

UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ

Eduardo Gemelli

Roger Willians Beling

**DIAGNOSTICAR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E
DETERMINAR O TEMPO PARA INTERVENÇÃO NO PONTILHÃO
P-M4 NA REFINARIA
PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS – REPAR / PETROBRAS**

CURITIBA

2008

**DIAGNOSTICAR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E
DETERMINAR O TEMPO PARA INTERVENÇÃO NO PONTILHÃO
P-M4 NA REFINARIA
PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS – REPAR / PETROBRAS**

CURITIBA

2008

Eduardo Gemelli
Roger Willians Beling

**DIAGNOSTICAR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E
DETERMINAR O TEMPO PARA INTERVENÇÃO NO PONTILHÃO
P-M4 NA REFINARIA
PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS – REPAR / PETROBRAS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Patologia nas Obras Civas da Faculdade de Ciências Exatas da Universidade Tuiuti do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Patologia nas Obras Civas.
Orientador: Luis César Siqueira De Luca, M.Sc.

CURITIBA
2008

TERMO DE APROVAÇÃO

Eduardo Gemelli

Roger Willians Beling

**DIAGNOSTICAR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E
DETERMINAR O TEMPO PARA INTERVENÇÃO NO PONTILHÃO
P-M4 NA REFINARIA
PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS – REPAR / PETROBRAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado para obtenção do título de Especialista em Patologia nas Obras Civas no Curso de Pós-Graduação Latu Sensu em Patologia nas Obras Civas da Faculdade de Ciências Exatas da Universidade Tuiuti do Paraná.

Curitiba, ____ de _____ de 2008.

Pós-Graduação Latu Sensu em Patologia nas Construções Civas
Universidade Tuiuti do Paraná

Orientador:

Luis César Siqueira De Luca, M.Sc
Universidade Tuiuti do Paraná, Dpto Engenharia Civil

Cesar Henrique Sato Daher, Esp.
Universidade Tuiuti do Paraná, Dpto Engenharia Civil

Thomas Garcia Carmona, M.Sc.;
Universidade Tuiuti do Paraná, Dpto Engenharia Civil

Armando Edson Garcia, Dr
Universidade Tuiuti do Paraná, Dpto Engenharia Civil

RESUMO

TÍTULO: DIAGNOSTICAR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DETERMINAR O TEMPO PARA INTERVENÇÃO NO PONTILHÃO P-M4 NA REFINARIA PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS – REPAR / PETROBRAS

Este estudo verificou as condições do Pontilhão P-M4 perante as manifestações patológicas apresentadas após trinta anos de sua construção. Realizando levantamento cadastral documental e de campo da estrutura, identificaram-se as manifestações patológicas e falhas de projeto e construção. Elaborou-se então o diagnóstico dos problemas existentes na estrutura embasado pela realização de ensaios laboratoriais, estes foram necessários para a confirmação das hipóteses levantadas, tais como: desagregação do concreto por abrasão, eflorescência, corrosão de armadura, deslocamento do concreto de cobertura. Utilizando-se o critério de análise adotado pela administradora da ponte Rio - Niterói, método este desenvolvido com base em manuais da FHWA – NHI, foram definidos os parâmetros para intervenção na estrutura.

Este estudo aqui concluiu que as condições de utilização do Pontilhão P-M4 estão muito grave e necessitam de uma intervenção em no máximo dois meses, colocando em risco seus usuários e a confiabilidade operacional da refinaria. Esta confiabilidade comprometida pode ser expressa em termos financeiros, à medida que a empresa precisa garantir a manutenção da sua operação por meio de seguros, ou em termos de locomoção, onde uma interdição da estrutura provoca transtornos operacionais.

