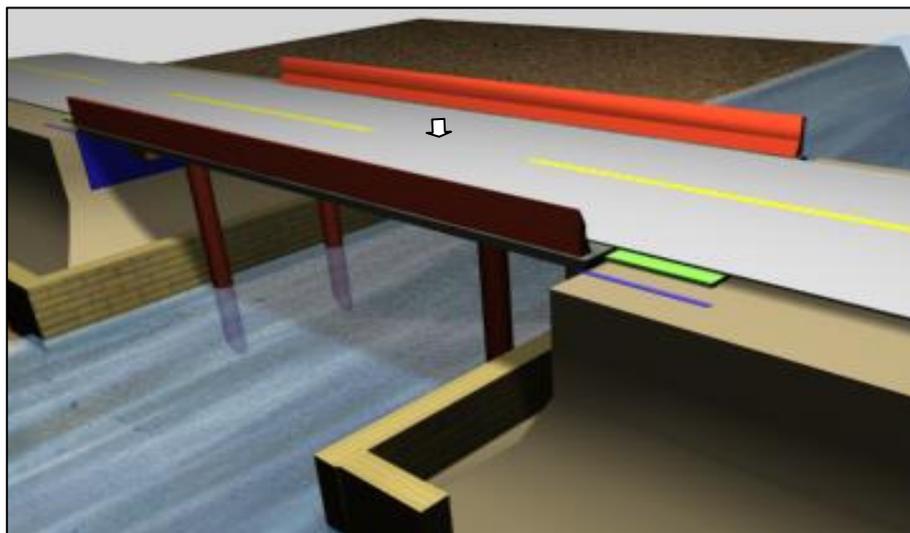


Figura 14 – Representação de pista de rolamento.

Vale ressaltar que em 2008, as rodovias dos Estados do Ceará e Amazonas apresentavam as situações de conservação mostradas na tabela 1. Os valores constantes nessa tabela indicam índices elevados de pavimentos capazes de provocar acidentes.

Tabela 1 – Percentuais de estado de conservação das rodovias no ano de 2008.

Estado de conservação	Ceará	Amazonas
Em obras	2 %	3%
Interditada	4%	0%
Precária	8%	29%
Ruim	2%	8%
Regular	24%	0%
Normal	60%	41%
Sem informação	0%	19%

Fonte: www.dnit.gov.br

Nos encontros de pontes são comuns os problemas de desmoronamentos e carreamento do material de aterro devido à inadequada compactação ou até mesmo pela falta de controle tecnológico durante sua execução. Em alguns casos, pela falta de muro de contenção. O turbilhonamento de águas a jusante da ponte contribui para o agravamento do problema, conforme esquema mostrado na figura 15.

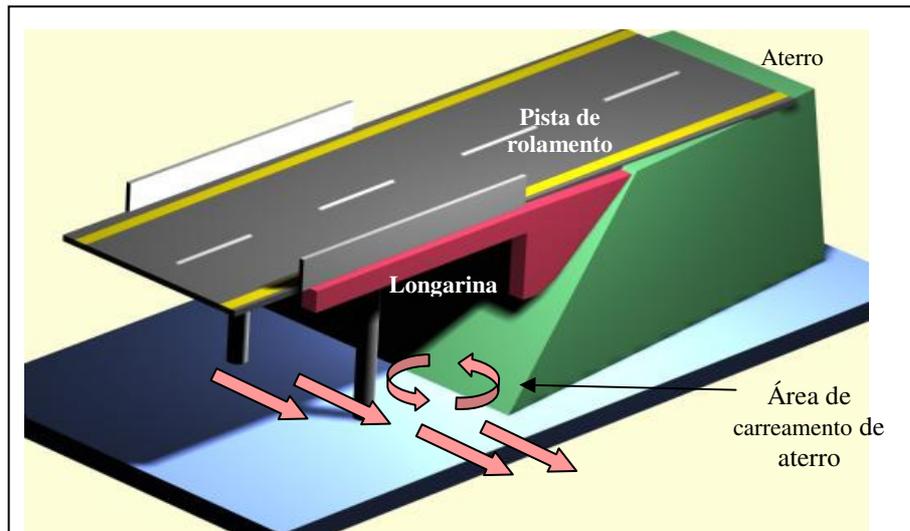


Figura 15 – Esquema de carreamento de material à jusante da ponte.

Na figura 16, são mostrados os danos na estrutura de contenção na cabeceira de uma ponte da rodovia estadual do Estado do Ceará. Essa patologia decorreu da ação de águas pluviais no concreto provocando desgastes, remoção do solo da fundação do elemento estrutural, e, até mesmo, erosão do concreto.



Figura 16 - Carreamento de aterro observado em uma das pontes vistoriadas na rodovia CE-060.

3.1.2 Patologias em infra-estrutura

A identificação do tipo de fundação empregado na infra-estrutura de uma ponte é o primeiro passo para identificação de possíveis patologias em seus elementos estruturais. Na figura 17, consta um organograma com os principais elementos de fundação existentes nas pontes vistoriadas, indicando a fase recomendada para análise de problemas de patologia.

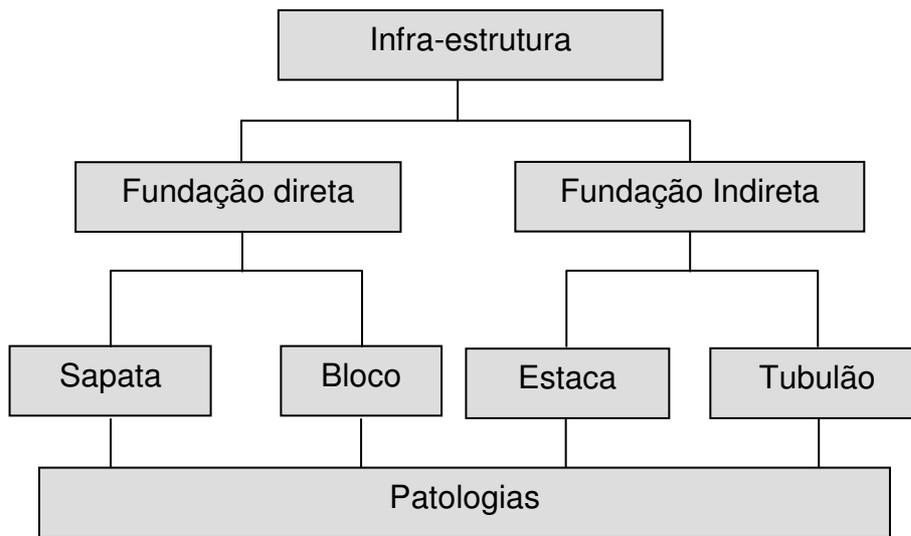


Figura 17 – Fluxograma de vistoria para infra-estrutura de uma ponte.

O acesso à fundação de uma ponte é fator determinante na verificação do seu estado de conservação. Por isso, uma primeira análise deve ser feita na região superior das estacas ou blocos de coroamento. No Estado do Amazonas, o nível de água é superior, em geral, a cota da face superior do elemento de fundação. A fuga de solo na região de transmissão de cargas dos blocos de coroamento das estacas, geralmente, é provocada pela passagem de água em movimento. No Estado do Ceará, a erosão é, em geral, provocada pela retirada de areia dos rios para comercialização nos centros urbanos.

A passagem de água sobre os blocos de coroamento pode causar danos, chegando a expor as armaduras, com acentuadas perdas de seção, tanto do concreto quanto do aço. Outro problema bastante comum é a presença de concretos de baixa qualidade, como se pode observar na figura 18.



Figura 18 – Exemplo de fuga de nata ou pasta de cimento observada em uma ponte na rodovia CE-060.

As regiões com baixo ou nenhum teor de argamassa, apresentando apenas agregado graúdo, surgem pela fuga de argamassa, pela falta de estanqueidade das formas de contenção lateral ou até mesmo pelo excesso de vibração do concreto fresco, provocando desagregação do concreto. Segundo Silva (1995), toda fôrma tem necessariamente que ser estanque, rígida e não aderente. A estanqueidade é para evitar a perda de água e argamassa. Com o vazamento, haverá considerável perda de água nessa região, que carreará finos do concreto, gerando uma superfície com vazios, que está delimitada por uma mancha escura. A mancha indica uma região de concreto com relação água/cimento menor do que a região adjacente da peça; ela não é superficial e tem espessura considerável.

Nesse tipo de obra, podem, também, ocorrer recalques diferenciais decorrentes, em geral, da deficiência de acompanhamento técnico na fase de execução da fundação. O assentamento da base da sapata ou do bloco em solo com resistência não compatível com o especificado no projeto é um exemplo.

3.1.3 Patologias em mesoestrutura

Fazem parte da mesoestrutura, as peças intermediárias de sustentação de uma ponte, geralmente constituídas por pilares e elementos de travamentos. Estes elementos, conforme mostra a figura 19, diversificam-se pela suas formas e dimensões: circulares, quadrados, retangulares, incluindo aqui os pilares-parede.

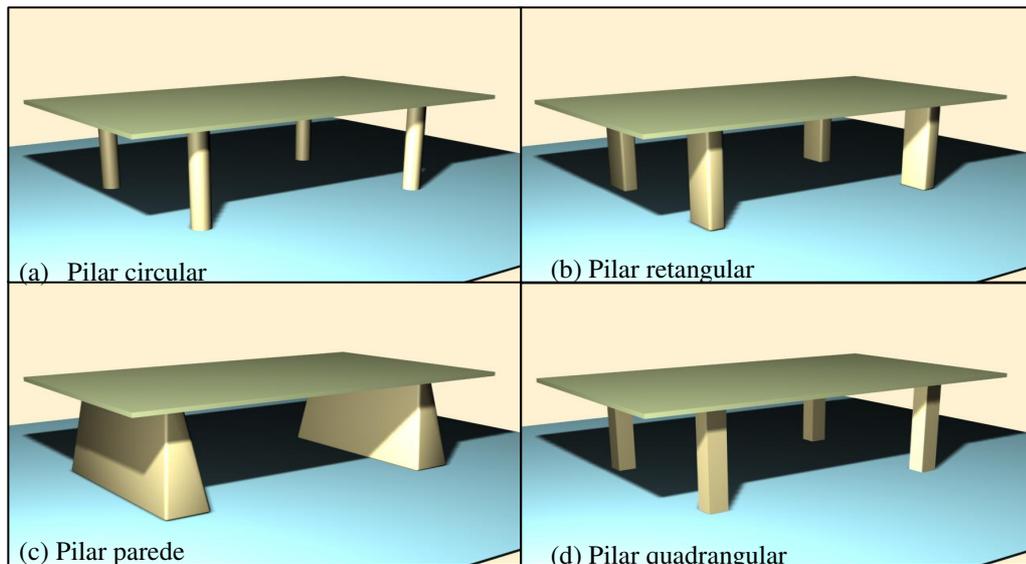


Figura 19 – Geometria dos diversos tipos de pilares encontrados nas vistorias.

Nesta fase de vistoria devem ser observados se os pilares estão contraventados e se foram utilizados aparelhos no processo de transmissão de esforços da superestrutura para os pilares da ponte. Esses recursos são comumente usados no projeto de uma ponte.

O estado de conservação dos elementos que compõem a mesoestrutura deve ser observado identificando as patologias. A metodologia empregada na pesquisa seguiu a seqüência mostrada na figura 20.

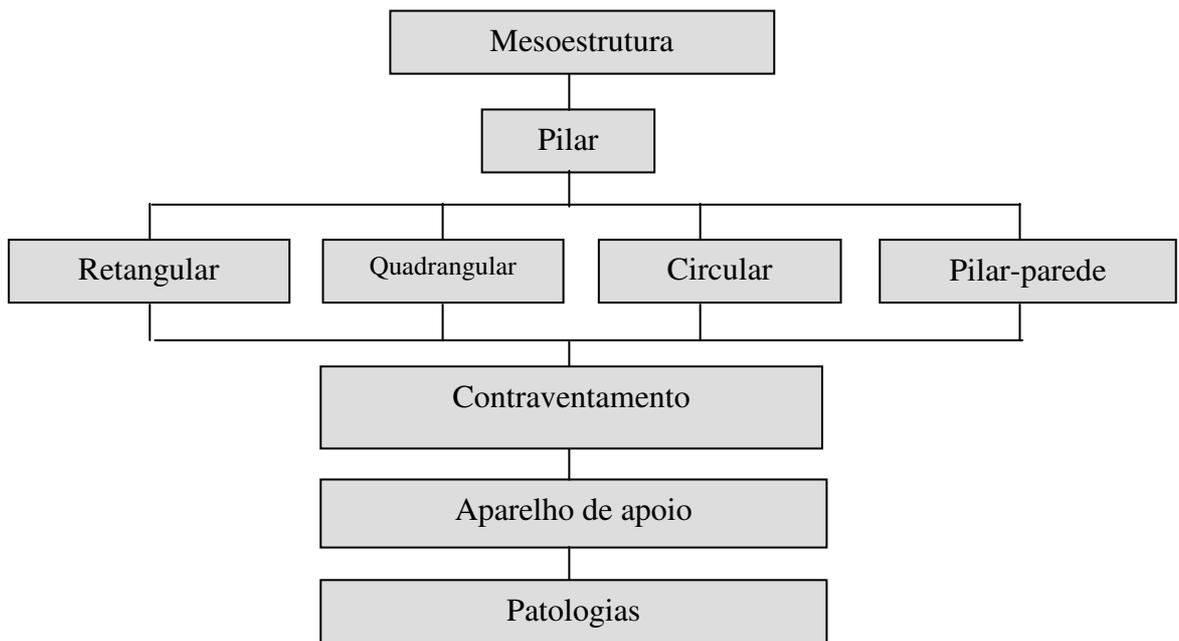


Figura 20 – Fluxograma adotado para mesoestrutura de uma ponte.

A falta de verticalidade dos pilares, isto é, pilares desaprumados, permitem surgimento de esforços não presentes no modelo estrutural de projeto. No caso de pilares desalinhados, em geral, as intensidades dos esforços são modificadas podendo levar a estrutura ou parte da estrutura a atingir um estado limite último. A figura 21 mostra essas duas situações.

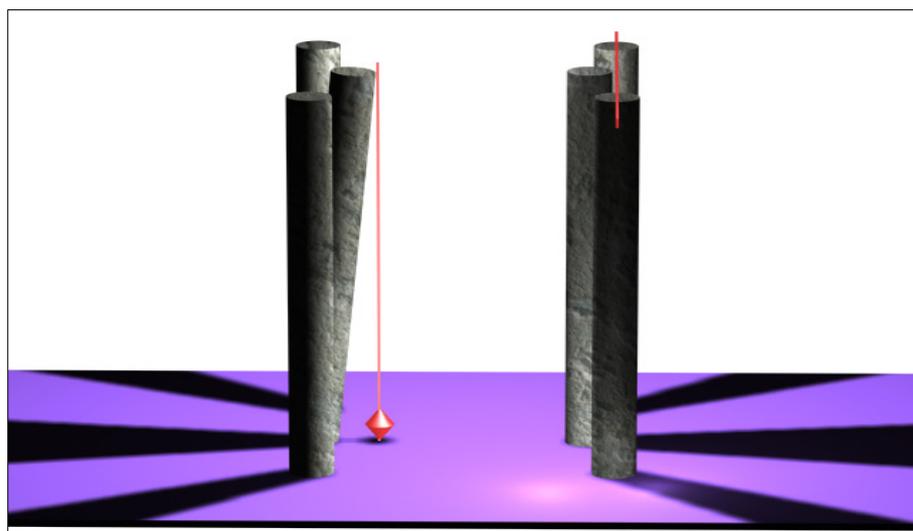


Figura 21 – Pilar desaprumado e desalinhado.

O objetivo da vistoria na meso-estrutura é identificar principalmente os seguintes problemas patológicos: corrosão de armaduras, fissuras, desaprumos, desníveis e condições de conservação dos aparelhos de apoio. É importante destacar que o chumbo foi utilizado, no Brasil, como elemento de apoio da superestrutura sobre os pilares na maioria das obras executadas até a década de 60.

Na falta de resultados de ensaios de corpos-de-prova de concreto dos elementos da mesoestrutura da ponte, convém avaliar a resistência do concreto através de ensaio por método esclerométrico, principalmente naquelas partes das pontes que apresentam baixo grau de conservação.

3.1.4 Patologia em superestrutura

A superestrutura é basicamente composta de vigas longitudinais e transversais, respectivamente denominadas longarinas e transversinas, lajes de tabuleiro, guarda-corpos e guarda-rodas. Essa parte da estrutura está mais exposta às ações das intempéries, sofrem desgastes naturais ou provocados e por isso demanda maior tempo de vistoria relativamente à infra-estrutura e mesoestrutura. Na figura 22 constam os procedimentos seguidos na vistoria da superestrutura de uma ponte.

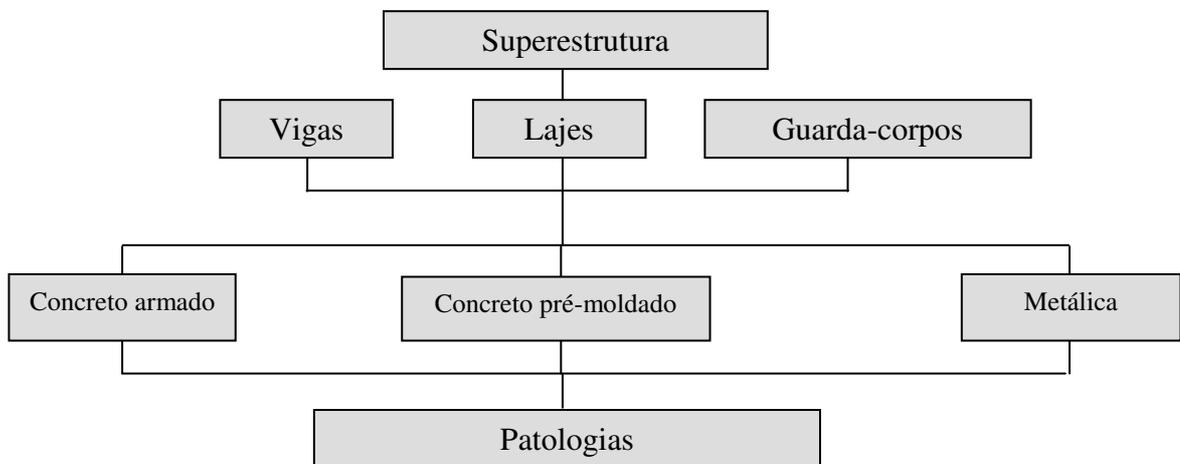


Figura 22 – Fluxograma usado na vistoria da superestrutura de uma ponte.

Além dos casos já citados de patologia nos elementos de concreto, foram observados, nas obras existentes nos 1.200 km percorridos nos interiores dos Estados do Ceará e Amazonas, a ação danosa do homem. As áreas sob as pontes, as vezes são usadas para moradias temporárias, indústrias, comportas para controle de cheias, estábulos e até mesmo tanques para criadouros de peixes. Essa alteração de finalidade da obra origina patologias ou agrava as existentes, reduzindo sua vida útil.

A ponte sobre o rio Alalaú, no Estado do Amazonas, mostrada na figura 23, serve de base de apoio para membros da tribo Waimiri-Atroari em suas viagens de caça.