PALAVRAS CHAVES: pontilhão, manifestações patológicas, GUT, ensaios, mobilidade,

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. HIPÓTESES	13
1.3. OBJETIVOS.....	13
1.3.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4. JUSTIFICATIVAS	13
1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. LEVANTAMENTO CADASTRAL	15
2.1.1. HISTÓRIA DE PONTES	15
2.1.2. ELEMENTOS DA ESTRUTURA.....	18
2.1.3. ELEMENTOS DE PROJETO.....	19
2.1.4. MATERIAIS	21
2.1.4.1. POROSIDADE.....	22
2.1.4.2. PERMEABILIDADE	22
2.1.4.3. ABSORÇÃO CAPILAR.....	23
2.1.4.4. MIGRAÇÃO IÔNICA.....	23
2.1.4.5. DIFUSÃO.....	24
2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	24
2.2.1. MANCHAS SUPERFICIAIS NO CONCRETO	25
2.2.2. NINHOS DE CONCRETAGEM	26
2.2.3. FISSURAS NO CONCRETO.....	26
2.2.3.1. PRÉVIAS AO ENDURECIMENTO DO CONCRETO	27
2.2.3.2. POSTERIORES AO ENDURECIMENTO DO CONCRETO	28
2.2.4. DEGRADAÇÃO FÍSICA DO CONCRETO.....	32
2.2.5. DEGRADAÇÃO QUÍMICA DO CONCRETO	32
2.2.5.1. CARBONATAÇÃO	33
2.2.6. DEGRADAÇÃO QUÍMICA DO AÇO.....	34
2.2.6.1. ATAQUE POR CLORETOS	35
2.2.6.2. ATAQUE POR SULFATOS	37
2.3. ENSAIOS.....	38
2.3.1. ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA	38
2.3.2. EXTRAÇÃO E ENSAIO DE COMPRESSÃO EM TESTEMUNHOS.....	39
2.3.3. DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	39
2.3.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS.....	40

2.3.5.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS.....	40
2.3.6.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR	41
2.3.7.	DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE	41
2.3.8.	ENSAIOS DE POTENCIAL DE CORROSÃO.....	41
2.4.	GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA (GUT).....	42
2.4.1.	GRAVIDADE	42
2.4.2.	URGÊNCIA.....	43
2.4.3.	TENDÊNCIA.....	43
2.4.4.	DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO GUT	43
3.	ESTUDO DE CASO	45
3.1.	LEVANTAMENTO CADASTRAL	45
3.2.	MAPEAMENTO DA ESTRUTURA	47
3.3.	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	48
3.4.	ENSAIOS LABORATORIAIS REALISADOS	49
3.4.1.	ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	49
3.4.2.	EXTRAÇÃO E ENSAIO DE TESTEMUNHOS.....	50
3.4.3.	EXTENSÃO DE CARBONATAÇÃO	51
3.4.4.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS.....	51
3.4.5.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS.....	52
3.4.6.	DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL DE CORROSÃO.....	52
3.4.7.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR	53
3.4.8.	DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE	53
3.5.	FALHAS DE PROJETO E EXECUÇÃO	53
3.6.	DIAGNÓSTICO.....	55
3.6.1.	DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO POR ABRASÃO	55
3.6.2.	EFLORESCÊNCIA	56
3.6.3.	PRESENÇA DE "FUNGOS" E UMIDADE NO CONCRETO	57
3.6.4.	CORROSÃO DE ARMADURA	58
3.6.5.	DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO.....	59
3.7.	PLANEJAMENTO DE INTERVENÇÕES PELO CRITÉRIO GUT.....	61
4.	CONSID. FINAIS E RECOMEND. PARA FUTUROS TRABALHOS.....	66
4.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
4.2.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
5.	REFERENCIAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto exemplificando uma tubovia (pipeway) na REPAR.....	11
Figura 2 – Foto exemplificando a transposição de tubulações de hidrocarbonetos. .	11
Figura 3 – Foto do pontilhão P-M4 na REPAR.....	12
Figura 4 – Esquema de uma ponte sem encontros. Fonte Pfeil 1983.....	18
Figura 5 – Vista anatômica de um viaduto urbano, Fonte Pfeil, 1983.	19
Figura 6 – Exemplo de manchas superficiais no concreto, fonte DNER 1994.	26
Figura 7 – Fissuras de assentamento plástico, fonte DNER 1994	28
Figura 8 – Fissuras de retração hidráulica, fonte DNER 1994	29
Figura 9 – Fissuras ou rupturas por tração, fonte DNER 1994.....	30
Figura 10 – Fissuras ou rupturas por compressão, fonte HELENE 2003.....	30
Figura 11 – Fissuras ou rupturas por flexão, fonte DNER 1994	31
Figura 12 – Fissuras ou rupturas por cisalhamento, fonte DNER 1994	31
Figura 13 – Fissuras ou rupturas por torção, fonte DNER 1994.....	31
Figura 14 – Fissuras ou rupturas por punção, fonte DNER 1994:.....	31
Figura 15 – Corrosão eletroquímica das armaduras, fonte DNER 1994	35
Figura 16 – Seção tipo do pontilhão P-M4	46
Figura 17 – Seção tipo do pontilhão P-M4	54
Figura 18 – Inexistência de aparelhos de apoio	55
Figura 19 – Desagregação do concreto nas placas do tabuleiro.....	56
Figura 20 – Eflorescência na face inferior do tabuleiro	57
Figura 21 – Presença de fungos na face inferior do tabuleiro	58
Figura 22 – Pórtico com corrosão de armadura	59
Figura 23 – Desplacamento de concreto de cobertura	60
Figura 24 – Gráfico comparativo do Parâmetro GUT por elementos da estrutura. ...	65
Figura 25 – Gráfico comparativo do Parâmetro GUT por manifestação patológica. .	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - GUT – Escala GUT para a Superestrutura.....	62
Quadro 2 - GUT – Escala GUT para a Mesoestrutura.	63
Quadro 3 - GUT – Escala GUT para a Infra-Estrutura.	64
Quadro 4 - GUT – Escala GUT para os Encontros.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - GUT – Grau de Severidade.....	42
Tabela 2 - GUT – Grau de Urgência.	43
Tabela 3 - GUT – Grau de Tendência.	43
Tabela 4 - GUT – Critérios para Intervenção.....	44
Tabela 5 - Índices esclerométricos dos pontos de 91 a 100	50
Tabela 6 – Valores da resistência dos testemunhos	51
Tabela 7 – Valores da profundidade de carbonatação.....	51
Tabela 8 – Teor de cloretos dos testemunhos (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 19).....	51
Tabela 9 – Teores de sulfato no concreto (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 20)	52
Tabela 10 – Índice de porosidade do concreto (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 22).....	53