Figura 23 – Base de apoio da tribo Waimiri-Atroari sob a ponte do rio Alalaú, no Estado do Amazonas.

Uma marcenaria foi montada sob a ponte do rio Capitari, BR-319, localizada no município de Careiro da Várzea, no Estado do Amazonas, conforme se constata na figura 24.



Figura 24 – Marcenaria sob a ponte do rio Capitarí, no Estado do Amazonas.

A interferência humana que afeta a vida útil das obras de arte executadas fora das regiões urbanas, também, é um fato possível de acontecer. A remoção de parte dos aparelhos de apoio de chumbo para a confecção de pesos para linhas de pesca e a destruição de parte da transversina para a obtenção de mel de abelha, conforme mostra a figura 25, são exemplos.



Figura 25 – Patologias decorrentes da ação humana em viga de bordo, no Estado do Ceará.

A exposição intencional de armaduras de lajes de tabuleiro para servir de local de amarração de rede de pessoas que pernoitam sob pontes é comum na região cearense. Outro problema comum encontrado na maioria das pontes vistoriadas é a ausência de guarda-corpo

proveniente do abalroamento de veículos nas pontes. Outros parâmetros a serem observados numa vistoria da superestrutura são:

- desnível de viga;
- desalinhamento de viga;
- desagregação do concreto;
- bexigas ou falhas de concretagem;
- cobertura insuficiente de armadura;
- armadura corroída e exposta;
- elevada profundidade de carbonatação;
- elevado grau de lixiviação, com formação de estalactites;
- empoçamento de água na laje de tabuleiro;
- drenos entupidos;
- fissuras causadas por retração;
- fissuras causadas por sobrecarga excessiva;
- aparelhos de apoio tipo dente Gerber, figura 26.

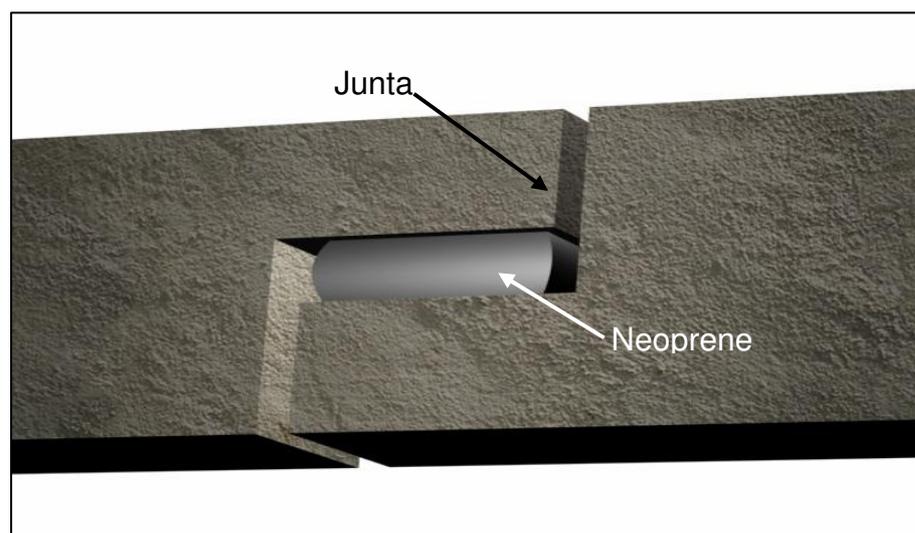


Figura 26 – Vista lateral de um dente Gerber.

Segundo a NBR-6118, entende-se por vida útil de uma estrutura, período de tempo no qual se mantêm as características da estrutura de concreto, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo; é após esse período que começa a efetiva deterioração da estrutura com o aparecimento de sinais visíveis de deterioração, tais como: produtos de corrosão, desagregação do concreto, fissuras, dentre outros.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES

Apresentam-se na tabela 2 as classes de agressividade ambientais definidas pela NBR-6118/2003.

Tabela 2 – Classes de agressividade.

Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de Deterioração da Estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré	

Fonte: NBR-6118

Apesar do estudo de Meira (2004, 346p), relatar a presença de obras danificadas pela influência da névoa salina em suspensão em mais de 600 km de distância do litoral, não foi constatado início de corrosão provocado por névoa salina nas obras vistoriadas no Estado do Ceará.

A presença de sais no interior do concreto das pontes foi diagnosticada em maior profundidade em trabalho realizado para o Departamento Estadual de Estradas de Rodagens e Transportes do Estado do Ceará – DERT/CE. Trata-se de cloretos provenientes da água de amassamento do concreto, água salobra, da areia contaminada ou até mesmo do uso indevido de aditivos aceleradores de pega.

Nas amostras retiradas das pontes, constatou-se um teor de cloreto mais elevado nas regiões mais afastadas da superfície. A camada superficial do concreto apresenta um teor de cloreto menor relativamente ao interior da peça, provavelmente, devido à lavagem da superfície por águas. Vale lembrar que as águas dos rios do Estado do Amazonas são ácidas com pH em torno de 3.

3.3 EXEMPLO DE CASO: PONTE SOBRE O RIO ARACOIABA NA RODOVIA

CE-060

A cidade de Aracoiaba, cujo nome provem do rio que corta a cidade, está localizada no Estado do Ceará a 73km do litoral, enquanto a ponte sobre o rio Aracoiaba dista 75km do litoral mais próximo, conforme mostra a figura 27.

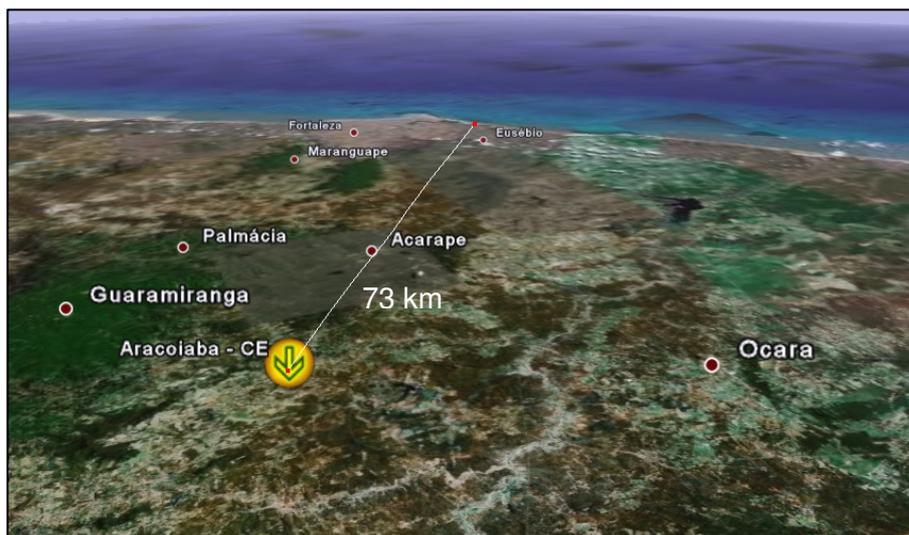


Figura 27 – Localização da cidade de Aracoiaba, no Estado do Ceará.

A ponte sobre o rio Aracoiaba, mostrada na figura 28, pertence à malha viária do Estado do Ceará, localizada na rodovia CE-060, km 73, trecho Aracoiaba – triângulo de Baturité. É uma ponte de concreto armado com superestrutura apoiada em parede de concreto ciclópico, possuindo as seguintes características: tabuleiro, quatro vigas biapoiadas com altura variável e rótulas (dentes Gerber), transversinas nos apoios, cortinas de contenção em cada

extremidade, aparelhos de apoio confeccionados com chumbo, fundação direta em concreto ciclópico e encontros de alvenaria de pedra. O comprimento total da ponte é de 45m e sua largura mede 7,4m.



Figura 28 – Vista lateral da ponte sobre o rio Aracoiaba, no Estado do Ceará.

A viga principal é composta de cinco vãos, sendo um central, dois intermediários e dois em balanço, conforme esquema estrutural mostrado na figura 29.



Figura 29 – Esquema estrutural adotado na ponte sobre o rio Aracoiaba.

A infra-estrutura é composta por sapatas, região central, com base medindo 10,0m x 2,1m. A contenção dos aterros nos encontros é feita por dois muros de arrimo em alvenaria de pedra. A mesoestrutura é composta por pilares de seção transversal variável em concreto ciclópico, região central, com altura de 6m.

A superestrutura é formada por lajes e vigas principais de seção retangular com 25cm de base e altura variável, 32cm no vão isostático (trecho central) e 135cm nas extremidades dos balanços. A superestrutura possui vigas transversais com seção retangular de 20cm x 135cm sobre pilares, cortinas com seção retangular de 25cm x 80cm e laje de tabuleiro com 20cm de espessura. A figura 30 apresenta a disposição desses elementos estruturais.

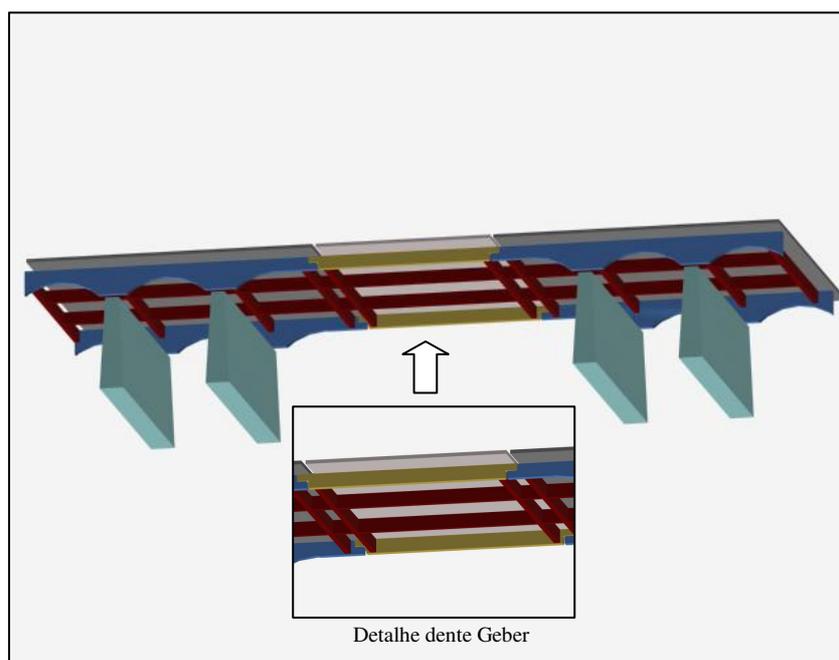


Figura 30 – Esquema estrutural da ponte.

3.3.1 Procedimentos e fundamentação teórica

Os trabalhos envolveram observações visuais, ensaios de campo, identificação e descrição da obra, levantamento de dados, medições, mapeamento de fissuras e retiradas de amostras de concreto e aço para ensaios de laboratório.

Inicialmente foi realizado um levantamento global de todos os elementos estruturais, avaliando-se todas as deformações e patologias encontradas. Os ensaios de campo realizados foram: avaliação da profundidade de carbonatação e avaliação da dureza superficial por método esclerométrico.

Convém lembrar que o concreto de cimento Portland, possui pH em torno de 12, que é o meio indicado para proteção das armaduras. Dois fatores podem alterar esta proteção: a carbonatação do concreto e a presença de ions de cloreto.

A carbonatação é uma reação química do gás carbônico (CO_2) com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) existente no cimento hidratado. Esta reação converte o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em CaCO_3 reduzindo o pH do concreto para aproximadamente 9, proporcionando um ambiente favorável à corrosão das armaduras.(GENTIL, 1982, p.203).

A velocidade do processo de carbonatação é função da difusão de CO_2 no concreto, umidade relativa, tempo, relação água-cimento, tipo de cimento, permeabilidade do concreto e cura. Um concreto de baixa permeabilidade carbonata menos que um de alta permeabilidade. O cimento Portland comum é o mais recomendado para resistir a carbonatação; os resistentes a sulfatos têm 50% a menos de resistência e os AF até 200% menos. (NEVILLE, 1982)

A profundidade de carbonatação em um concreto de 40 MPa, por exemplo, será de 5mm aos 4 anos e de 10 mm aos 16 anos. Para concretos de 20 MPa esses prazos seriam de 1,5 e 2 anos, para profundidades de 5 e 10 mm, respectivamente. (NEVILLE, 1982).

O gráfico mostrado na figura 31 permite estimar a profundidade de carbonatação relacionando a idade, relação água-cimento, tipo de cimento e ambiente.

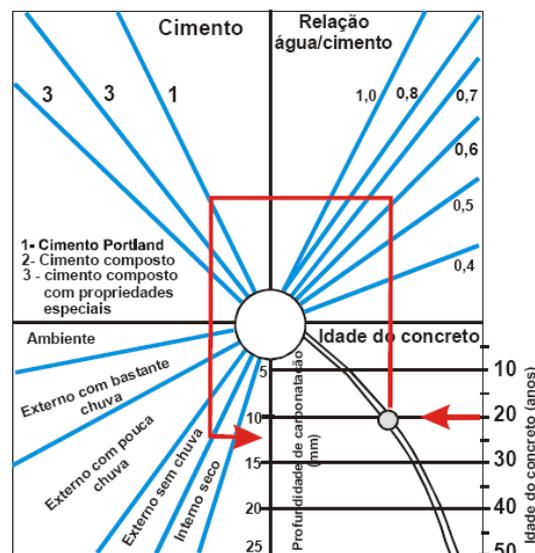


Figura 31 – Determinação da profundidade de carbonatação. (Fonte: Meyer: p 49-61)

Por exemplo, um concreto de cimento Portland com idade de 20 anos, com relação a/c igual a 0,61, e exposto em ambiente externo sem chuva, pelo gráfico da figura 31, deverá ter um avanço da frente de carbonatação da ordem de 18 mm.

Para determinar a capacidade efetiva de proteção do concreto quanto à corrosão, isto é, se a camada de concreto que envolve a armadura é passivadora, realizou-se ensaio de determinação da profundidade de carbonatação com solução a base de fenolftaleína.

Os resultados encontrados mostram que a camada de concreto envolvente da armadura principal não é passivadora, pois as profundidades de carbonatação atingiram valores superiores ao cobrimento da armadura e, em alguns casos, o dobro do cobrimento existente, figura 32.

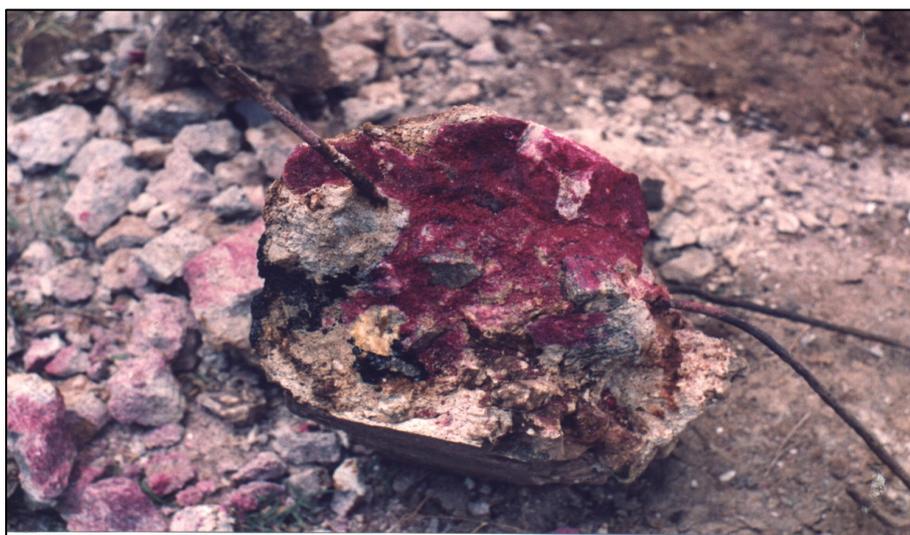


Figura 32 – Profundidade de carbonatação.

O ensaio de esclerometria, comumente utilizado em estruturas de concreto de pouca idade, foi realizado com o objetivo de avaliar a uniformidade do concreto da estrutura, levando-se em consideração ninhos de concretagem e vazios existentes sob a superfície. Os índices encontrados indicaram um concreto relativamente homogêneo.

Após essa fase, foram extraídas seis amostras de concreto da superestrutura e duas da mesoestrutura para serem realizados os seguintes ensaios: resistência à compressão, absorção

de água, índice de vazios e massa específica, seguindo as diretrizes das normas NBR-7680 e NBR-9778. As resistências à compressão dos testemunhos extraídos do tabuleiro conduziram à resistência característica de 19,9 MPa, com coeficiente de variação de 13%, indicando uma resistência de 15MPa na fase de execução da obra. Segundo a NBR-7680/83, concretos com mais de 2 anos de idade, sofrem um acréscimo de resistência da ordem de 20%.

No que diz respeito à absorção de água, o valor médio encontrado foi da ordem de 4,46%, indicando um consumo de água de amassamento entre 185 a 190 l/m³ de concreto endurecido. É um valor que conduz a um concreto de boa plasticidade e fácil adensamento. A massa específica média encontrada é 2,298 kg/dm³, valor inferior ao obtido em concreto de boa compactação, que é da ordem de 2,4 kg/dm³. Este índice, aliado a falta de uniformidade na utilização do agregado graúdo e a alta densidade de armadura nas vigas principais, proporcionou a ocorrência de vazios, facilitando a penetração de agentes agressivos.

Com relação à porosidade, isto é, índice de vazios, o valor médio encontrado é 10,24%, indicando um concreto permeável, inadequado para proteger as armaduras por longos períodos.

Para a determinação do teor de cloretos solúveis em água, utilizou-se um dos testemunhos extraídos para o ensaio de compressão. Obedecendo-se aos procedimentos da NBR-9917, encontrou-se um teor de íon cloreto da ordem de 0,04% em relação ao peso do concreto. De acordo com a norma espanhola EH-88, que considera como limite geral dos valores compreendidos entre 0,05% a 1,0% em relação ao peso do concreto, o teor encontrado indica a presença de cloretos na amostra, porém, em proporções aceitáveis. Esse índice, apesar de não ser fator determinante para corrosão das armaduras atua como acelerador do processo de corrosão, aliado à presença de outros fatores, tais como lixiviação, fungos e elevada frente de carbonatação. Os íons de cloreto podem ser provenientes do uso da água de amassamento ou da areia.

Os ensaios de tração das armaduras quanto ao limite de escoamento, resistência convencional à ruptura, e alongamento, conduziram ao aço de categoria CA-25. Os valores das massas por metro encontradas nos exemplares satisfazem as preconizadas pela NBR-7480.

3.3.2 Situação encontrada na vistoria

De posse dos dados referenciais da obra, foi realizada uma análise estrutural da ponte no sentido de avaliar o seu grau de segurança.

No tabuleiro, observaram-se fissuras extensas com abertura máxima de 0,8mm no balanço contíguo ao pilar P1. Não foram observadas fissuras nas vigas principais. Já nas transversinas, constatou-se fissuração significativa com abertura máxima de 0,8mm;

O pilar P1 apresentou fissuração generalizada com abertura máxima de 4,0mm. As cargas atuantes nesse pilar são provenientes do muro de contenção, através de escoras de carnaúba e do empuxo direto decorrente do acúmulo de terra entre o pilar e o muro de contenção, proveniente do desmoronamento de parte do muro e aterro.