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Vistoria Cadastral – Levantamento Documental.....	71
ANEXO 2 - Vistoria Cadastral – Relat. de Vistoria / Ensaios / Diagnóstico / GUT. ...	72
ANEXO 3 - Vistoria Cadastral – Relatório Fotográfico.	77
ANEXO 4 - Cálculo Taxa Absorção Capilar	85

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho possui como temática a avaliação do pontilhão P-M4 Refinaria Presidente Getulio Vargas – REPAR, diagnosticando as manifestações patológicas e determinando o tempo necessário para que seja realizada uma intervenção no mesmo.

Após a utilização por mais de 30 anos, o pontilhão P-M4 apresenta-se atualmente com várias manifestações patológicas, deixando em dúvida sobre a garantia de utilização do mesmo. Este pontilhão é considerado como uns dos pontos estratégicos de acesso e mobilidade da indústria, proporcionando a circulação de pessoas, equipamentos e o transporte de cargas no interior da REPAR.

Portanto, este trabalho realizou uma vistoria no pontilhão com objetivos de identificar as manifestações patológicas presentes na estrutura, classificando-as, avaliando suas prováveis origens e por fim recomendando um tempo limite para realização das intervenções necessárias na estrutura.

Neste capítulo, será destacada a principal função de utilização deste pontilhão, a diferença entre pontilhão e ponte, um breve histórico das condições de utilização do pontilhão P-M4 e também apresentado o problema de pesquisa, as hipóteses, os objetivos e as justificativas que norteiam este trabalho.

Dentro da Refinaria Presidente Getulio Vargas – REPAR, indústria do ramo Petroquímico pertencente ao grupo Petrobras, os hidrocarbonetos e seus derivados são transferidos das unidades de processo até as áreas de tanques de armazenamento por meio de tubulações denominadas tubulações de transferência.

As tubulações de transferência são instaladas apoiadas sobre estruturas civis, dispostas por um leito denominado tubovia (Figura 1). Do inglês “*pipeway*” originou-se este termo, que após trinta anos de operação da refinaria adota-se como denominação definitiva.



Figura 1 – Foto exemplificando uma tubovia (pipeway) na REPAR.

De modo a permitir a transposição das tubovias, foram criadas estruturas em concreto armado denominadas pontilhões. Por elas transita todo o tráfego da planta industrial (Figura 2).



Figura 2 – Foto exemplificando a transposição de tubulações de hidrocarbonetos e seus derivados sob um pontilhão na REPAR.

É tradição chamar de pontilhões as pontes de pequenos vãos, existindo divergências quanto aos vãos limites dos pontilhões. Não há, entretanto, qualquer importância na distinção entre pontes e pontilhões, pois ambos se subordinam aos mesmos procedimentos de projeto e de construção (PFEIL, 1983).

A construção do pontilhão P-M4 (Figura 3) na REPAR data da construção da planta industrial, possuindo assim idade superior a trinta anos.

O longo período de utilização exposto ao ambiente agressivo, associado à sobrecarga e à falta de manutenção preventiva, resultou em manifestações patológicas que podem comprometer a confiabilidade do pontilhão.

Este estudo propõe-se a avaliar as condições do pontilhão P-M4 frente às manifestações patológicas visíveis e que preocupam seus usuários na indústria.



Figura 3 – Foto do pontilhão P-M4 na REPAR.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a condição de utilização do Pontilhão P-M4 perante as manifestações patológicas?