Quanto às flechas, observaram-se valores excessivos da ordem de 25mm no centro do vão; de 23mm na extremidade do balanço contíguo ao encontro; de 45mm na extremidade do balanço contíguo ao trecho central; de 40mm no trecho central. Essas deformações excessivas podem ser visualizadas na figura 27.

3.3.3 Análise estrutural

Na análise foram consideradas as ações permanentes e acidentais preconizadas nas normas técnicas NBR-7187/87 e NBR-7188/84. As cargas acidentais foram majoradas pelo coeficiente de impacto.

O modelo de cálculo empregado na análise da superestrutura segue o esquema de vigas principais independentes conforme mostrado na figura 29. A análise indicou ser uma ponte classe 12. As patologias encontradas na ponte, tais como fissuração generalizada e flechas excessivas apontam como origem, a presença de tráfego de veículos pesados, que acarretam vibrações excessivas, sobretudo no instante de entrada do veículo na ponte.

3.3.4 Diagnóstico do problema e agravantes

A obra em estudo se encontra em estado de conservação regular, necessitando de intervenção para recuperar danos causados pelo processo corrosivo já instalado. O avanço da frente de carbonatação associada à presença de vazios resultante de um adensamento insuficiente, má colocação e concentração de armaduras, além de elevada granulometria do agregado graúdo, torna a obra mais vulnerável ao ataque de agentes agressivos.

Este quadro é corroborado pelas seguintes evidências:

- a) elevados graus de porosidade e absorção d'água;
- b) massa específica inferior ao padrão de concreto de boa compacidade;
- c) presença de vazios e ninhos de concretagem;
- d) cobertura insuficiente, inclusive com exposição de armaduras em alguns trechos.

A estrutura apresenta fissuração e, também, flechas excessivas de 45mm devido ao aumento expressivo da sua sobrecarga de utilização, agravada pela proporção inadequada de vãos.

3.3.5 Resumo das patologias

Na figura 33, são mostrados esquemas dos elementos estruturais da ponte, identificando-os para posterior análise das manifestações patológicas.

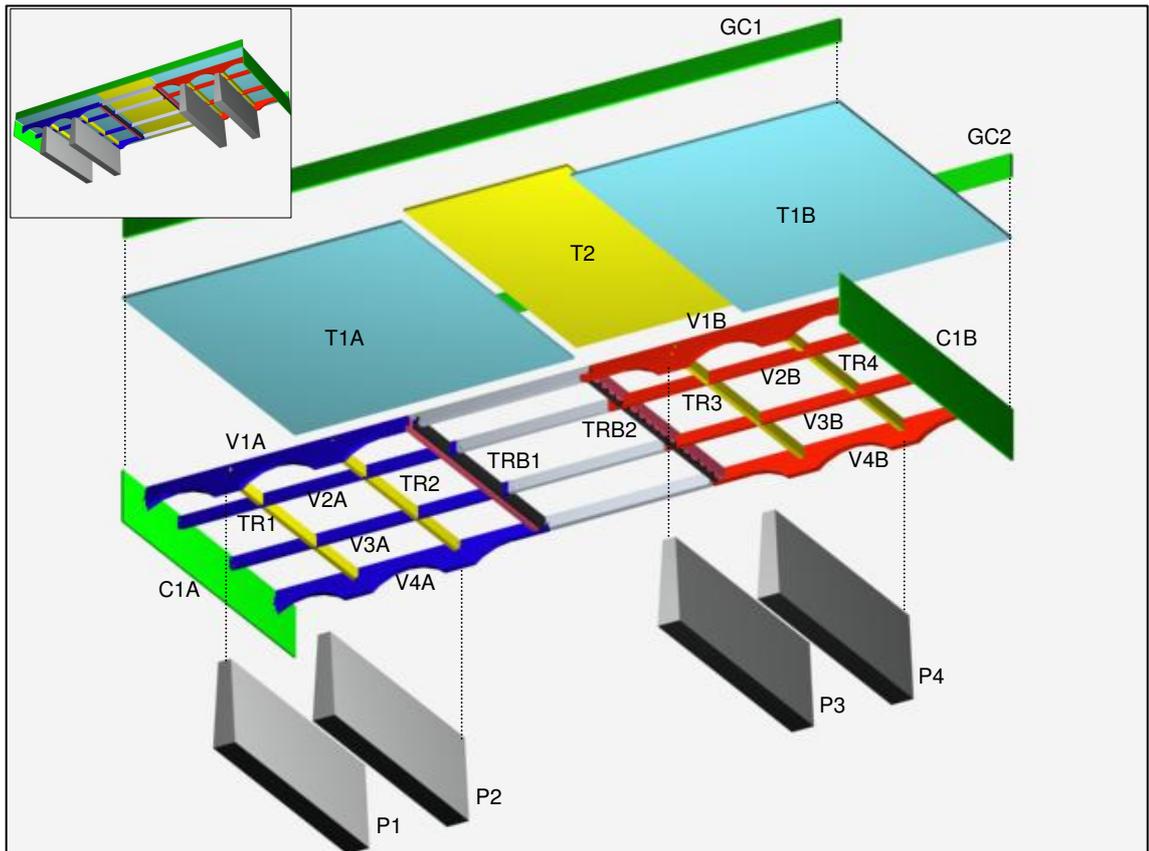


Figura 33 – Peças que compõem a ponte.

O quadro 1 relaciona as patologias encontradas na ponte sobre o rio Aracoiaba, no Estado do Ceará. Nele estão relacionados os diversos elementos que compõem a ponte, em conformidade com as convenções mostradas na figura 33.

Quadro 1 – Patologias encontradas na ponte sobre o rio Aracoiaba.

Elemento \ Patologia	Mancha de lixiviação	Mancha de corrosão	Mancha de fungos	Fissura longitudinal	Fissura transversal	Fissuras generalizadas	Corrosão de armaduras	Desplacamentos (por ações internas)	Desplacamentos (por ações externas)	Ninho de concretagem	Flecha excessiva	Degradação química
Cortina C1-A					X			X	X		X	
Cortina C1-B												
Guarda-corpo GC-1			X			X	X	X	X		X	
Guarda-corpo GC-2			X			X	X		X		X	
Laje de tabuleiro T1-A	X	X	X				X	X		X	X	
Laje de tabuleiro T1-B	X			X			X	X			X	
Laje de tabuleiro T2+Gerber		X						X				
Muro de Arrimo M1												
Muro de Arrimo M2												
Pilar 1					X							
Pilar 2												
Pilar 3			X									
Pilar 4			X		X							
Transversina de bordo TR-B-1		X					X	X				
Transversina de bordo TR-B-2							X	X				
Transversina TR-1				X								
Transversina TR-2												
Transversina TR-3												
Transversina TR-4												
Viga 1B							X	X			X	
Viga 2B							X	X			X	
Viga 3B							X	X			X	
Viga 4B							X	X		X	X	
Viga V1-A							X	X		X	X	
Viga V2-A							X	X			X	
Viga V3-A							X	X			X	
Viga V4-A							X	X		X	X	

O gráfico mostrado na figura 34 representa um resumo das patologias relacionadas no quadro 1, onde se observam os seguintes percentuais mais significativos:

- 20% dos elementos da ponte apresentam flecha excessiva;
- 22% deles apresentam lascamentos ou deslocamentos;
- 20% deles apresentam corrosão de armaduras;
- 8% deles apresentam manchas ou fungos impregnados nas superfícies.

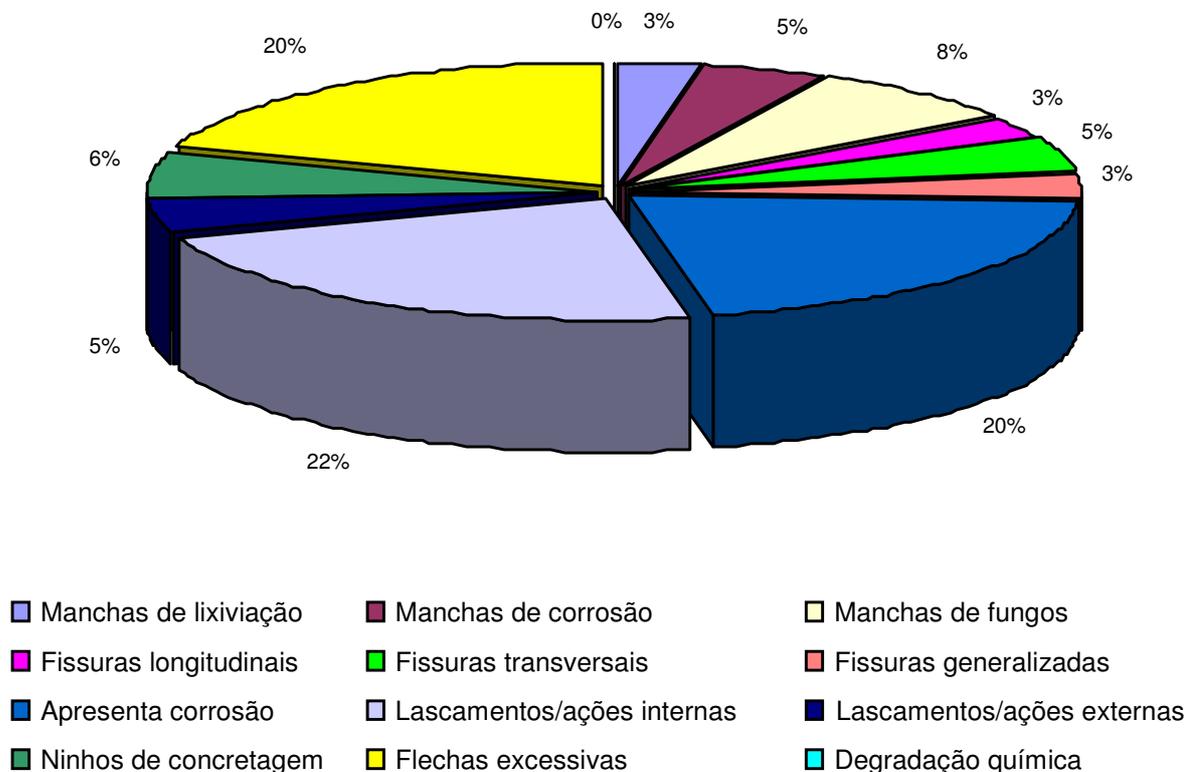


Figura 34 – Percentagens de patologias encontradas na ponte sobre o rio Aracoiaba.

3.3.6 Conclusão

As análises realizadas permitem concluir que a substituição ou reforço total da superestrutura deve ser a opção mais viável tecnicamente. Quanto às demais partes da ponte a opção técnico-econômica mais apropriada é reforçar fundações e pilares, com encamisamento de concreto armado. Esses reforços conduzirão ao aumento da capacidade de carga e rigidez

da ponte, acarretando uma redução de fragilidade e vulnerabilidade à fissuração, necessárias ao desempenho da nova estrutura.

Caso se deseje duplicar a ponte, é indispensável à elaboração de um projeto global de reforço e duplicação, que compatibilize ao máximo o comportamento entre a seção antiga reforçada e a nova seção. Vale ressaltar, que além das providências já citadas para aproveitamento global das estruturas, faz-se necessária a total recuperação de todos os elementos componentes da ponte, devido à degradação provocada pelos processos corrosivos.

CAPITULO IV

4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A metodologia aplicada para desenvolvimento deste estudo exige a definição de critérios de levantamento de dados relativos às obras, compreendendo:

- localização da obra na via;
- caracterização do sistema estrutural com elaboração de croquis;
- caracterização dimensional das principais peças estruturais componentes da obra, tais como: guarda-corpo e guarda-rodas, tabuleiro, sistema de drenagem, longarina (viga longitudinal), transversina (viga transversal), aparelho de apoio, encontro, pilar e fundação, quando possível;
- inspeção visual com preenchimento de fichas de cadastros patológicos das principais peças estruturais;
- falhas observadas / sintomas visuais; e
- cadastro da obra no Sistema de Monitoramento de Obras de Arte – SISMOD.

A NBR 9452/86, Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto Armado, recomenda três tipos de vistorias em pontes, a saber:

- a) vistoria cadastral;
- b) vistoria rotineira; e

c) vistoria especial.

Na vistoria cadastral são anotados os principais elementos para a segurança e durabilidade da obra. A vistoria cadastral é complementada com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos relacionados à obra, tais como: classe, localização, data, projetista e construtora.

A vistoria rotineira visa manter atualizado o cadastro da obra, devendo ser realizada em intervalos regulares, não superior a um ano, e também aquelas motivadas por ocorrências excepcionais. Já a vistoria especial visa interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas na vistoria rotineira.

Neste trabalho, optou-se por realizar uma vistoria diferenciada das três apresentadas anteriormente, uma mescla entre a vistoria rotineira e a especial. A vistoria é efetuada sempre que se julgar necessário, objetivando o registro e a análise dos resultados encontrados.

Para o registro das informações e rápido controle das obras prioritárias a sofrerem intervenções, utilizou-se o Sistema de Monitoramento de Obras – SISMOD. É um software computacional especialmente elaborado para monitoramento das patologias que ocorrem nas obras rodoviárias. Além de servir de subsídio para técnicos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, o sistema monitora e prioriza as obras mais degradadas numa escala decrescente de urgência de intervenção.

De fácil acessibilidade e interpretação, o SISMOD utiliza a linguagem HTML para elaboração de sua estrutura física e a linguagem JAVA para a sua estrutura lógica de processamento. São mostradas, a seguir, as principais páginas que compõem o SISMOD.

Na tela principal, mostrada na figura 35, são encontrados:

- cadastro da obra e suas patologias, onde são registradas todas as informações relacionadas às características dimensionais e de concepção da ponte;

- pesquisar / alterar dados da ponte, opção utilizada para localizar ou alterar um ou mais dados da obra, bastando digitar o seu código;
- listagem de obras prioritárias, que possibilita obter uma lista por prioridade das obras que necessitam sofrer intervenções de qualquer natureza.

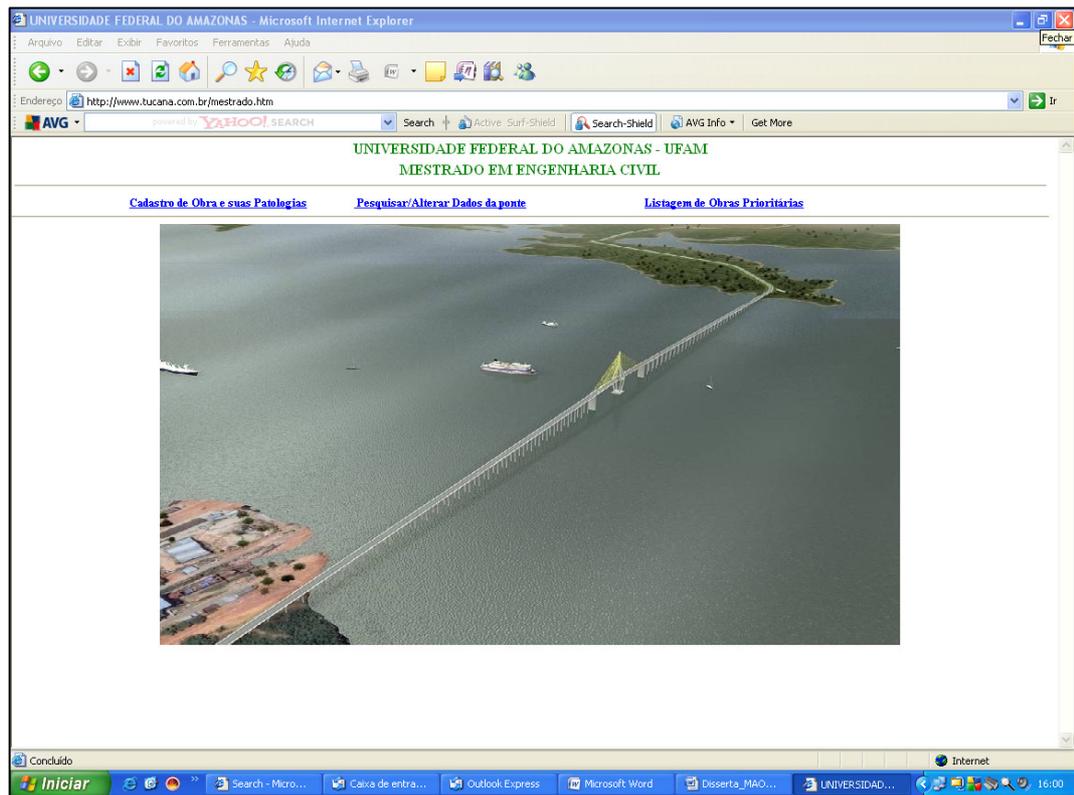


Figura 35 – Tela principal do sistema de monitoramento de obras: ponte sobre o rio Negro.

Os dados de cadastro e localização da ponte, como nome do curso d'água, rodovia, número de vãos, comprimento e largura, devem ser digitados. Já as características da ponte e sua concepção estrutural devem ser escolhidas dentro das opções que são reveladas nas janelas. O tipo de estrutura adotada, o tipo de aparelho de apoio e as características do ambiente são exemplos mostrados na figura 36.

Figura 36 – Página de cadastro da obra e suas características.

Na tela mostrada na figura 37, estão relacionados os principais tipos de patologias que podem ocorrer na ponte e seus elementos estruturais.

Tipologias	Nota	Guarda Rodas	Laje de Transição	Apóios de Apoio	Encontros	Cortinas	Guarda Corpo	Laje de Tabuleiro	Transversinas	Longarinas	Pilares
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ruptura	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emagamento do Concreto	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fissuras Transversais	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trincas	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corrosão de Armaduras	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vazios de Concretagem	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fissuras Longitudinais	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lubrificação	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ruínas por Impactos	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carbonatação	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aparelho Travado	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inexistência de Aparelho	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosão de Fundação	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carreamento de Aterro	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosão dos Encontros	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desaparelho	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desalinhamento	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desníveis	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entupimentos de Drenos	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empoamento	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Posição Inadequada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Estado Aparência da Obra: Crítico
 Valores: Crítico=2 | Médio=1.6 | Regular=1.3 | Bom=1.1 | Ótimo=1
 Nota Ponderada:

Figura 37 – Página de cadastro das patologias e suas localizações.

No caso de alteração de dados da ponte, o programa dispõe de recurso para atualização das informações, figura 38.