1.2. HIPÓTESES

Definiram-se duas hipóteses que nortearam o trabalho no que tange à pesquisa teórica e ao levantamento de campo e laboratorial:

- As condições de utilização do Pontilhão P-M4 ainda estão garantidas em presença das manifestações patológicas;
- As condições de utilização do Pontilhão P-M4 não mais garantem sua utilização em presença das manifestações patológicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Verificar as atuais condições de utilização do Pontilhão P-M4 perante as manifestações patológicas apresentadas após mais de trinta anos de sua construção.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento cadastral documental e de campo da estrutura;
- Efetuar inspeção visual identificando as manifestações patológicas;
- Propor e realizar ensaios laboratoriais;
- Relacionar possíveis falhas de projeto e execução;
- Diagnosticar os problemas identificados;
- Determinar a urgência na intervenção baseada no critério GUT.

1.4. JUSTIFICATIVAS

O presente trabalho teve sua justificativa embasada na necessidade de devolver a mobilidade no transporte de cargas, equipamentos e pessoas dentro da planta industrial, garantindo as condições de segurança e confiabilidade operacional da unidade de produção.

O fato da devolução da mobilidade no transporte de cargas, equipamentos e pessoas dentro da planta industrial, apresenta grandes benefícios, tais como:

- **Econômicos:** Otimizando as distâncias percorridas no interior da indústria e muitas vezes até trazendo a viabilidade para a realização de novos empreendimentos;
- **Sociais:** Possibilitando condições de acesso entre os diversos setores desta indústria, oportunizando condições mobilidade nas questões de transporte. Este pontilhão é destinado exclusivamente por profissionais lotados nesta indústria, não sendo a sua utilização autorizada para a população de comunidades vizinhas a indústria.
- **Segurança, Meio-ambiente e Saúde:** A ruína deste pontilhão poderá ocasionar danos a pessoas, ao patrimônio e também ao meio ambiente. Sendo que, uma das principais funções deste tipo de pontilhão é a transposição de tubulações de transferências de petróleo e seus derivados, esses produtos são altamente inflamáveis e também podem contaminar todo o meio ambiente nas suas proximidades em uma condição de vazamento nas tubulações, ocasionado por um acidente devido à ruína deste pontilhão.
- **Tecnológicos:** Possibilita o aprimoramento de técnicas de avaliação deste tipo de estrutura e posteriormente o desenvolvimento de tecnologia para a recuperação e reforço da mesma.

Em segundo plano, mas não menos importante, o presente vem a acrescentar para o meio acadêmico, já que instiga ao desenvolvimento do estudo de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste capítulo apresentou-se a introdução do estudo, com seus objetivos, hipóteses e justificativas. No Capítulo 2 discorre-se sobre o referencial teórico pertinente ao estudo. No Capítulo 3 apresenta-se o estudo de caso do Pontilhão PM-4, que por sua vez subsidiou as considerações finais e proposta para novo estudo constante no Capítulo 5.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as definições, conceitos e métodos aplicados no desenvolvimento deste estudo de caso, sendo este capítulo de grande valia para consolidar os conhecimentos necessários para execução das atividades propostas.

2.1. LEVANTAMENTO CADASTRAL

2.1.1. VISTORIA DE PONTES

Conforme Raina (1996) a finalidade da vistoria é a de identificar a necessidade de manutenção estrutural, estabelecer a reabilitação ou a substituição da estrutura, bem como fornecer guias e metodologias para que os engenheiros tomem decisões racionais quanto à manutenção ou reabilitação das pontes.

Nas definições estabelecidas pela norma NBR 9452 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, as vistorias em obras de artes especiais, pontes, viadutos etc, pode ser classificada como: vistoria cadastral, vistoria rotineira e vistoria especial.

A vistoria cadastral tem por objetivo levantar informações referentes à verificação de segurança, durabilidade e sendo esta complementada com a documentação construtiva da obra, identificação, características estruturais e sua descrição. (Motti, Kawabata e Gheur, 2007)

A vistoria rotineira é realizada com a finalidade de manter o cadastro da obra atualizado ou ainda para efeitos de monitoramento da estrutura. Esta deverá ser realizada com intervalos máximos de um ano ou sempre que houver alguma interferência ou ocorrências na estrutura. (Motti, Kawabata e Gheur, 2007)

Vistorias especiais são realizadas para interpretar e avaliar ocorrências danosas à estrutura. (Motti, Kawabata e Gheur, 2007)

Radomski (2002) observa que a vistoria de pontes e viadutos é necessária como parte do programa de manutenção e de avaliação das condições técnicas dessas estruturas. O autor recomenda que a vistoria de pontes deva ser determinada com relação a instruções relevantes, guias e padrões ou regulamentos oficiais.