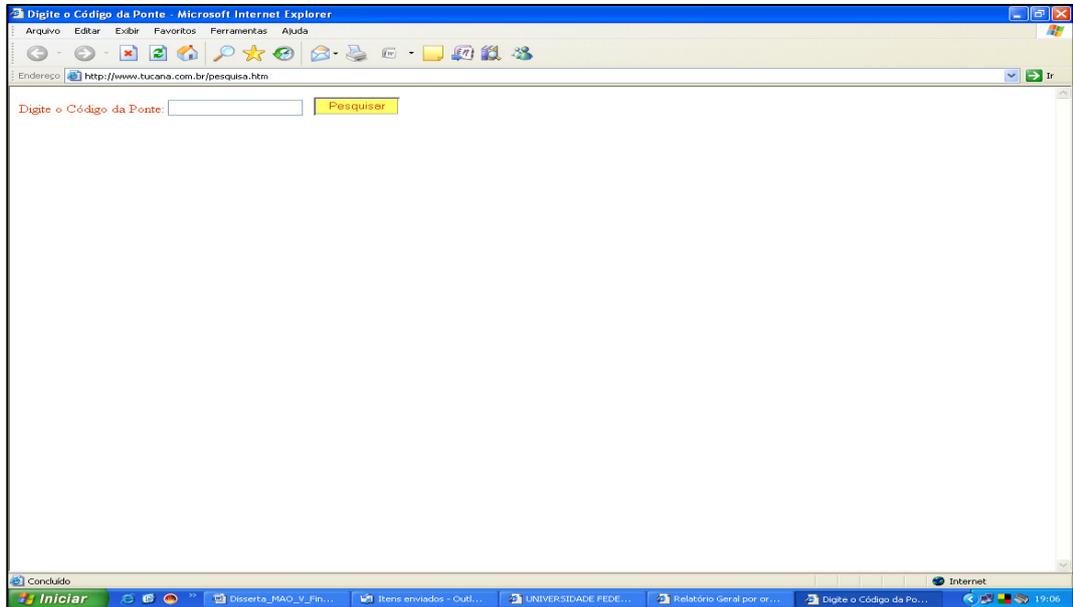


Figura 38 – Página de localização e alteração de dados cadastrais.

A tela mostrada na figura 39 revela a listagem de obras cadastradas e suas respectivas classificações quanto à necessidade de intervenção.

Código	Estrada	Km	Nome	Latitude	Longitude	Est. Obra	Grav
6	AM-010	0	RIO PRETO DA EVA	02 41,5561 S	59 42 1344 W	Critico	5234
8	AM-010	195	IG. TUCUNAREZINHO I	02 52,620 S	58 59,334 W	Bom	729,3
1	ALEXO-FIM	0	VIADUTO DO ALEXO	03 05,326 S	59 55,673 W	Bom	568,7
2	BR-174	0	IG. CABEÇA BRANCA	02 35,131 S	60 1,926 W	Bom	506
5	AM-010	0	IG. DO PAREUA	02 54,483 S	59 08,452 W	Bom	451,5
7	AM-010	198	IG. TUCUNAREZINHO II	02 53,611 S	58 58,997 W	Bom	245,3
3	AM-010	0	RIO URUBU II	3 2,231 S	58 34,547 W	Bom	58,3
4	AM 010	0	RIO URUBU I	02 54,674 S	59 02,751 W	Ótimo	53
9	BR-174	110	IG. DOS VEADOS	02 02,872 S	60 01,562 W	Ótimo	32

Figura 39 – Página do relatório de obras prioritárias.

Na etapa de análise dos dados coletados em campo, foram efetuados os seguintes estudos:

- análise global dos dados coletados nas obras;
- tratamento estatístico dos dados levantados.

O fluxograma, mostrado na figura 41, elaborado pelo engenheiro civil Norberto B. Lichtenstein, serviu de base para identificação e diagnóstico das patologias encontradas nas pontes vistoriadas.

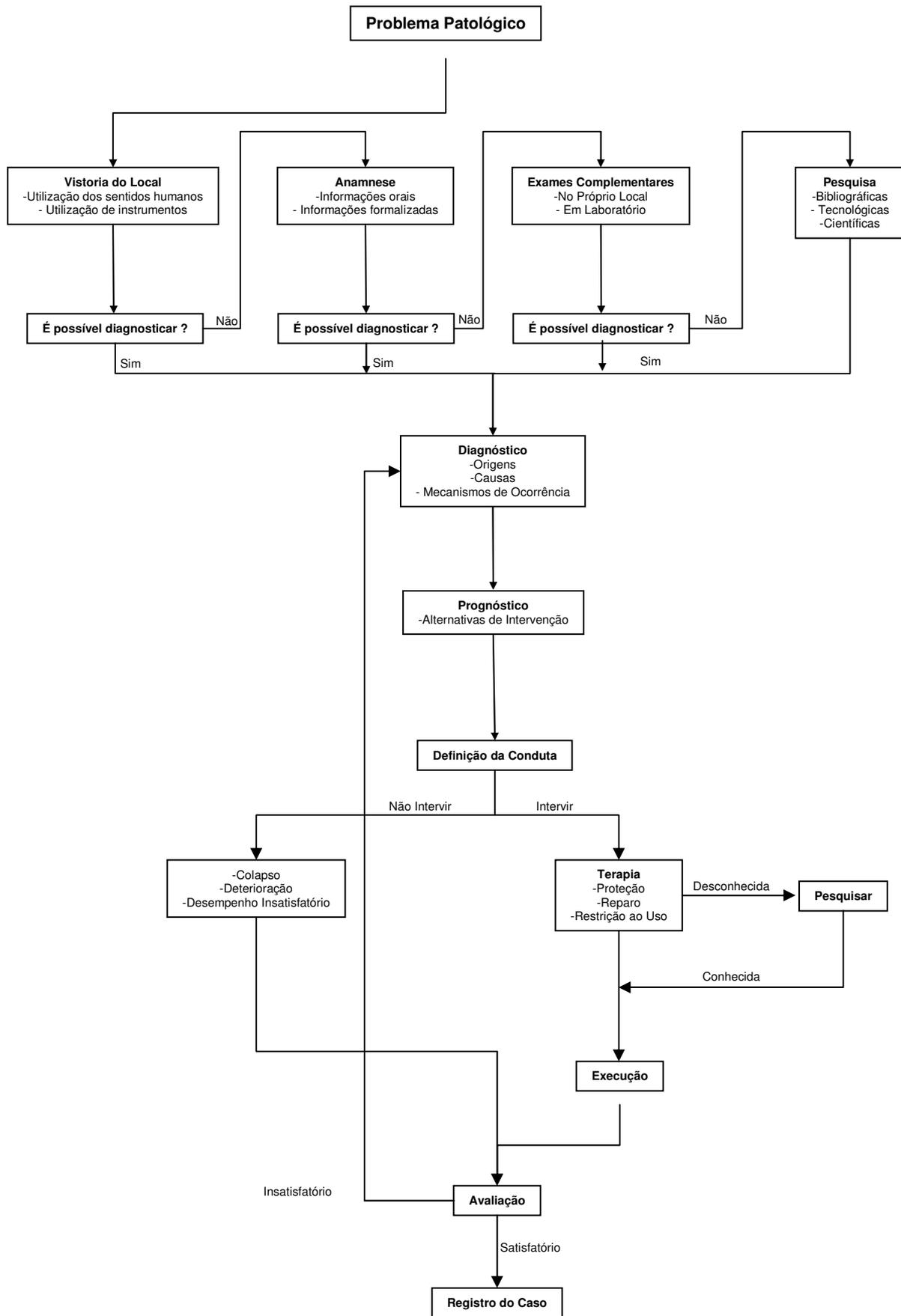


Figura 41 – Fluxograma de atuação para identificação e diagnóstico das patologias. (Fonte: Lichtenstein, 1985)

4.2 INFORMAÇÕES GERAIS

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações características a partir das quais se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como estimar suas prováveis conseqüências. Esses sintomas, também denominados de lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos, classificados e registrados, servindo de orientação para posteriores avaliações, a partir de minuciosas e experientes observações visuais.

Na coleta de dados em campo, foram utilizados formulários específicos para identificação das obras e de suas peças estruturais assim como as manifestações patológicas, adotando-se pesos diferentes para cada tipo de manifestação patológica. Com esse procedimento objetiva-se reduzir o grau de subjetividade da avaliação no que tange a formatação de uma lista de obras prioritárias a sofrerem intervenções.

Para cada patologia cadastrada, o SISMOD gerará automaticamente um “grau parcial” (GP) baseado no nível de importância do fenômeno e da peça que está comprometida. Patologias mais severas em peças de maior responsabilidade na obra, isto é, aquelas que põem em maior risco a durabilidade e/ou a segurança da obra terão maior urgência sobre as demais e apresentarão um grau parcial maior. Ao final da análise, a obra passará a ter um “grau final” (GF), o qual define, quando comparada às demais obras, o nível de urgência para a intervenção. Isto é, uma obra com grau final maior tem prioridade de intervenção sobre as demais.

As rodovias federais são divididas por jurisdições (trechos), sendo sua manutenção de responsabilidade direta dos engenheiros residentes nas diversas localidades do interior dos Estados. Esses profissionais podem, via internet, cadastrar as obras da malha viária de sua jurisdição com suas respectivas patologias e obter imediatamente o grau final e sua colocação no *ranking* de urgência de intervenção.

Dessa forma, do ponto de vista técnico, fica o gestor com condições de tomar decisão de intervenção na estrutura, pois dispõe do levantamento atualizado de toda a malha rodoviária.

A metodologia de vistoria em cada obra obedece a duas etapas distintas. A primeira é composta de cadastro da obra com sua localização física, além, de suas características dimensionais. A segunda é composta do levantamento e registro de todas as tipologias de patologias.

4.2.1 Parâmetros para registros de patologias

4.2.1.1 Nome do curso d'água

Registro do nome conhecido e/ou explicitado em placas indicativas da obra.

4.2.1.2 Nome da rodovia

Aqui se utilizam as codificações adotadas pelos departamentos federal e estadual de estradas e rodagens brasileiros estabelecidos pelo Plano Nacional de Viação.

A nomenclatura das rodovias é definida pela sigla BR, no caso de rodovia federal, seguida por três algarismos. No caso das rodovias estaduais, a sigla é referente ao Estado a que elas pertencem, por exemplo: CE para o Estado do Ceará e AM para o Estado do Amazonas. O primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, de acordo com as definições estabelecidas no Plano Nacional de Viação, a saber:

- zero para rodovias radiais – rodovias que partem da capital federal em direção aos extremos do país;
- um para rodovias longitudinais – rodovias que cortam o país na direção Norte–Sul;
- dois para rodovias transversais – rodovias que cortam o país na direção Leste–Oeste;

- três para rodovias diagonais – rodovias que podem se apresentar em um dos seguintes modos de orientação: Noroeste–Sudeste ou Nordeste–Sudoeste;
- quatro para rodovias de ligação – rodovias geralmente ligando rodovias federais, ou pelo menos uma rodovia federal à cidades, ou pontos importantes, ou, ainda, às nossas fronteiras internacionais.

Os dois outros algarismos definem a posição, a partir da orientação geral da rodovia, relativamente à capital federal e aos limites do país (Norte, Sul, Leste e Oeste), obedecidas as indicações seguintes:

a) rodovias radiais, BR-0XX – a numeração dessas rodovias pode variar de 05 a 95, segundo a razão numérica 5 e no sentido horário. Por exemplo: BR-040;

b) rodovias longitudinais, BR-1XX – a numeração dessas rodovias varia de 00, no extremo leste do país, a 50, na capital federal, e de 50 a 99, no extremo oeste. O número de uma rodovia longitudinal é obtido por interpolação entre 00 e 50, se a rodovia estiver a leste de Brasília e, entre 50 e 99 se estiver a oeste, em função da distância da rodovia ao meridiano da capital federal. São exemplos: BR-101, BR-153, BR-174;

c) rodovias transversais, BR-2XX – a numeração dessas rodovias varia de 00, no extremo norte do país, a 50 na capital federal, e de 50 a 99 no extremo sul. O número de uma rodovia transversal é obtido por interpolação entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte da capital, e entre 50 e 99, se estiver ao sul, em função da distância da rodovia ao paralelo de Brasília. São exemplos: BR-230, BR-262, BR-290;

d) rodovias diagonais, BR-3XX – a numeração dessas rodovias obedece ao seguinte critério:

- diagonais orientadas na direção geral NO–SE. A numeração, números pares, varia de 00, no extremo NE do país, a 50, em Brasília, e de 50 a 98, no extremo SO. Obtém-se o número da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da

distância da rodovia a uma linha com a direção NO–SE, passando pela capital federal. São exemplos: BR-304, BR-324, BR-364;

- diagonais orientadas na direção geral NE–SO. A numeração varia, segundo números ímpares, de 01, no extremo NO do país, a 51, em Brasília, e de 51 a 99, no extremo SE. Obtém-se o número aproximado da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção NE–SO, passando pela capital federal. São exemplos: BR-319, BR-365, BR-381.
- rodovias de ligações, BR-4XX – a numeração dessas rodovias varia entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte do paralelo da capital federal, e entre 50 e 99, se estiver ao sul desta referência. São exemplos: BR-401 (Boa Vista/AC – Fronteira BRA/GUI), BR-407 (Piripiri/PI – BR-116/PI e Anagé/PI), BR-470 (Navegantes/SC – Camaquã/RS), BR-488 (BR-116/SP – Santuário Nacional de Aparecida/SP).

4.2.1.3 Localização

A localização da obra em relação aos pontos iniciais adotados na fase de construção foi realizado por meio de GPS (Global Position System), registrando sua latitude e longitude referenciada ao posicionamento global.

4.2.1.4 Caracterização da obra

Informações sobre os materiais empregados nos elementos estruturais que compõem a obra tais como aço ou concreto, devem ser fornecidos, assim como a modalidade de sua execução, pré-moldado ou moldados no local, no caso de concreto armado, executado no local ou em fábricas, no caso de aços.

As características dimensionais da obra devem, também, ser fornecidas: número de vãos, comprimento, largura da ponte tomada sobre a laje de tabuleiro em suas dimensões máximas.

4.2.1.5 Caracterização da superestrutura

Devem ser fornecidas as condições de contorno das longarinas e suas seções transversais, seções abertas ou celulares, tipo caixão ou T. A presença ou não de mecanismo que interrompa a continuidade da viga, como, por exemplo, dente Gerber.

4.2.1.6 Caracterização do sistema de apoio

Observam-se a existência ou não de aparelhos de apoio e suas tipologias, tais como elastômero, concreto, aço e chumbo. Os graus de liberdade, também, devem ser verificados, aparelhos de apoio fixo ou móvel.

4.2.1.7 Caracterização dos pilares

As características executivas dos pilares de apoio e suas seções devem ser relacionadas, observando-se os mesmos são contraventados ou não. Foram adotadas as prescrições da NBR-9452/86, Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto.

4.2.1.8 Caracterização das fundações

Na maioria das vezes não é possível identificar o tipo de fundação por estar sob o solo ou água. No caso de ter acesso visual, identificam-se os materiais que compõem a fundação.

4.2.1.9 Caracterização dos encontros

O material de que é composto o encontro, tais como concreto armado, alvenaria de pedra argamassada ou simplesmente aterro, deve ser inspecionado para sua caracterização.

4.2.1.10 Caracterização do sistema de drenagem

Verificação da ocorrência de instalações que escoem as águas sobre a laje de tabuleiro, tais como tubulações em PVC ou aço galvanizado ou fundido. Quando não for constatada a presença de tubulação, observa-se existência ou não de caimentos longitudinais ou transversais para a fuga de água.

4.2.1.11 Caracterização do ambiente

Identifica o ambiente em que está inserida a obra, atmosferas rural, urbana, marinha ou industrial, o qual subsidia a maioria das justificativas das ocorrências patológicas nas obras. As prescrições da NBR 6118/2003, Projetos de Estruturas de Concreto – procedimento, sobre classes de agressividade, devem ser observadas.

4.2.1.12 Ensaio de esclerometria

Estimar a resistência à compressão do concreto por método esclerométrico. Deve-se atentar, nesta etapa de análise, para o aumento de resistência à compressão do concreto da camada superficial decorrente do efeito da carbonatação, fato comum em obras de concreto com idades avançadas. As prescrições da NM 78:96, Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão do Comitê Mercosur de Normalizacion.

4.2.1.13 Patologias

A etapa de levantamento das patologias encontradas nas pontes vistoriadas contempla aquelas que ocorrem com maior frequência. No quadro 2 são mostradas as diversas formas de patologias, registradas no decorrer das vistorias e suas possíveis localizações. Convém aqui lembrar que a qualidade das obras tem influencia nos tipos e quantidades de patologias.

Quadro 2 – Tipologia das patologias e suas possíveis localizações.

Local Tipologia	Guarda-corpo	Guarda-rodas	Laje de transição	Laje de tabuleiro	Longarinas	Transversinas	Cortinas	Aparelhos de apoio	Pilares	Encontros
Ruínas por impacto										
Corrosão de armadura										
Lixiviação										
Carbonatação										
Desaprumo										
Desalinhamento										
Vazios de concretagem										
Desnívelamento										
Trinca										
Fissuras Longitudinal										
Fissuras Transversal										
Inexistencia de aparelho										
Esmagamento do concreto										
Erosão de fundação										
Erosão de encontro										
Entupimento de Dreno										
Empoçamento										
Posição inadequada										
Aparelho travado										
Ruptura										
Carreamento de aterro										

Considerou-se como fenômeno patológico toda e qualquer forma de dano causado à obra originado em nível de projeto, de qualidade dos materiais, de execução ou de uso e manutenção, a saber:

- ruínas por impacto: peça que sofreu qualquer tipo de impacto ou demolição acidental ou provocada por vandalismo;
- corrosão de armaduras: peça que apresenta sintomas de corrosão das armaduras internamente ao concreto ou até mesmo com armaduras expostas;

- **lixiviação:** peça que apresenta percolação de água através do concreto já fissurado ou com elevada permeabilidade. A lixiviação se apresenta através da eflorescência dos compostos da pasta de cimento;
- **carbonatação:** a carbonatação, fenômeno natural das peças confeccionadas em concreto na presença do CO₂ da atmosfera, é considerada um fator agravante para o aparecimento de patologias mais severas;
- **desaprumo:** a peça se apresenta comprometida quanto a sua verticalidade;
- **desalinhamento:** a peça apresenta distorções ou descontinuidade de alinhamento construtivo;
- **vazios de concretagem:** a peça apresenta ninhos ou bexigas na seção do concreto devido à deficiência no adensamento ou por proporção (traço) inadequada de seus componentes;
- **desnívelamento:** a peça apresenta-se visivelmente fora de nível ou distorções em alturas;
- **trincas, fissuras longitudinais ou fissuras transversais:** a peça se apresenta com abertura suficiente para a penetração de agentes agressivos. Essa abertura tanto pode ter origem interna, como é o caso da expansão das armaduras corroídas, ou pode ser decorrente de deformações acentuadas nos elementos estruturais;
- **inexistência de aparelho de apoio:** a superestrutura é apoiada diretamente sobre os pilares;
- **esmagamento do concreto:** a peça se encontra em estado eminente de desmoronamento por não haver mais coesão com concreto endurecido;
- **erosão de fundação:** as fundações se apresentam expostas as intempéries devido ao carreamento de elementos de aterro;
- **erosão dos encontros:** os elementos que fazem a interface entre o curso do rio e o aterro já não tem capacidade de contê-los;
- **entupimento de dreno:** os dispositivos de vazão das águas provenientes das chuvas encontram-se obstruídos;

- empoçamento: quando há acúmulo de água proveniente das chuvas sobre a laje de tabuleiro;
- posição inadequada: a peça está visivelmente fora da posição ou foi executada em posição não correta;
- aparelho travado: ocorre no aparelho de apoio devido ao avançado estado de corrosão, quando se tratar de dispositivo metálico;
- ruptura: a peça encontra-se danificada;
- carreamento de aterro: o aterro nos encontros encontra-se em fase de desmoronamento provenientes de chuvas ou deficiências nos taludes.

4.2.2 Estado aparente da obra

Esta determinação é relativamente subjetiva e depende de quem está realizando o diagnóstico, porém, não deve diferir muito das opiniões dos membros que compõe a equipe de campo. São cinco itens que denotam o estado de conservação da obra quanto ao seu aspecto geral. Numa visão macro, apresentam-se as definições abaixo:

Estado crítico. Define-se estado crítico como sendo aquelas obras que já apresentam elevado risco de desabamento ou ruína, expondo seus usuários ao risco de sofrer acidentes graves. Pontes escoradas ou interditadas foram classificadas com sendo de estado crítico de conservação. Os exemplos mostrados na figura 42 são de obras consideradas em estado crítico;



Figura 42 – Obras consideradas em estado crítico de conservação.

Péssimo estado. Obras consideradas em péssimo estado de conservação são aquelas que apresentam patologias generalizadas, que necessitam sofrer intervenções imediatas, porém, sem apresentar risco eminente aos seus usuários;

Estado regular de conservação. Entende-se por obras em estado regular de conservação aquelas que apresentam patologias de média intensidade, mas que já requerem intervenções em curto prazo. Estas patologias devem ocorrer em peças de elevado grau de responsabilidade para a estabilidade da obra;

Bom estado de conservação. São obras que podem apresentar patologias em baixo nível de intensidade e que podem sofrer intervenções a médio ou longo prazo.

Ótimo estado de conservação. São obras que apresentam baixíssimas ou nenhuma ocorrência patológica. Estas obras, na maioria das vezes, são de pouca idade ou que já sofreram pequenas intervenções de manutenção.

4.2.3 Urgência de intervenção

Avaliando-se o grau de deterioração das obras, é possível definir um prazo para a realização das intervenções, tanto de recuperação como de reforços, ou até mesmo

recomendar interdição ou demolição parcial ou total da obra. Optou-se por enquadrar as obras em 4 categorias, a saber:

- a obra necessita de intervenção imediata;
- a intervenção pode aguardar um pequeno período para acontecer, por exemplo, de 1 a 2 anos;
- a intervenção poderá se dar após 3 anos e antes de 9 anos;
- a intervenção ou uma nova vistoria poderá acontecer entre 10 e 20 anos.

4.3 METODOLOGIA DE GERAÇÃO DO GRAU FINAL

A metodologia utilizada para a geração do grau final (GF) ou grau de prioridade de cada ponte passa pelo preceito de determinar quais peças são consideradas de maior responsabilidade e comprometimento da segurança da ponte, além da certificação daquelas patologias promotoras de deteriorações mais agressivas e de maiores riscos a estabilidade da obra.

Após o cadastro das pontes e suas respectivas patologias, o SISMOD gera um grau final (GF) para cada obra. Este grau final é levado em consideração para a geração do *ranking* das obras prioritárias indicadas a sofrer qualquer tipo de intervenção. O quadro 3 mostra os valores individuais adotados para geração de cada grau parcial das patologias e das peças que compõem a obra. Este grau parcial representa o nível de comprometimento da peça e da patologia sobre quanto maior o nível de responsabilidade da peça na obra, maior será a sua nota, e quanto maior o grau de risco da patologia, maior será a sua influencia na geração do grau. O produto entre esses dois fatores representa o grau parcial (GP) da patologia instalada na peça.

Quadro 3 – Metodologia de geração de grau parcial.

Nota e elemento da ponte Patologia		Guarda-rodas	Laje de transição	Apoio	Encontro	Cortina	Guarda-corpo	Laje de tabuleiro	Transversina	Longarina	Pilar	
	NOTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruptura	21							↓			↓	
Esmagamento do concreto	20							↓			↓	
Fissuras transversais	19							↓			↓	
Trincas	18							↓			↓	
Corrosão de armaduras	17	→						119		→		170
Vazios de concretagem	16											
Fissuras longitudinais	15											
Lixiviação	14											
Ruínas por impacto	13											
Carbonatação	12											
Aparelho travado	11											
Inexistência de aparelho	10											
Erosão de fundação	9											
Carreamento de aterro	8											
Erosão dos encontros	7											
Desaprumo	6											
Desalinhamento	5											
Desnivelamentos	4											
Entupimento de drenos	3											
Empoçamento	2											
Posição inadequada	1											

Criaram-se valores (pesos) para ajuizar o estado aparente da obra quando uma determinada obra apresentar patologia pontual, porém, bastante comprometedora a sua estabilidade. Os valores para os estados considerados crítico, péssimo, regular, bom e ótimo foram definidos por 2,0; 1,6; 1,3; 1,1 e 1,0, respectivamente, quadro 4.

Quadro 4 – Metodologia de geração do grau final.

Estado Aparente da Obra:	Crítico: 2,0	Péssimo: 1,6	Regular: 1,3	Bom: 1,1	Ótimo: 1,0				
Urgencia de Intervenção:	IMEDIATA: <input type="radio"/>	De 1 a 2 anos: <input type="radio"/>	De 3 a 9 anos: <input type="radio"/>	De 10 a 20 anos: <input type="radio"/>					
Data do Levantamento:									
Responsável pelo Levantamento:									

O somatório de todos os GPs multiplicado pelo peso relativo ao estado aparente da obra, gera o grau final. Este grau final é listado em ordem decrescente, gerando uma lista das obras prioritárias (*ranking*).

CAPÍTULO V

5.1 OBRAS VISTORIADAS NOS ESTADOS DO CEARÁ E AMAZONAS

Foram realizados levantamento de dados em quarenta e cinco obras no Estado do Ceará, e vinte e nove no Estado do Amazonas. Essas informações receberam tratamento estatístico os quais deverão contribuir para subsídio técnico de futuras obras rodoviárias.

A tabela 3 relaciona as pontes vistoriadas localizadas em rodovias estaduais do Estado do Ceará de números 060, 292, 359 e 386. Algumas obras possuem a mesma denominação por se tratar do mesmo curso d'água, porém em quilometragens diferentes.

Tabela 3 – Nomenclatura e posicionamento das obras no Estado do Ceará.

Identificação	Município	Nº da rodovia	Localização (km)
Rio Putiú	Quixadá	060	Zero
Riacho da Divisa	Quixadá	060	20,00
Riacho dos Bois	Quixeramobim	060	28,00
Rio Aruque	Quixeramobim	060	30,00
Sangradouro do Açude das Pedreiras	Quixeramobim	060	35,00
Rio da Betânia	Quixeramobim	060	40,00
Sangradouro do Açude de Quixeramobim	Quixeramobim	060	45,00
Rio Pesqueira	Capistrano	060	87,00
Rio Muchinato	Senador Pompeu	060	98,00
Riacho São Joaquim	Senador Pompeu	060	99,80
Riacho Estreito	Senador Pompeu	060	106,40
Rio Patú	Pedra Branca	060	110,30
Sangradouro do Açude Dois Rios	Pedra Branca	060	112,00
Rio Banabuiú	Mombaça	060	137,60
Açude da Ponte	Mombaça	060	141,30
Rio João Alves	Mombaça	060	142,10
Rio Capodé	Mombaça	060	147,10
Rio Cangatí	Mombaça	060	152,20
Rio Quinceo	Acopiara	060	187,30
Rio Truçu	Iguatú	060	219,00
Rio Croata	Iguatú	060	12,00
Riacho dos Defuntos I	Iguatú	060	13,90
Riacho dos Defuntos II	Iguatú	060	16,70
Riacho Cangati	Cariús	060	32,40
Riacho São Gerardo	Várzea Alegre	060	42,70
Riacho São Miguel	Várzea Alegre	060	47,30
Riacho do Feijão	Várzea Alegre	060	56,70
Rio Aracoiaba	Aracoiaba	060	73,00
Rio Granjeiro	Crato	292	1,50
Rio Batateiras	Crato	292	3,60
Rio Cariús	Santana do Carirí	292	51,50
Rio São Gonçalo	Assaré	292	69,20
Rio Piranjí	Ibaretama	359	49,00
Riacho Santa Rosa	Ibaretama	359	63,50
Riacho Esperança	Ibaretama	359	70,20
Rio Vargem da Onça	Quixadá	359	84,50
Rio Câmara	Quixadá	359	85,50
Rio Vacaria	Várzea Alegre	386	18,10
Riacho da Roça I	Farias Brito	386	26,80
Riacho da Roça II	Farias Brito	386	5,80
Riacho do Jardim	Crato	386	20,30
Riacho dos Carás	Crato	386	27,40
Riacho Correntinho	Crato	386	30,30
Riacho de Amélia	Crato	386	37,40
Rio Cedro	Quixadá	Variante/359/060	2,00

A tabela 4 descreve as pontes vistoriadas nas rodovias federal e estadual do Estado do Amazonas de números 174, 319 e 010.

Tabela 4 – Nomenclatura e posicionamento das obras no Estado do Amazonas.

Identificação	Município	Nº da rodovia	Localização (km)
Estrada do Aleixo – PIM	Manaus	PIM	---
Igarapé Tarumã	Manaus	BR-174	30
Igarapé Cabeça Branca	Manaus	BR-174	44
Igarapé do Rio Preto	Pres. Figueiredo	BR-174	83
Rio Urubu	Pres. Figueiredo	BR-174	100
Igarapé dos Veados	Pres. Figueiredo	BR-174	110
Igarapé das Lajes	Pres. Figueiredo	BR-174	113
Igarapé Santa Cruz	Pres. Figueiredo	BR-174	123
Igarapé Canoas	Pres. Figueiredo	BR-174	135
Igarapé Canastra	Pres. Figueiredo	BR-174	137
Igarapé do Coruja	Pres. Figueiredo	BR-174	172
Igarapé Sargento Picanço	Pres. Figueiredo	BR-174	178
Igarapé Taboca	Pres. Figueiredo	BR-174	179
Rio Santo Antonio do Abonari	Pres. Figueiredo	BR-174	208
Igarapé Meretxa	Pres. Figueiredo	BR-174	230
Igarapé Bá	Pres. Figueiredo	BR-174	235
Igarapé Wakyna Sina	Pres. Figueiredo	BR-174	238
Igarapé Temerê	Pres. Figueiredo	BR-174	253
Rio Alalaú	Pres. Figueiredo	BR-174	255
Rio Capitari	Careiro Castanho	BR-319	16
Rio Curuçá	Careiro Castanho	BR-319	25
Ponte do Altaz Mirim	Careiro Castanho	BR-319	27
Rio Araçá	Careiro Castanho	BR-319	52
Rio Preto da Eva	Rio Preto as Eva	AM-010	80
Igarapé do Peréua	Itacoatiara	AM-010	169
Rio Urubu I	Itacoatiara	AM-010	182
Igarapé Tucunarezinho	Itacoatiara	AM-010	195
Igarapé Tucunarezinho II	Itacoatiara	AM-010	198
Rio Urubu II	Itacoatiara	AM-010	240

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

A grande maioria das pontes vistoriadas foi executada no próprio local. Todas as pontes possuem problemas de patologia, quer construtivo, problemas adquiridos no ato de sua execução, quer de uso, por exemplo, obras projetadas para suportar uma determinada carga máxima, encontram-se operando com cargas bem superiores.

Registram-se a seguir algumas das principais patologias encontradas nas obras vistoriadas. Inicialmente tratam-se das patologias das pontes do Estado do Ceará, a saber:

- deformações excessivas, figuras 43 e 44, município de Quixeramobim, rodovia CE-060, km 45;

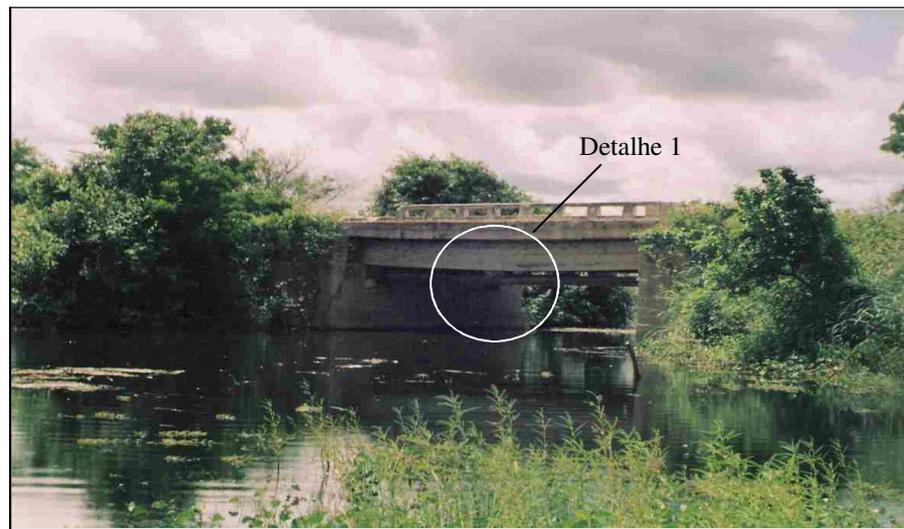


Figura 43 – Ponte sobre o sangradouro do açude de Quixeramobim.

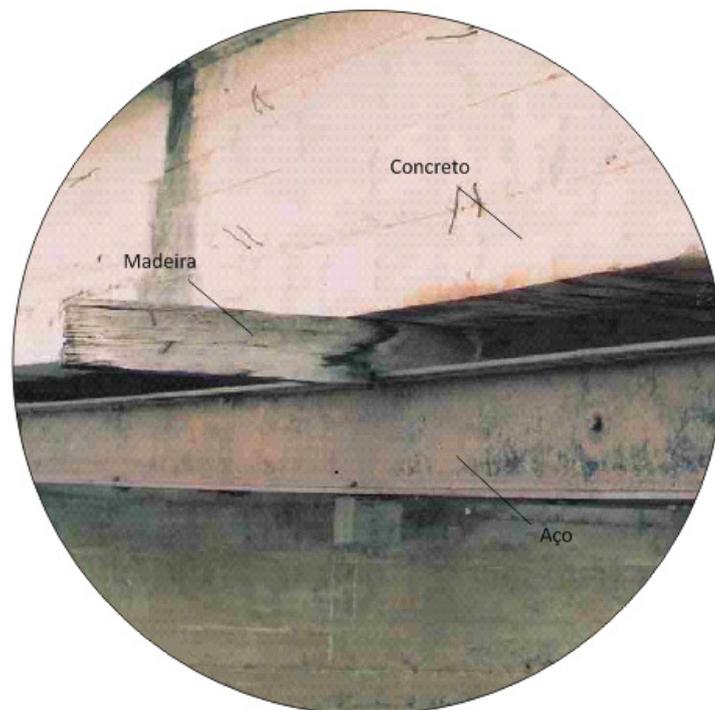


Figura 44 – Detalhe 1.

- recalque excessivo, figuras 45 e 46, município de Quixeramobim, rodovia CE-060, km 28;

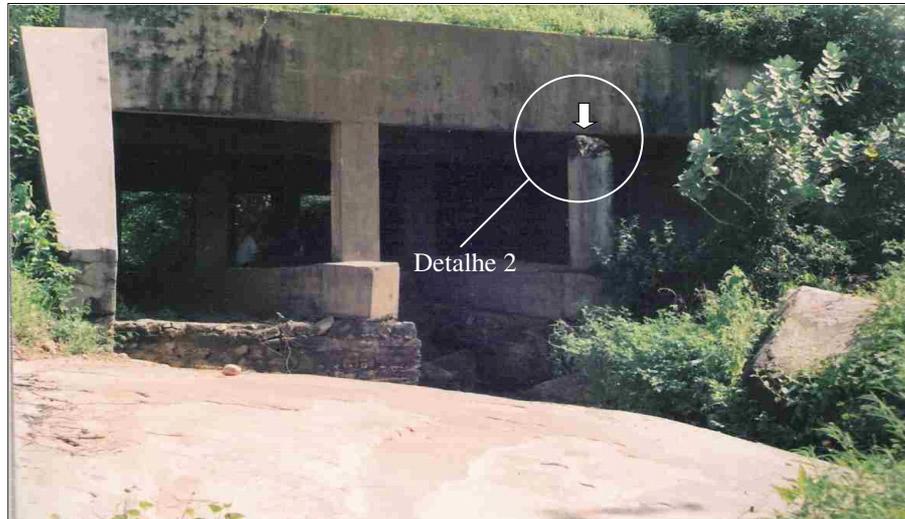


Figura 45 – Ponte sobre o riacho dos Bois.



Figura 46 – Detalhe 2.

- danos no guarda-corpo por abalroamento de veículos, figura 47, município de Iguatú, rodovia CE-060, km 12;

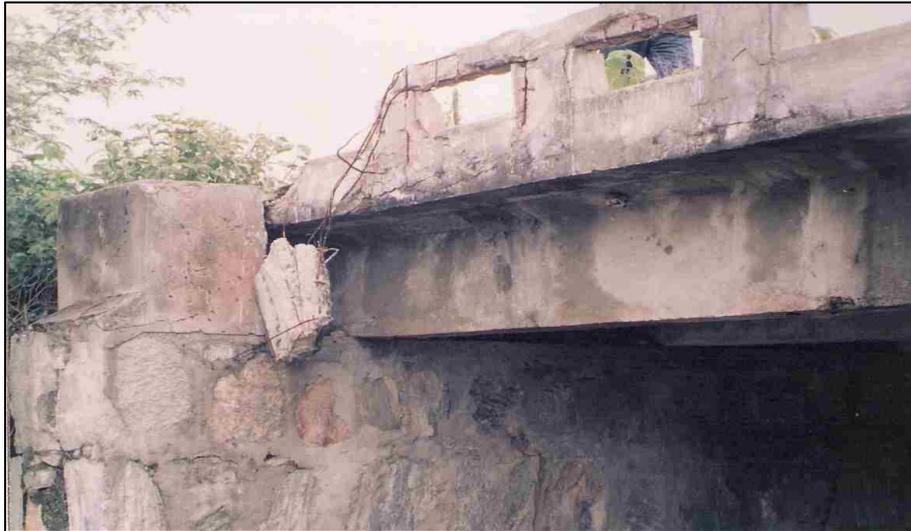


Figura 47 – Ponte sobre o rio Croatá.

- recalque e deformação em encontro de ponte, figura 48, município de Aracoiaba, rodovia CE-060, km 73;



Figura 48 – Ponte sobre o rio Aracoiaba.

- corrosão de armaduras em laje de tabuleiro, figura 49, município de Capistrano, rodovia 060, km 87;



Figura 49 – Ponte sobre o rio Granjeiro.

- erosão de encontro de ponte, figura 50, município de Capistrano, rodovia 060, km 87;



Figura 50 – Ponte sobre o rio Vacaria.