Tonias (1995) considera que no processo de vistoria de pontes em concreto, deve-se rever todas as informações disponíveis com o propósito de se desenvolver projetos de reparos. Toda vistoria deve iniciar-se com um bom planejamento, revisando-se os projetos e relatórios de vistoria anteriores, e os projetos de estrutura existentes para se identificar as áreas que apresentam maior probabilidade de deterioração.

Como a vistoria cadastral faz-se necessária para o desenvolvimento do trabalho proposto, de forma resumida, apresenta-se o roteiro para a vistoria proposta conforme estabelecido pela NBR 9452:

Identificação da obra quanto à classe, localização, data, projetista, construtora, período de construção e listagem de documentos;

- Descrição da obra com as seguintes informações:
- Características da superestrutura, concepção estrutural:
 - Forma da seção transversal;
 - Existências de transversinas de apoio ou intermediárias;
 - Número e comprimento dos vãos;
 - Comprimento total;
 - Largura do tabuleiro e eventuais variações;
 - Existência e tipo de passeios, barreiras, defensas e/ou guarda-corpo;
 - Perfil longitudinal;
 - Tipo de armação (armado ou protendido);
 - Características dos aparelhos de apoio;

- Apontar danos causados por acidentes, deslocamentos lineares e angulares, deformações, defeitos construtivos;
- Apontar as manifestações patológicas.

A inspeção de pontes deve ser realizada de forma completa, reunindo profundidade técnica e segurança do pessoal envolvido. Assim sendo, é necessário um conjunto de equipamentos próprios que garantam a confiabilidade do trabalho e informações coletadas, são eles:

- Equipamentos de acesso: São equipamentos que possibilitam a execução completa da vistoria, não restringindo o vistoriador a partes da estrutura;
- Equipamentos de medida: Estes equipamentos são utilizados para o levantamento da geometria da obra, e também utilizados para mensuração de fissuras e defeitos no concreto.
- Equipamentos de segurança: Equipamentos que permitem garantir a integridade física dos vistoriadores;
- Equipamentos diversos: São equipamentos diversos tais como: máquina fotográfica, tinta para identificação de manifestações patológicas, materiais de escritório etc.

Para identificação das características dos materiais utilizados, concreto, aço e também para avaliação das manifestações patológicas são necessários a utilização de equipamentos adicionais, tais como:

- Esclerômetro de Schmidt;
- Extratora de testemunhos;
- Equipamentos para medição de potencial de eletrodo, etc.

2.1.2. ELEMENTOS DA ESTRUTURA

Os elementos estruturais que constituem uma ponte podem ser classificados em relação ao material em que o elemento é construído, podendo ser em madeira, aço, alvenaria de pedra e concreto armado e protendido.

Para uma perfeita identificação e descrição das pontes, apresenta-se abaixo das definições básicas sobre os elementos constituintes de uma ponte:

- Superestrutura;
- Mesoestrutura;
- Infra-estrutura;
- Encontros;

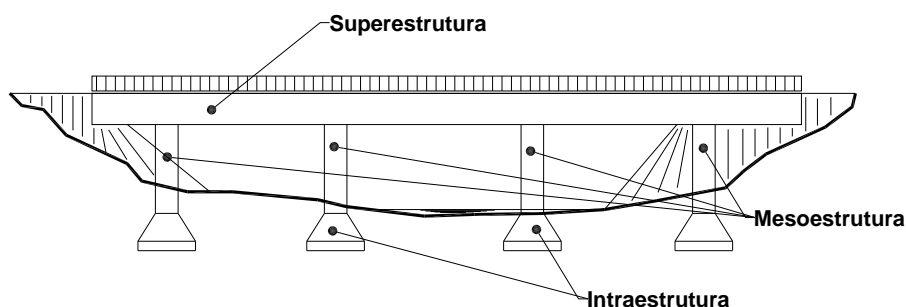


Figura 4 – Esquema de uma ponte sem encontros. Fonte Pfeil 1983.

A superestrutura permite à carga útil vencer o vão propiciado pela ponte. Ela consta de duas partes principais (PFEIL, 1983). A primeira parte é o tabuleiro ou estrado, este recebe diretamente as cargas aplicadas, já a segunda o vigeamento principal, tem função de vencer o vão livre.

Outros elementos que constituem a superestrutura de uma ponte são os contraventamentos. Estes com finalidade de absorver os esforços horizontais aplicados na superestrutura, dentre eles o esforço do vento, e ainda impedir a flambagem dos elementos principais.

Também existem os apoios, estes servem para transferir as reações dos vigeamentos principais para os pilares e movimentos inevitáveis da estrutura, como por exemplo, os causados pela variação da temperatura (PFEIL, 1983).

A mesoestrutura é formada pelos pilares, cuja função consiste em conduzir as cargas recebidas até as fundações. As fundações da obra são também denominadas de infra-estrutura, estas com função de transmitir as cargas da estrutura para o solo (PFEIL, 1983).

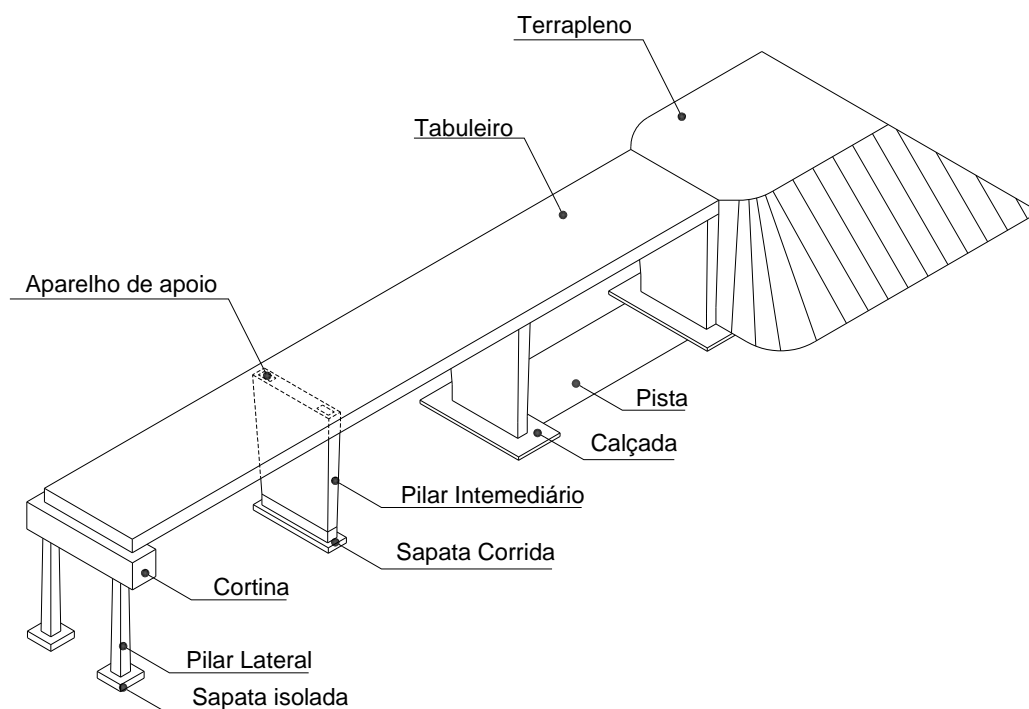


Figura 5 – Vista anatômica de um viaduto urbano, Fonte Pfeil, 1983.

Os encontros são estruturas que tem por finalidade a ligação entre a ponte e o terrapleno, servindo de proteção para as extremidades do aterro contra erosão pelo curso d'água, e ainda para absorver os esforços horizontais aplicados no tabuleiro (PFEIL, 1983).

2.1.3. ELEMENTOS DE PROJETO

O projeto de uma obra-de-arte especial exige o conhecimento de uma quantidade razoável de dados que genericamente, pertencem a dois grupos (Manual de Projeto de Obras de arte Especiais – DNER, 1996):

O primeiro é os elementos de campo, estes estão assim descritos resumidamente:

- Planta de situação, com a implantação da obra;

- Seção longitudinal do terreno ao longo do eixo da ponte;
- Características geotécnicas e geológicas do solo de fundação;
- Topografia do local;
- Condições de agressividade do meio.

O segundo grupo de conhecimentos é de elementos básicos de projeto, são elementos tais como Normas, Especificações, Manuais, Detalhes Padrão e Princípios Básicos, que devem ser seguidos na elaboração dos projetos de obras-de-arte especiais.

Qualquer projeto de obra de arte especial desenvolvido no Brasil, deve seguir as recomendações das normas técnicas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. De forma resumida, são apresentadas a seguir as principais delas pertinentes a um projeto de ponte:

- ABNT NBR-6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado;
- ABNT NBR-6122 - Projeto e Execução de Fundações;
- ABNT NBR-6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações;
- ABNT NBR-6497 - Levantamento Geotécnico;
- ABNT NBR-7187 - Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido;
- ABNT NBR-7188 - Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres;
- ABNT NBR-7197 - Projeto de Estruturas de Concreto Armado Protendido;
- ABNT NBR-8681 - Ações e Segurança nas Estruturas;
- ABNT NBR-9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado;
- ABNT NBR-10839 - Execução de Obras-de-arte Especiais em Concreto Armado e Protendido.