No Estado do Amazonas, foram documentadas as seguintes patologias:

- deformação excessiva da ponte, figura 51, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 51 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- corrosão de armaduras em tabuleiro, figura 52, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 52 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- ruptura de longarina, figura 53, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 53 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- ruptura de transversina, figura 54, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 54 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- trincas generalizadas em longarina, figura 55, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 55 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- deterioração de pilar, figura 56, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 56 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- corrosão de armadura em longarina, figura 57, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 57 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- corrosão de armadura em transversina, figura 58, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 58 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- deterioração do concreto em viga de travamento, figura 59, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 59 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- corrosão em armaduras de longarinas e transversinas, figura 60, município de Rio Preto da Eva, rodovia AM-010, km 80;



Figura 60 - Ponte sobre o Rio Preto da Eva.

- desmoronamento de rip-rap em cabeceira de ponte, figura 61, município de Itacoatiara, rodovia AM-010, km 169;



Figura 61 - Ponte sobre o igarapé do Peréua.

- obstrução de canal, figura 62, município de Presidente Figueiredo, rodovia BR-174, km 178;



Figura 62 - Ponte sobre o igarapé do Sargento Picanço.

- lixiviação do concreto, figura 63, município de Presidente Figueiredo, rodovia BR-174, km 235;



Figura 63 - Ponte sobre o igarapé Bá.

- restos de dispositivos de travamento de formas, figura 64, município de Manaus, rodovia BR-174, km 30;



Figura 64 - Ponte sobre o igarapé Tarumã.

- danos nas estacas e no bloco de coroamento, figura 65, município de Presidente Figueiredo, rodovia BR-174, km 100;



Figura 65 - Ponte sobre o rio Urubu.

5.3 TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES COLETADAS

5.3.1 Sobre a concepção estrutural e o ambiente

A figura 66 mostra o percentual das obras e as tecnologias adotadas em sua execução. No Estado do Ceará, 98% das pontes são de concreto armado ou protendido, 2% executadas em estruturas mistas. Já no Amazonas, há uma mescla de elementos de concreto armado, fundações, pilares e lajes de tabuleiro, e elementos de aço, longarinas e transversinas.

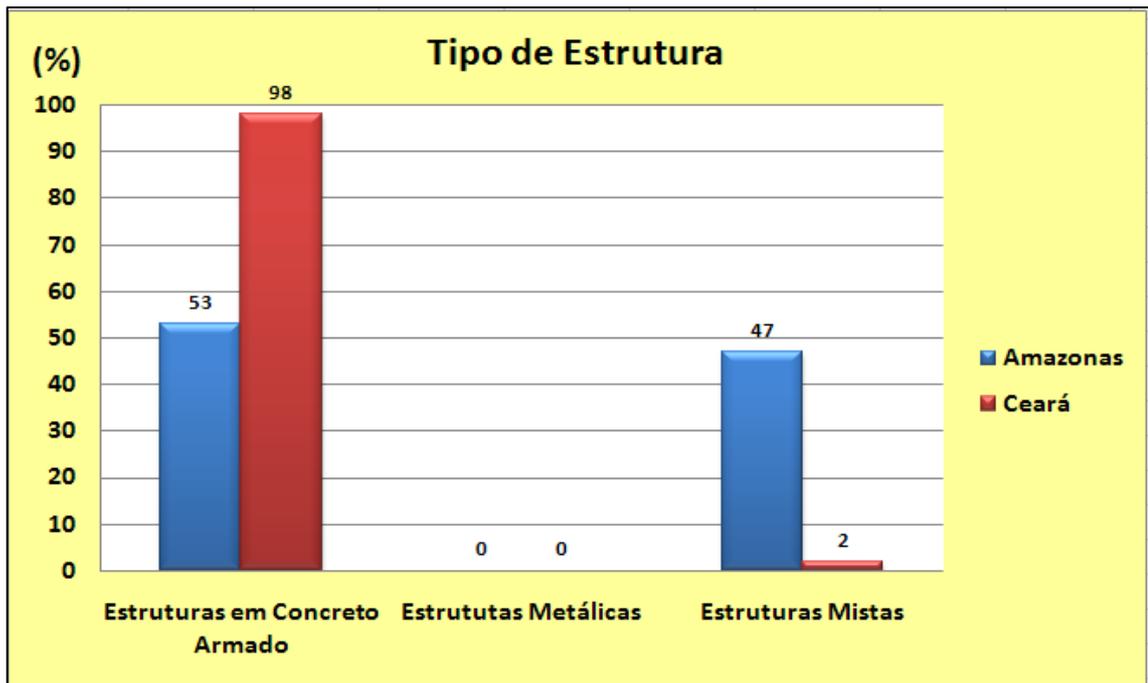


Figura 66 – Tipologias das obras vistoriadas.

A tecnologia de pré-moldado foi usada na confecção das lajes de tabuleiros das pontes mistas, conforme se pode constatar na figura 67. A elevada percentagem de pontes mistas no Amazonas, 47%, provavelmente em decorrer da dificuldade de aquisição de agregado graúdo. O concreto, como solução estrutural de vigas e lajes, foi utilizado em 53% das pontes vistoriadas.



Figura 67 – Estrutura mista com aplicação de pré-moldado na laje de tabuleiro.

Vale ressaltar que 100% das obras vistoriadas no Estado do Ceará estão inseridas em atmosfera rural de baixa agressividade. Já no Amazonas, este percentual cai para 93%, conforme mostra a figura 68.

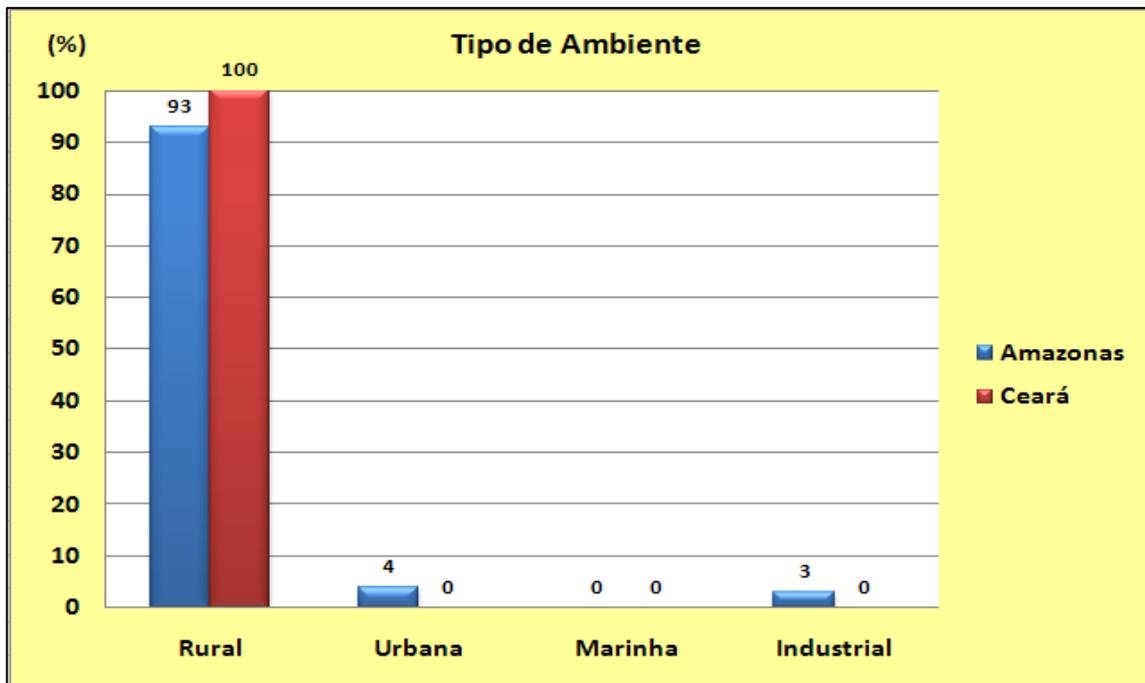


Figura 68 – Tipos de ambientes em que estão inseridas as obras.

As obras vistoriadas no Estado do Ceará são mais antigas do que aquelas vistoriadas no Estado do Amazonas. As técnicas e materiais empregados na confecção de algumas pontes no Estado do Ceará já não são usadas atualmente, como é o caso dos elementos de chumbo que fazem a transição entre a infra-estrutura e a mesoestrutura. No Estado do Amazonas, foram empregados elementos elastoméricos (Neoprene). As figuras 69 (a) e (b) mostram exemplos de aparelhos de apoio.



Figura 69 – Exemplos de aparelhos de apoio. (Fonte: Manual de inspeção de pontes rodoviárias – DNIT/2004)

São mostrados na figura 70 os percentuais dos tipos de aparelhos de apoio nos Estados do Ceará e Amazonas.

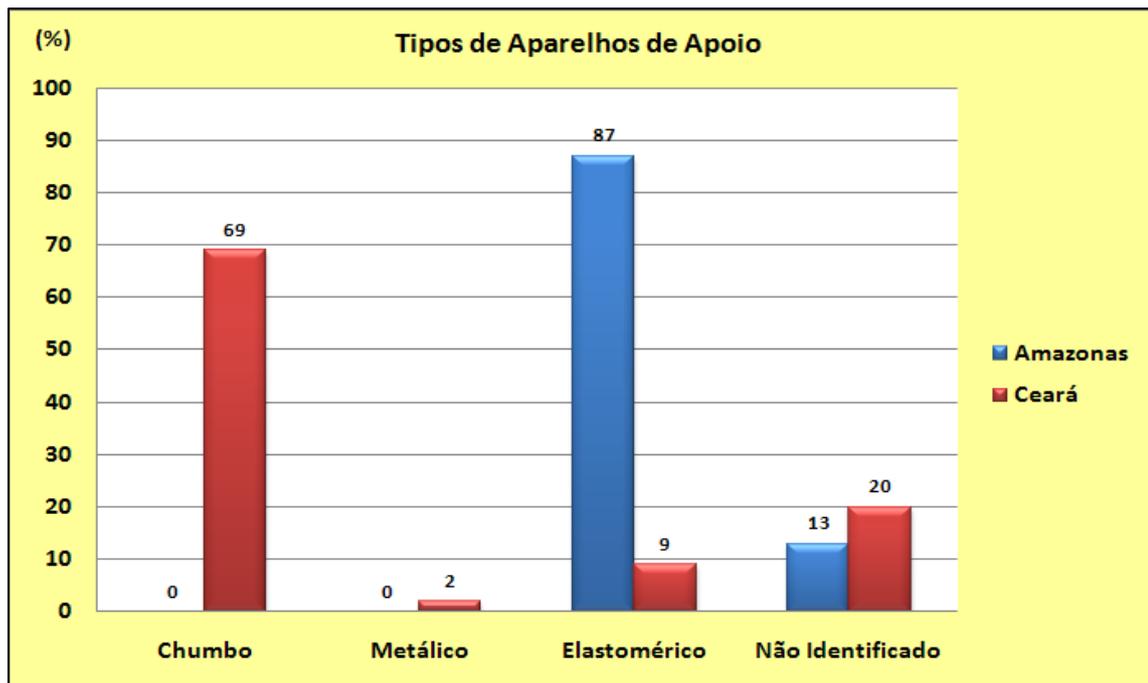


Figura 70 – Tipos de aparelhos de apoio.

5.3.2 Sobre as patologias

No Estado do Amazonas, conforme a figura 71, 13% das pontes apresentam problemas relacionados com corrosão de armaduras e vazios de concretagem, com maior incidência nos pilares, contra 9% das pontes localizadas no Estado do Ceará, decorrentes da

má execução. A falta de vibração do concreto e/ou concretos com proporções de cimento e agregados não adequadas são comuns nessas obras.

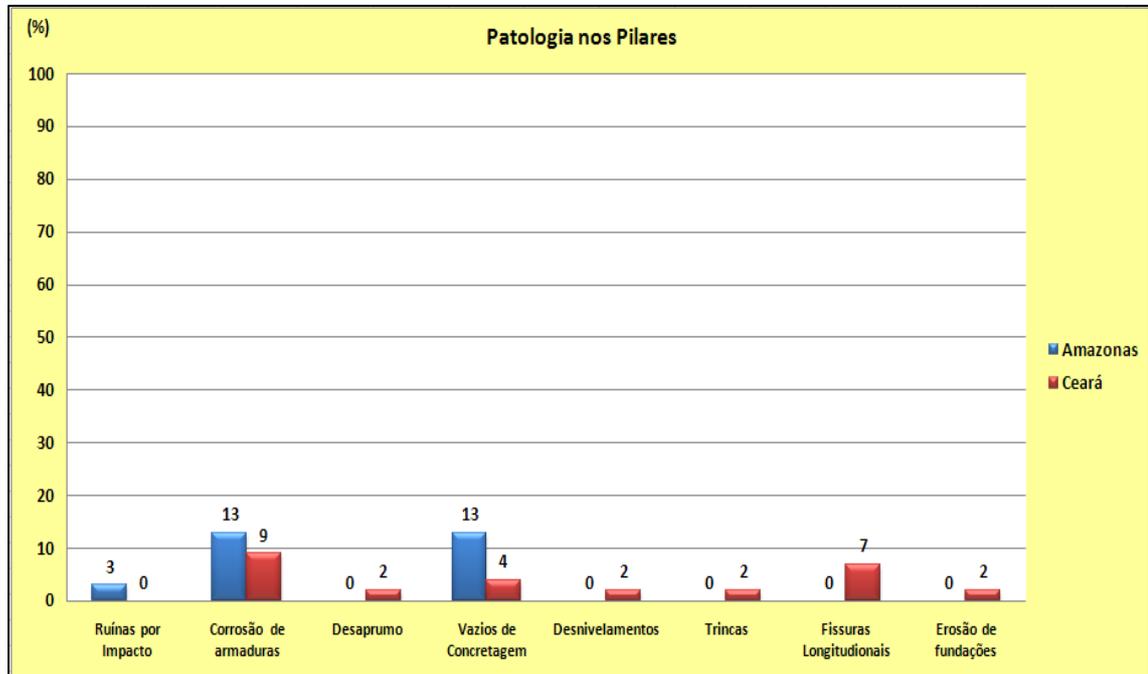


Figura 71 – Patologias mais frequentes nos pilares.

Nas vigas principais das pontes, longarinas, pode-se observar que 31% das pontes localizadas no Estado do Ceará apresentam corrosão nas armaduras, enquanto as localizadas no Estado do Amazonas são 10%. Os percentuais de fissuras transversais nas longarinas são 13% e 7%, respectivamente nos Estados do Amazonas e Ceará. Nesses elementos, o cobrimento insuficiente da armadura e a alta taxa de aço contribuíram para presenças de vazios e de corrosão de armaduras. As fissuras apresentam aberturas mínimas nas extremidades e, no terço médio, variam de 0,2mm a 0,4mm, características do efeito de retração. É importante lembrar que a velocidade dos ventos no nordeste do Brasil e a elevada temperatura são fatores determinantes para o aparecimento de fissuras por retração. A figura 72 esclarece melhor essas informações.

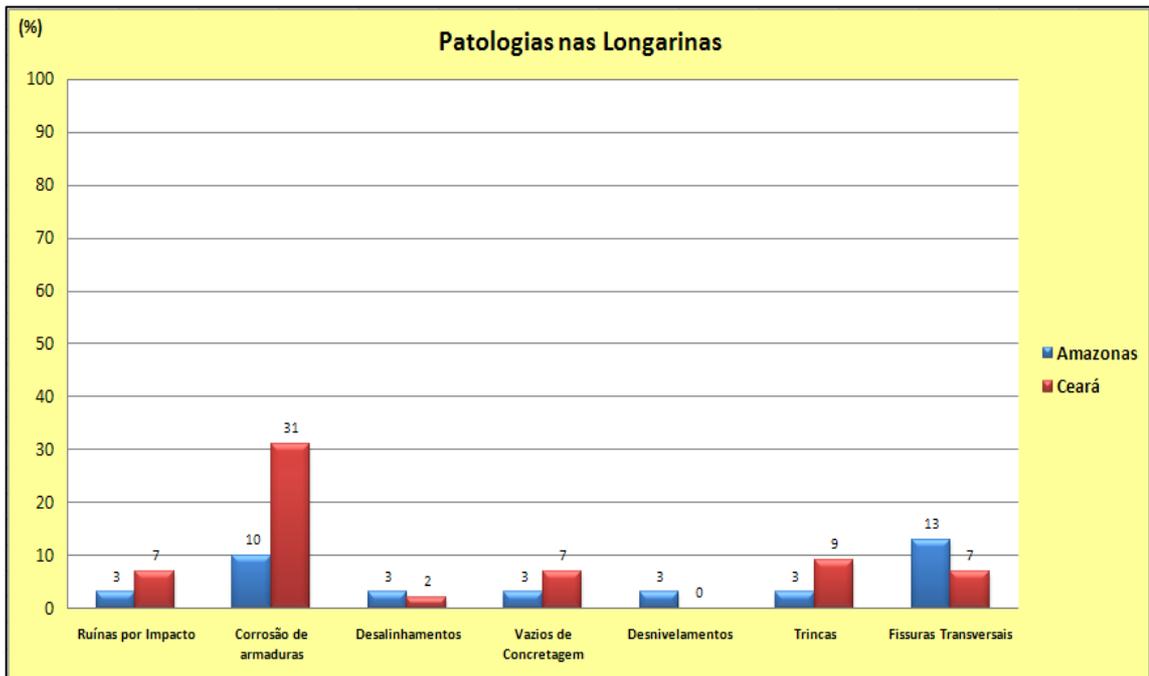


Figura 72 – Patologias encontradas nas longarinas.

Na figura 73, estão relacionadas às patologias encontradas nas transversinas. A corrosão é bastante acentuada nas pontes do Estado do Ceará, 24%, enquanto no Amazonas o valor é de 7%.

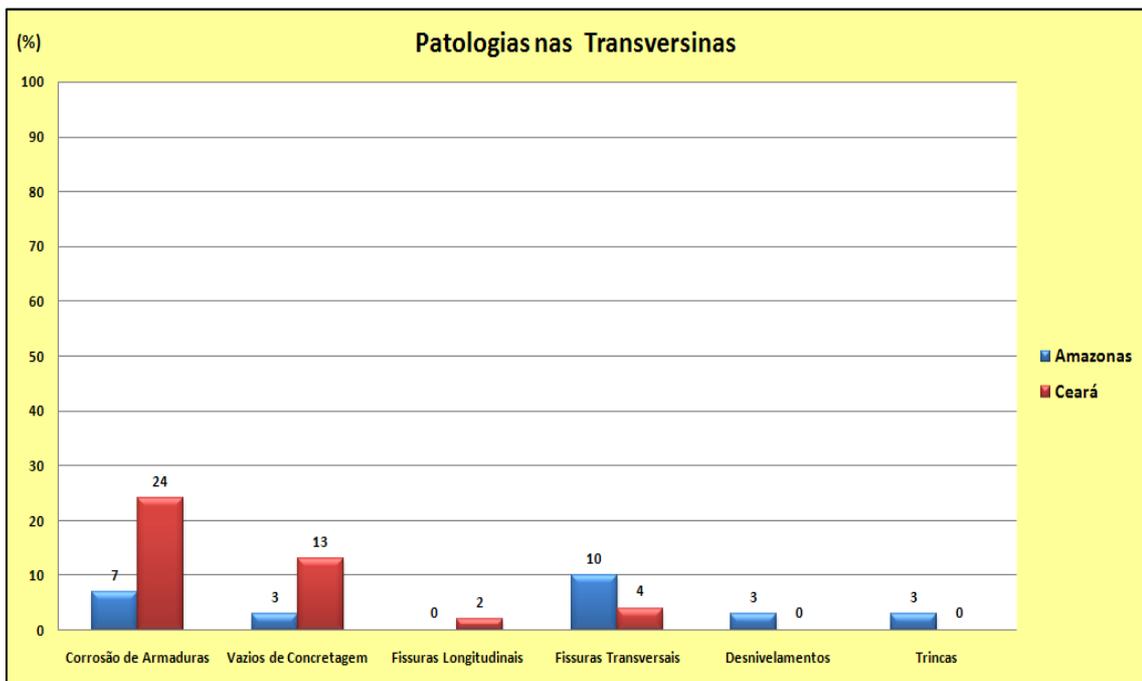


Figura 73 – Patologias encontradas nas transversinas.