Tão importante quanto às normas da ABNT, são as recomendações de órgãos estatais que detém o conhecimento de causa quando o assunto é o

transporte nacional, seja ele rodoviário ou ferroviário. Assim, vale ressaltar a importância de documentos como o Manual de Projeto de Obras-de-arte Especiais do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) nº 13 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

As normas que estabelecem os critérios de projeto e execução das obras em questão, sofreram revisões ao longo dos anos, gerando modificações principalmente nos critérios de durabilidade das estruturas e carregamento, e principalmente mudança de trem-tipo de projeto.

Os trens-tipo são cargas móveis previstas em projeto, porém, “as pontes que sejam utilizadas com certa frequência por veículos especiais transportando carga de peso excepcional devem ser verificadas para trens-tipo também especiais” ABNT NBR-7188 (1984.p.2).

2.1.4. MATERIAIS

Os materiais que compõem uma estrutura em concreto armado têm suas características definidas em função das solicitações a que a estrutura será submetida.

A correta caracterização dos materiais empregados é fundamental na análise de uma estrutura após anos de uso, visto que o desgaste dos materiais empregados na construção das pontes é evidentemente um dentre os principais fatores que influenciam a vida útil da mesma.

Ainda por se tratar de um pontilhão localizado dentro de uma indústria petroquímica, este estará sujeito a uma “atmosfera industrial”. Onde esta pode acelerar em 60 a 80 vezes mais o processo de corrosão, quando comparadas a situações equivalentes em atmosferas rurais”. Isto ocorre devido à ação de gases ácidos que reduzem a alcalinidade do concreto ou mesmo diminuem fisicamente a camada de recobrimento, facilitando a penetração e a ação dos agentes agressivos HELENE (1986).

Nos itens subseqüentes serão explanados alguns conceitos importantes a respeito das características físicas do concreto para as questões de durabilidade do mesmo:

2.1.4.1. POROSIDADE

Para MEHTA & MONTEIRO (1994) a porosidade é de grande importância para as questões da degradação do concreto, sendo este o agente físico de controle da taxa de deterioração e representando uma característica diretamente relacionada à relação água/cimento, ao tipo de cimento e ao grau de hidratação do concreto, e também ligada às características dos poros, entre elas, o seu diâmetro, conectividade e ao seu volume total, à variação dimensional dos sólidos e dos poros de uma pasta de cimento endurecida, bem como a sua classificação.

HELENE (1993) esclarece a importância dos tipos de poros na durabilidade do concreto, classificando-os em: macroporos, poros capilares e microporos, dentre os quais os dois primeiros têm grande influência na durabilidade das estruturas, principalmente os capilares, que chegam a 2/3 do volume total de poros do concreto.

Quanto ao tamanho dos poros deve-se considerar que, para um mesmo tipo de cimento, a relação água/cimento é o agente controlador da porosidade e, quanto maior a relação água/cimento, maior a porosidade resultante. Da mesma forma, é importante considerar que, além do tamanho dos poros, a conectividade entre estes é de grande influência, ou seja, mesmo poros de elevado diâmetro, considerados macroporos, só terão influência na penetração de agentes agressivos na estrutura, se estiverem conectados entre si, formando canais de acesso para os agentes agressivos penetrarem.

2.1.4.2. PERMEABILIDADE

A resistência do concreto ao ataque químico é regida pela permeabilidade da pasta, a qual é função da porosidade capilar. Assim, numa pasta de estrutura porosa compacta o ataque se restringirá à superfície, enquanto que uma pasta porosa permitirá que a ação dos agentes agressivos ocorra em seu interior. De acordo com UCHIKAWA (1986), a permeabilidade do concreto à água encontra-se relacionada ao

volume de poros com diâmetro superior a 132 hm. Vale ressaltar, que durante a exudação, a água pode encontrar obstáculos que a mantenham retida no local, gerando assim vazios nesta região ou áreas de grande porosidade. De acordo com SCHIESSL (1987), os poros capilares e os macroporos são os mais importantes para a durabilidade do concreto. Ressaltando esta importância, HELENE (1986) sugere a utilização da porosidade e não da permeabilidade, como parâmetro de durabilidade.

2.1.4.3. ABSORÇÃO CAPILAR

Outra característica importante na resistência do concreto ao ataque químico é a absorção capilar, a qual, segundo HELENE (1993), é uma das propriedades que regem o transporte dos íons no interior do concreto. Para casos de concretos sujeitos a ciclos de molhagem e secagem, por se tratar de transporte d'água em vazios não saturados, a absorção capilar pode ter grande influência no transporte de água no interior das estruturas. CAMARINI (1999) afirma que a determinação da absorção d'água é muito mais interessante, no estudo da durabilidade do concreto que a permeabilidade, pois a taxa de penetração d'água observada no ensaio de permeabilidade é de 10^{-12} m/s, enquanto no ensaio de absorção capilar este valor é da ordem de 10^{-6} m/s, ou seja, a absorção apresenta uma velocidade um milhão de vezes maior que a permeabilidade. É válido ressaltar que a permeabilidade é a medida do fluxo de um líquido sob pressão em materiais saturados, enquanto que a absorção capilar é a medida deste fluxo em materiais não saturados, o que normalmente ocorre com as estruturas de concreto.