As lajes de tabuleiro são as peças mais degradadas das pontes vistoriadas, em função do elevado número de patologias encontradas, conforme mostram os dados da figura 74.

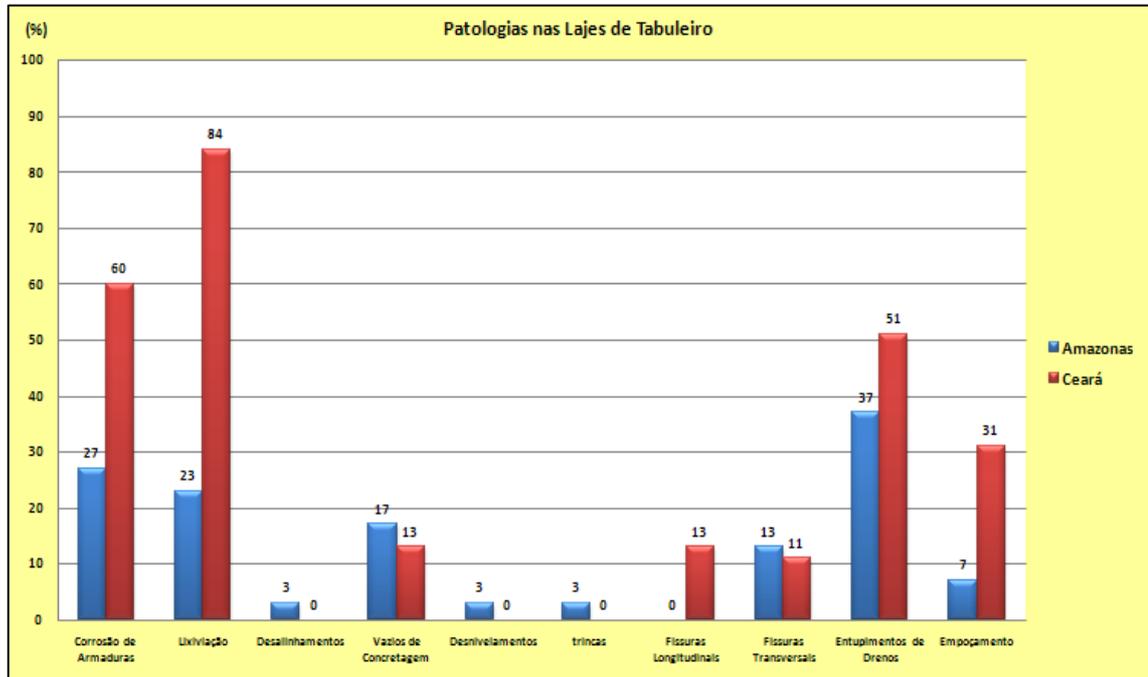


Figura 74 – Patologias encontradas nas lajes de tabuleiro.

Vale aqui frisar que tanto no Ceará quanto no Amazonas as pontes apresentam corrosão em suas armaduras. No Estado do Ceará há um maior número de pontes com drenos entupidos por falta de manutenção preventiva, 51%, contra 37% no Amazonas. Essas obstruções conduzem ao acúmulo de água sobre o concreto, 31% para CE e 7% para AM, que por sua vez provoca o fenômeno conhecido por lixiviação, 84% para CE e 23% para AM. O acúmulo de água contribui para corrosão de armaduras em 60% das pontes vistoriadas no Estado do Ceará e 27% no Amazonas.

Nos guarda-rodas ocorreram ruínas por impactos, desalinhamentos (erros construtivos) e corrosão de armaduras. As obras do Estado do Ceará apresentam um número maior de obras com guarda-rodas corroídas, 13% contra 7% do Amazonas. A figura 75 mostra os percentuais das patologias encontradas.

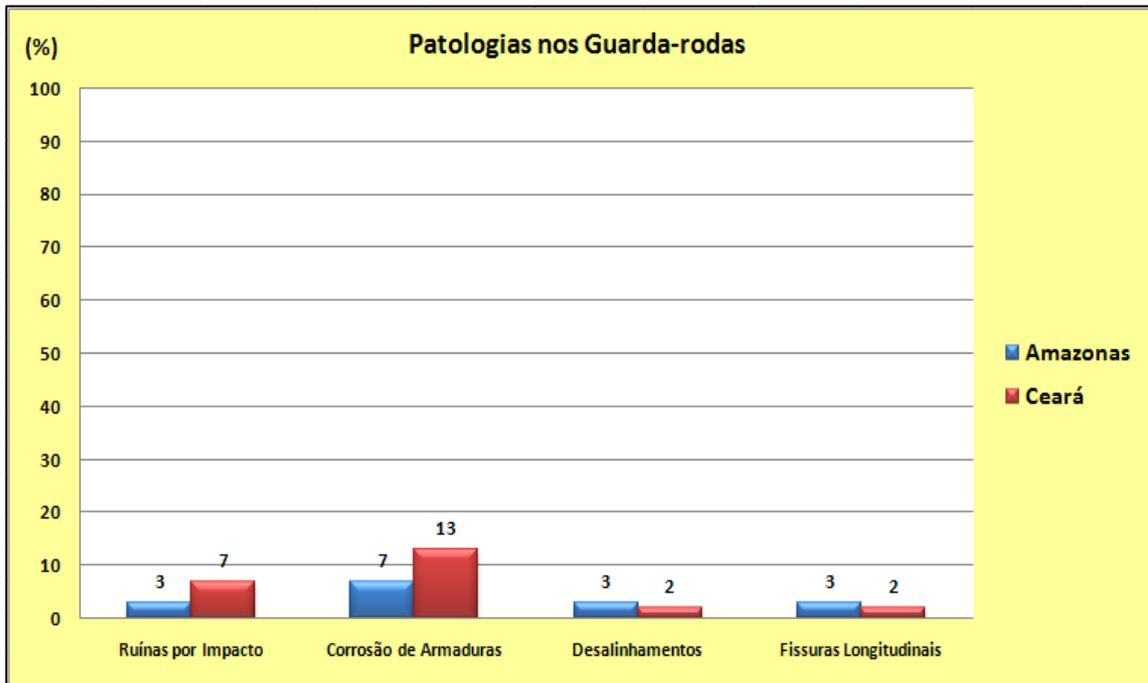


Figura 75 – Patologias encontradas nos guarda-rodas.

Um elevado número de pontes apresenta danos provocados por fatores externos, como é o caso dos impactos de veículos. No Amazonas esta ação ocorre com mais frequência, 33% das pontes, contra 4% das obras no Estado do Ceará. A corrosão nas armaduras dos guarda-corpos no Estado do Ceará é 24%. Já no Amazonas, o percentual não atinge 7% das obras. Guarda-corpo fora de prumo e fora de seu alinhamento projetado ocorre em maior número nas obras do Estado do Ceará. Já vazios de concretagem, trincas, fissuras longitudinais e fissuras transversais ocorrem com maior frequência nos guarda-corpos das obras do Estado do Amazonas. A figura 76 mostra com maior clareza os percentuais encontrados.

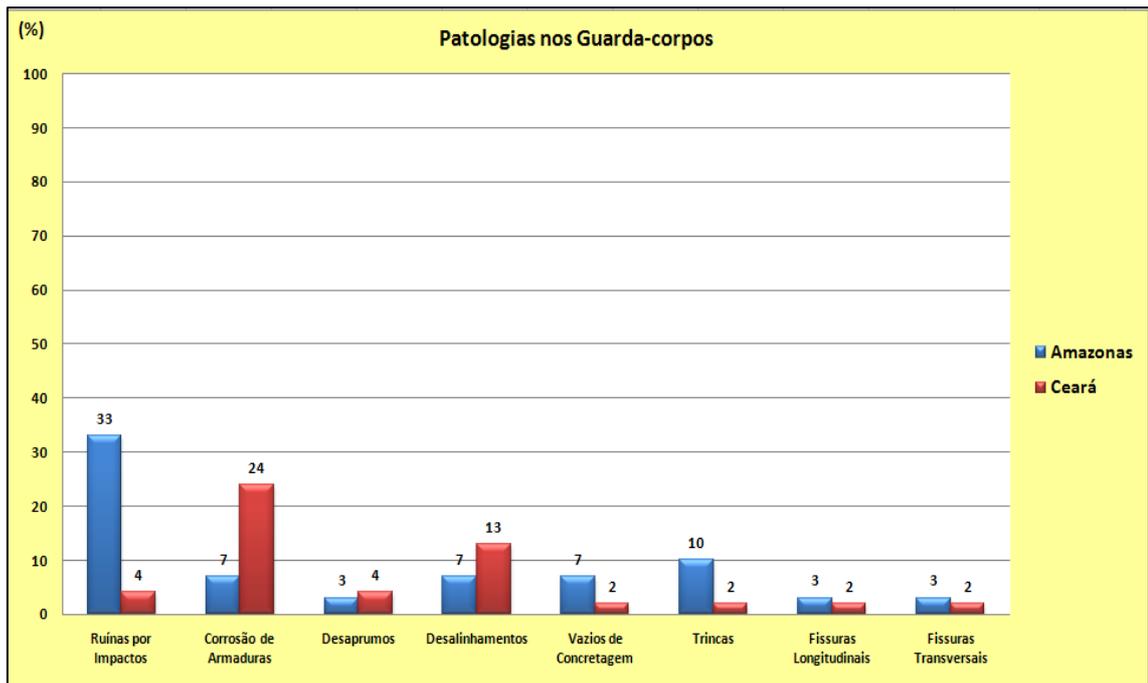


Figura 76 – Patologias encontradas nos guarda-corpos.

As cortinas das pontes, no Estado do Ceará, apresentam problemas relacionados com corrosão de armaduras e fuga de aterro do greide, figura 77. No Amazonas não foi encontrada nenhuma ponte com encontros executados em concreto ou alvenaria de pedra.

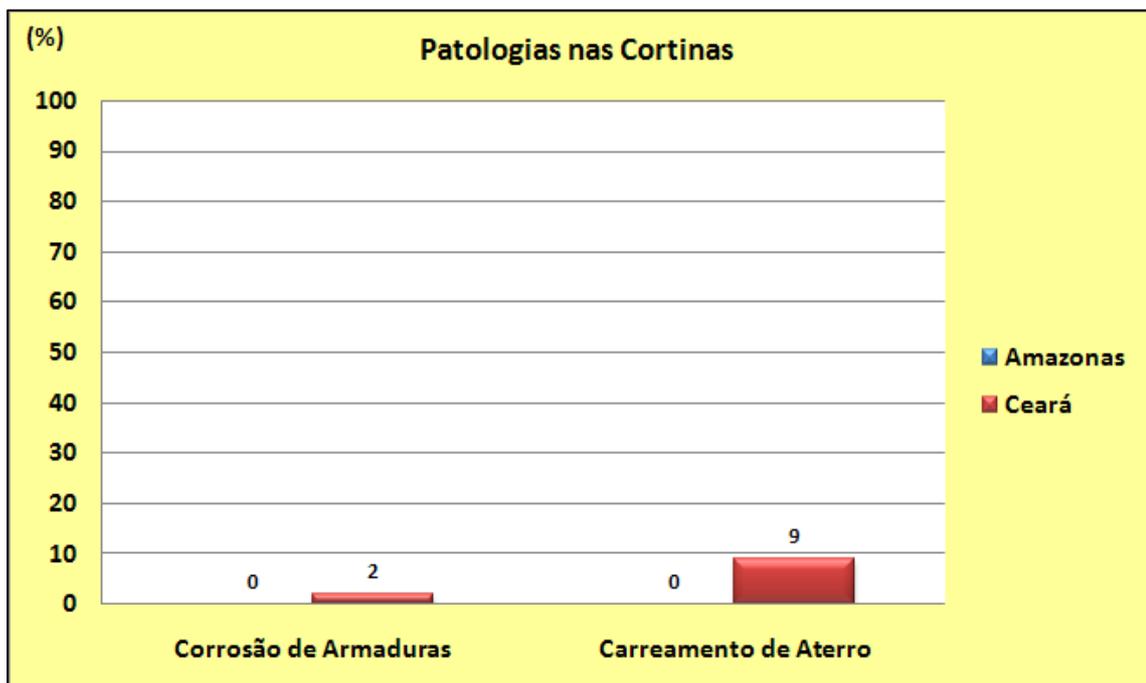


Figura 77– Patologias encontradas nas cortinas.

O percentual de 83% das pontes do Estado do Amazonas apresenta carregamento de aterro nos encontros, regiões próximas aos aterros da pista de rolamento. Em todos esses casos não há proteção de talude. No Estado do Ceará, todas as obras apresentam proteção de talude com confecção de muros em alvenaria de pedra, pelo fato de haver abundancia de rochas na região, e, por isso, apenas 16% delas apresentam fuga de aterro. Quanto à erosão nos encontros, os resultados foram 13% para as obras no Estado do Ceará e 3% no Estado do Amazonas. A erosão é decorrente do estrangulamento da linha de água provocada pelos pilares e pelos encontros, que aumenta a velocidade do rio, aumentando a capacidade de arrasto dos elementos de aterro próximos à ponte. Esses percentuais são mostrados com mais clareza na figura 78.

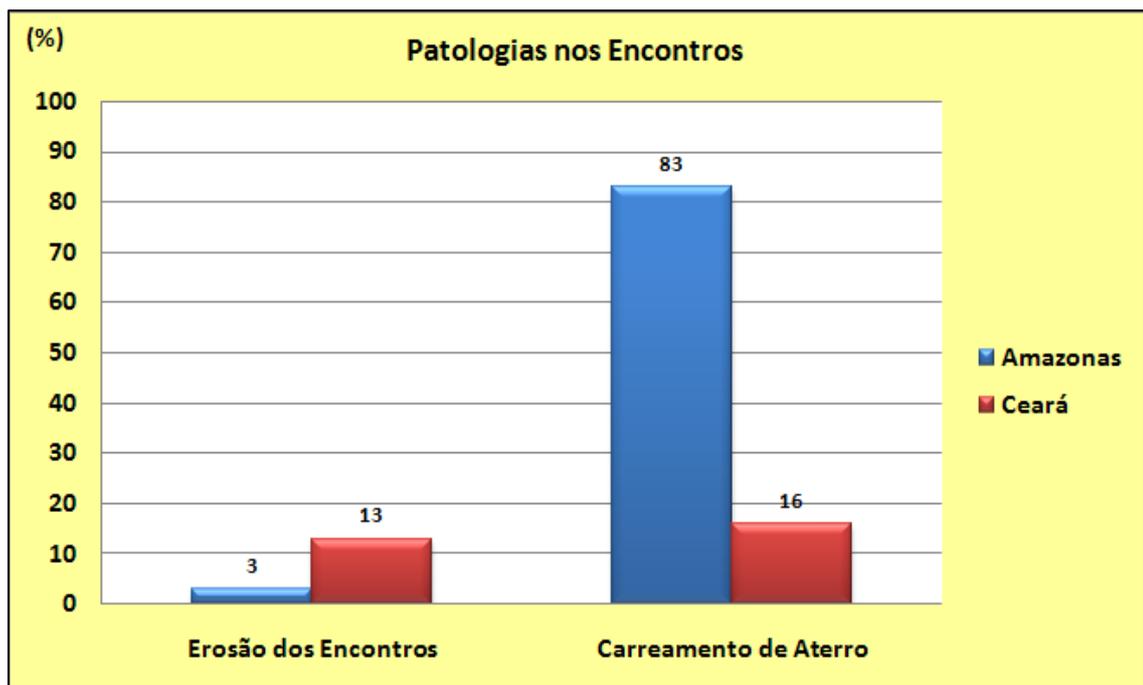


Figura 78 – Patologias evidenciadas nos encontros.

As patologias evidenciadas nas lajes de transição foram desnivelamentos acentuados e trincas, ambas provocadas pela passagem constante de cargas elevadas, figura 79.

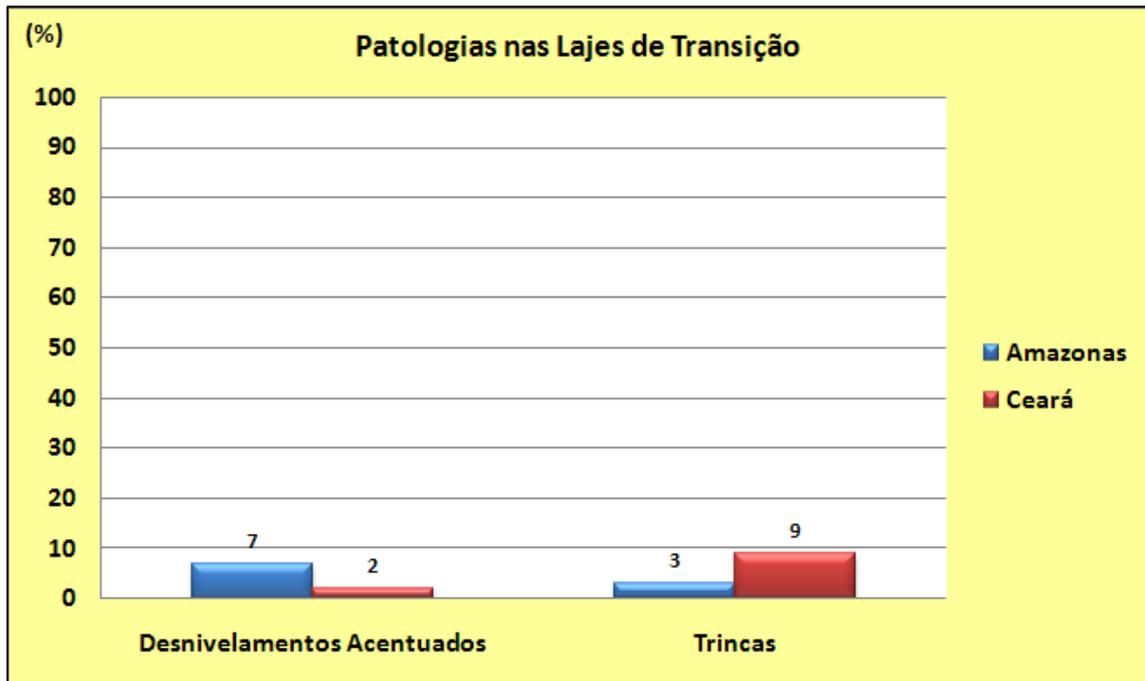


Figura 79 – Patologias encontradas nas lajes de transição.

Durante a fase de levantamento de dados em campo, no Estado do Ceará, constatou-se os seguintes: a média mensal do índice pluviométrico no período variou de 25mm a 150 mm, a temperatura média foi da ordem de 32°C e a umidade relativa em torno dos 82%. Para o Estado do Amazonas, a precipitação de chuva foi da ordem de 250mm, a temperatura média foi da ordem de 32°C e a umidade relativa próxima a 92%, conforme levantamento de dados colhidos no portal do Governo do Estado do Amazonas.

5.3.3 Sobre a necessidade de intervenção

Considerando a urgência de intervenção e que a evolução das patologias permanecerá em ritmo crescente, têm-se as seguintes situações:

a) no Estado do Amazonas:

- 3% das obras devem receber intervenções em curtíssimo prazo, devido ao risco eminente de desabamento;

- 3% das obras necessitam de algum tipo de intervenções em médio prazo, isto é, entre 1 e 2 anos após essa vistoria;
 - 33% das obras necessitam de alguma intervenção durante o período de 3 a 9 anos após essa vistoria;
 - 60% das obras necessitam de algum tipo de intervenção em longo prazo. Nestes casos, sugere-se uma nova avaliação após 10 anos, pois praticamente não apresentam sintomas patológicos aparentes.
- b) no Estado do Ceará:
- 7% das obras devem receber intervenções em curtíssimo prazo, devido ao risco eminente de desabamento;
 - 4% das obras necessitam de algum tipo de intervenções em médio prazo, isto é, entre 1 e 2 anos após essa vistoria;
 - 73% das obras necessitam de alguma intervenção durante o período de 3 a 9 anos após essa vistoria;
 - 16% das obras necessitam de algum tipo de intervenção em longo prazo. Nestes casos, sugere-se uma nova avaliação após 10 anos, pois praticamente não apresentam sintomas patológicos aparentes.

A figura 80 apresenta um resumo dos percentuais das obras vistoriadas nos Estados do Ceará e Amazonas, que necessitam sofrer intervenções em função do tempo de uso.

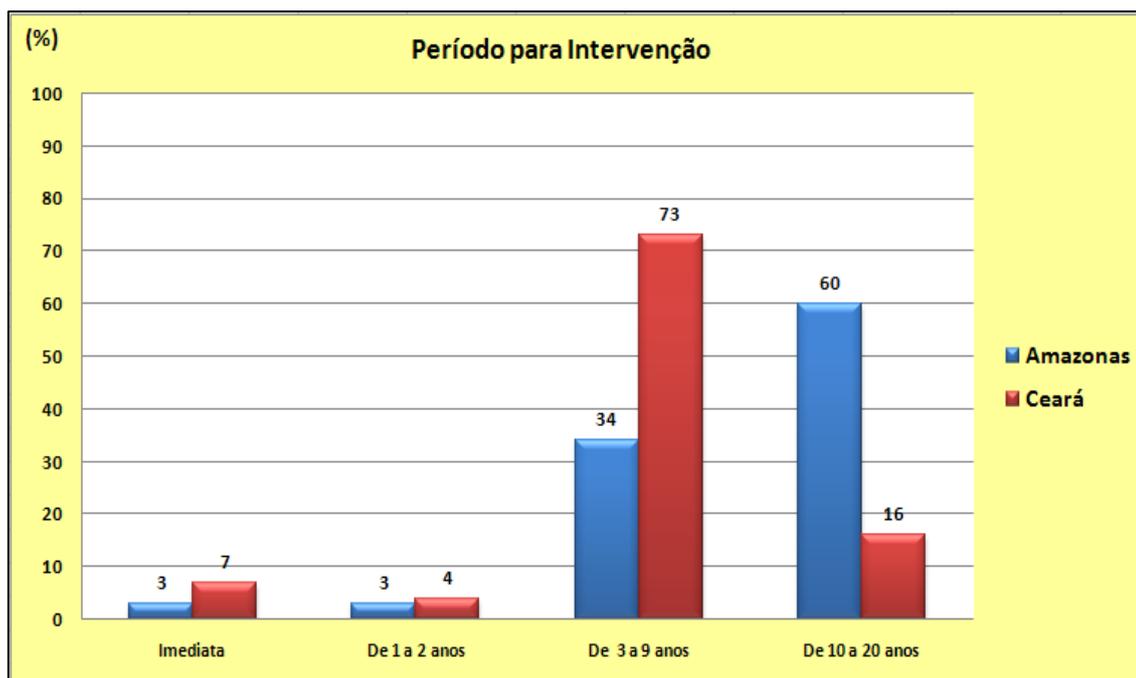


Figura 80 – Obras que necessitam de intervenções.

Faz-se necessária, também, a avaliação do estado aparente da obra, pois uma simples patologia pode representar um alto risco para a ponte e seus usuários. Para se ter noção generalizada do estado de conservação das obras, ao final de cada levantamento, adota-se subjetivamente uma determinada situação, estados crítico, péssimo, regular, bom e ótimo. A figura 81 mostra o percentual de obras e seus respectivos estados de conservação.

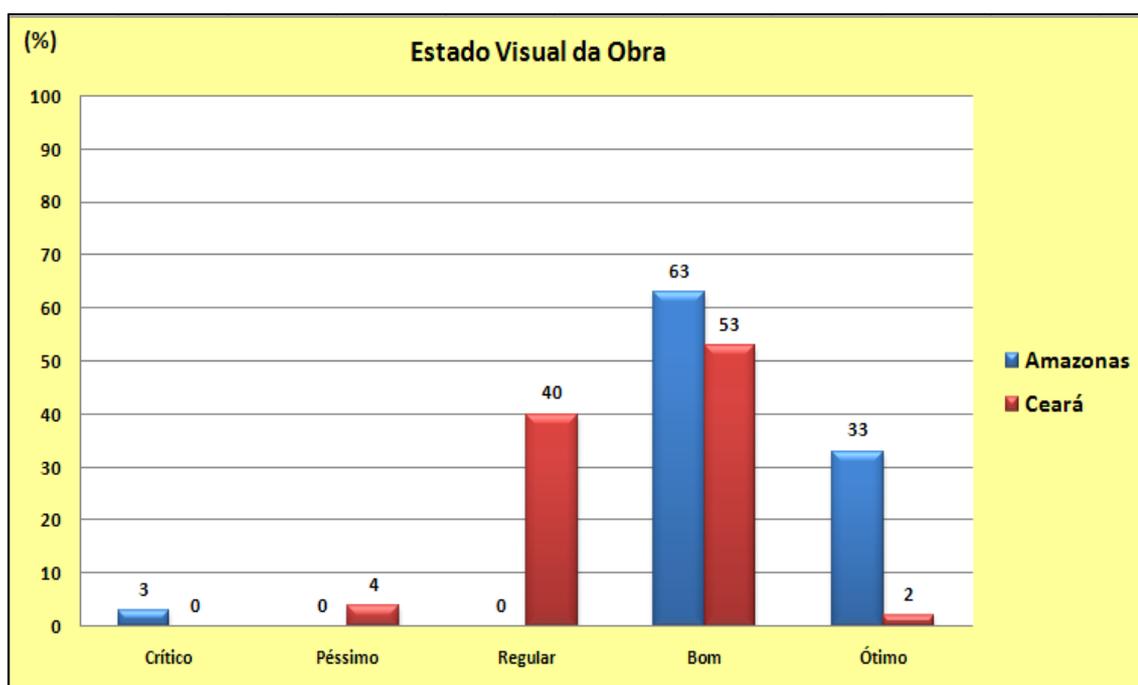


Figura 81 – Situação das obras pesquisadas em seu estado visual.

No Estado do Amazonas, apenas uma ponte, vistoriada em fevereiro de 2008, foi avaliada como estando em alto risco de desabamento, por se encontrar completamente comprometida. A mesma já sofreu reparos e reforços, porém continua em processo de deformação com ocorrências de rachaduras nas longarinas e transversinas. A obra está localizada na entrada principal do município de rio Preto da Eva, distante 80km da cidade de Manaus. Nesse local há um elevado tráfego de veículos de grande peso, provocando vibrações na estrutura da ponte.

No caso do estado do Ceará, o percentual de pontes em estado péssimo de conservação é de 4%. Aproximadamente 90% das obras encontram-se em estado regular ou bom de conservação. No caso do Amazonas, 96% delas estão em bom ou ótimo estado de conservação.

A seqüência de fotografias, figuras 82 (a), (b), (c), (d), (e) e (f), mostra algumas peças que compõem a ponte sobre o rio Preto da Eva: a figura 82(a) mostra a tentativa de reforço com a utilização de estruturas metálicas aparafusadas no concreto remanescente da ponte;

trinca acentuada na longarina de bordo é mostrada na figura 82(b); longarina de bordo em avançado estado de corrosão das armaduras principais é evidenciada na figura 82(c); desagregação do concreto do pilar pela passagem de água na região de variação dos níveis do rio é mostrada na figura 82(d); desagregação do concreto da viga de travamento com presença acentuada de corrosão de armaduras principais, inclusive, com desgaste dos estribos, são vistos nas figuras 82(e) e 82(f). A pasta de cimento encontra-se em processo de dissolução devido à passagem das águas.

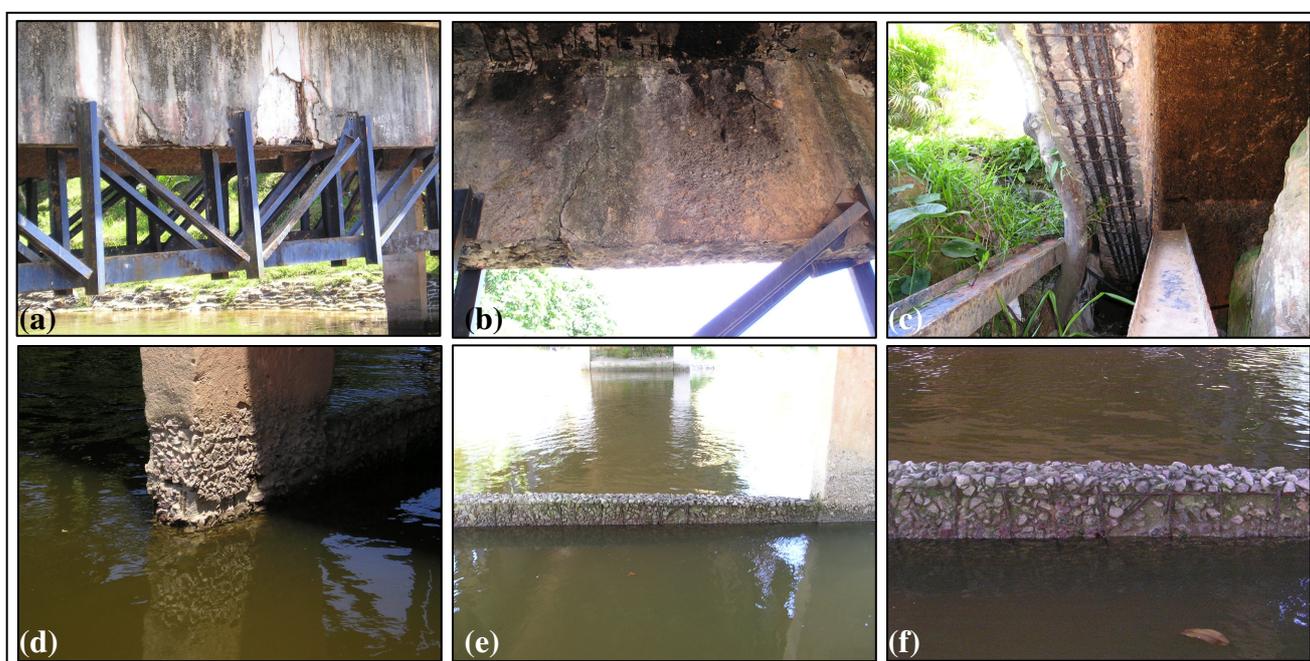


Figura 82–Patologias encontradas na ponte sobre o rio Preto da Eva.

CAPITULO VI

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da tecnologia do concreto armado e do concreto protendido no Brasil, aliado ao custo dos insumos que os compõem, justificam a continuidade do emprego desses materiais.

A preocupação com a durabilidade das obras de arte é a tônica de engenheiros e demais profissionais ligados ao tema patologia, visto que cada vez mais são projetadas obras de grandes dimensões e de arrojada arquitetura.

Os resultados da pesquisa indicam a necessidade de um melhor acompanhamento das obras rodoviárias, desde a fase de projeto até a fase de uso, pois ficou evidente que a maioria das manifestações patológicas encontradas nas pontes vistoriadas, nos Estados do Ceará e Amazonas, é de fácil identificação quanto à origem e causa. Como exemplos têm-se:

- na fase de projeto: posicionamento inadequado da obra com relação ao eixo do curso d'água e seus afluentes provocando desmoronamento do aterro na cabeceira da ponte;
- na fase de execução: não garantia do cobrimento das armaduras pela falta ou ineficiência de espaçadores de plástico ou de argamassa; baixa qualidade de alguns concretos, isto é, concretos bastante porosos e com ninhos ou bexigas;

- na fase de uso: falta de controle de cargas nas estradas provocando deformações excessivas à obra, o que acarreta no aparecimento de trincas e fissuras. Essas fissuras são vias de acessos de agentes agressivos ao interior do concreto.

O estudo efetuado nessas obras de arte permite concluir os seguintes:

- o número de obras com problemas de corrosão no Estado do Ceará é o dobro das obras no Estado do Amazonas, cuja causa principal é a deficiência de cobrimento das armaduras;
- 84% das obras no Estado do Ceará apresentam lixiviação, apesar do índice pluviométrico ser menor do que o índice registrado no Amazonas, pela falta de manutenção preventiva nos drenos do tabuleiro, figura 74;
- o índice de obras danificadas por abalroamentos no Amazonas é 8 vezes maior quando comparadas com o Estado do Ceará, figura 76;
- 83% das obras no Amazonas apresentam desmoronamento de aterro devido a não execução de contenção em concreto ou alvenaria de pedra, conforme figura 78;
- as obras que necessitam de intervenção imediata ou em curto prazo no Estado do Ceará são o dobro das obras no Amazonas, por serem mais antigas;
- mais de 90% das obras no Estado do Amazonas estão em bom ou ótimo estado de conservação, enquanto no Estado do Ceará 93% delas estão em estado regular ou bom. Esses valores são mostrados na figura 81;
- a baixa qualidade das obras averiguadas provém individualmente ou da soma dos seguintes fatores: materiais inadequados, técnica construtiva ineficiente e deficiência de fiscalização;
- algumas manifestações patológicas estão ligadas ao uso inadequado da obra, porém fica evidente que essas manifestações foram geradas em decorrência do avanço tecnológico dos transportes de cargas;

- a falta de controle tecnológico visando confirmar a qualidade dos materiais empregados na obra pode ser considerada fator limitador da vida útil da obra;
- por ser a obra de arte um produto manufaturado ou industrializado, recomenda-se a criação de um manual de utilização da obra, elaborado pelos profissionais envolvidos no projeto, desde sua concepção até o uso;
- a obra deverá ser acompanhada periodicamente para serem efetuadas manutenções preventivas e/ou corretivas, isto é, implantação de um sistema de gestão.

Apesar do estudo desenvolvido nesse trabalho ter alcançado os objetivos propostos, é importante frisar que há necessidade de dar continuidade ao mesmo, visto que as obras mistas e de concreto estendem-se por todo o país, sendo o Brasil um país continental com diferentes meios ambientes, cada qual com suas peculiaridades e especificidades. Portanto, sugere-se os seguintes estudos:

- a influência do clima das diversas regiões brasileiras, na degradação das obras rodoviárias;
- a influência das cargas móveis atuais nas obras rodoviárias de idades avançadas;
- o aprimoramento do sistema de monitoramento de obras rodoviárias adotado neste trabalho (SISMOD), visando efetivamente a implantação de manutenções preventivas e corretivas;
- e por fim, um estudo mais aprofundado daquelas pontes consideradas, nesse estudo, em estado avançado de degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 210, Erosion resistance of concrete in hydraulic structures, J. Amer Concr. Isnt., 52, pp.259-71 nov. 1955.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide to durable concrete – ACI 201-2R-77. Detroit, ACI. 1989.

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. **Construções de concreto**: manual de práticas para controle e execução. São Paulo: Pini, 1984. 738p.

ARAÚJO, Daniel de Lima. **Projeto de ponte em concreto armado com duas longarinas**. Goiás: UFG., 1999. 154p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto. São Paulo, 2001. 53p.

_____. **NBR 7680: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**. São Paulo, 1983. 8p.

_____. **NBR-9452: vistoria em pontes e viadutos de concreto**, 1986. 13p.

_____. **NBR 9778: argamassa e concretos endurecidos**: determinação da absorção de água por imersão-Índice de vazios e massa específica. São Paulo, 1987, 5p.

_____. **NBR 7187/87: Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido** .São Paulo, 1987. 75p.

_____. **NBR 7188/84: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. São Paulo, 1984. 4p.

_____. NBR 9917: **agregados para concreto**: Determinação de ensaios, cloretos e sulfatos solúveis. São Paulo, 1987.8p.

_____. NBR 12655/06: **Concreto de cimento Portland - preparo, controle e recebimento** .São Paulo, 1996. 18p.

BEZERRA, José Emídio Alexandrino. **Estruturas de concreto armado: patologia e recuperação**. Fortaleza, 1998. 233p.

CÁNOVAS, Manoel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522p.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: LNEC. 1973 Não paginado.

DNIT-Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro. 2004. 253p.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Afiliada, 1996. 345p.

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras de concreto armado**. São Paulo: USP, 1993. 231p.

_____. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1992. 213p.

_____. **Vida útil das estruturas de concreto**. São Paulo: USP, 1993. 30p.

IBRACON, Instituto Brasileiro do Concreto. **Concreto, ensaio, pesquisa e realizações**. São Paulo. SP, 2005. 160p. 2v.

MELO, Emanuele Gurgel Freitas. **Influencia antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus**. Amazonas: INPA, 2005. 8p.

MEYER, A. **The importance of the surface layer for the durability of concrete structures**. Detroit: ACI, S.P.100-5., p. 49-61

MONTOYA, P.Jiménez; MESEGUER, A. Garcia; CABRE, F. Morán. **Hormigon armado: ábacos y programas**. 12.ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.,1987. 710p. Tomo I

_____. **Hormigon armado: ábacos y programas**. 12.ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.,1987. 456p. Tomo II

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1982. 738p.

POLITO, Giulliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: Causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 191p.

REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30.,1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Ibracon, 1987. 417p.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: Pini, 1995. 152p.

THOMAZ, Eduardo. Concreto armado e protendido. In: **COLÓQUIO SOBRE COMPORTAMENTO E PROJETOS DE ESTRUTURAS**, 5., 1988, Rio de Janeiro. *Palestras...* Rio de Janeiro: PUC, 1988. p.1-54.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edificações**: causas e mecanismos de formação. 2.ed. São Paulo: IPT, 1986. 34p.

_____. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI: EDUSP, 1989. 194p.

TORRES, José Ramalho. **Controle de processo de revestimentos cerâmicos enfaixados de edifício**: estudo de multiuso. 2007. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2007.