2.1.4.4. MIGRAÇÃO IÔNICA

De forma geral, pode-se definir a migração iônica no concreto como uma movimentação de íons que se dá pela corrente gerada pela ação de campos elétricos decorrentes da corrente elétrica existente no processo eletroquímico (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

A migração de íons cloreto dentro do concreto se dá pela ação do campo elétrico formado a partir do surgimento de pilhas de corrosão eletroquímica, estes íons tendem, ao penetrar no concreto, a contribuir para a redução da resistividade elétrica e aumentar a condutividade do eletrólito, favorecendo, assim o crescimento da taxa de corrosão.

2.1.4.5. DIFUSÃO

A difusão é uma característica determinada pelo deslocamento de um gás no interior do concreto devido a uma diferença de gradiente de concentração, sendo função da umidade relativa do ar e da porosidade da pasta de cimento (CASCUDO 1997). Durante o deslocamento a substância se difunde em uma direção de forma a igualar as concentrações, eliminando o gradiente (FRANCINETE 1999).

Segundo NEVILLE (1997) a difusão é menor quanto menor a relação água/cimento, embora esta interferência seja mais significativa no controle da permeabilidade do que na difusão.

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

O conceito de vida útil de uma estrutura pode ser entendido como sendo a manutenção da expectativa de desempenho de cada elemento ou da estrutura como um todo (SOUZA e RIPPER, 1998).

O desempenho pode ficar comprometido pela alteração das propriedades dos materiais ao longo do tempo, seja por incidência direta dos agentes ambientais, por mudanças nos carregamentos a que estará sujeita, ou ainda por falta de manutenção preventiva.

“Os problemas patológicos que ocorrem nas estruturas de concreto e afetam sua segurança e durabilidade, são originários de diversos fatores que estão associados às fases de produção, uso e manutenção de uma obra. Cada um destes problemas apresenta normalmente uma sintomatologia”, conforme claramente definido no Manual de Inspeção de Obras-de-arte Especiais do DNER (1994. p.2).

Os principais efeitos das manifestações patológicas que conduzem a deterioração das estruturas são:

- Degradação da aparência;
- Perda de rigidez e resistência;
- Diminuição da vida útil.

A seguir apresentam-se as principais formas de manifestações patológicas no concreto armado, associadas aos seus principais agentes causadores:

2.2.1. MANCHAS SUPERFICIAIS NO CONCRETO

“As manchas na superfície do concreto alteram a sua textura e uniformidade de coloração causando prejuízos estéticos e podendo dentar a instalação de problemas patológicos mais sérios (Manual de Inspeção de Obras-de-arte Especiais – DNER, 1994). Os principais fatores que provocam as manchas superficiais são:

- Deficiência dos dispositivos de drenagem;
- Deficiência da vedação nas juntas;
- Degradação química do concreto.

As eflorescências são manchas de coloração normalmente brancas que surgem freqüentemente no concreto e ocorrem devido ao “acúmulo de solução saturada de hidróxido de cálcio na superfície do concreto”, HELENE (2003.p.128), podendo ainda formar estalactites nas zonas de maior porosidade do concreto.



Figura 6 – Exemplo de manchas superficiais no concreto, fonte DNER 1994.

2.2.2. NINHOS DE CONCRETAGEM

Os ninhos de concretagem são constituídos por regiões de grande concentração do agregado graúdo (brita) e com ausência da pasta de cimento e areia que assegure a coesão entre os agregados graúdos. Os ninhos de concreto provocam a redução da seção resistente efetiva da peça, eliminam a aderência entre o concreto e a armadura e expõem as armaduras ao processo de corrosão.

Os principais fatores que provocam os ninhos de concretagem, conforme HELENE (2003) são:

- Concreto mal dosado;
- Dimensão máxima do agregado maior que o espaçamento da armadura;
- Lançamento do concreto a altura maior que 2,5 metros;
- Compactação, vibração ou adensamento excessivo ou deficiente;
- Densidade elevada de armação.

2.2.3. FISSURAS NO CONCRETO

A norma brasileira ABNT NBR-6118 (2007.p.71) afirma que “a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração; mesmo sob

as condições de serviço (utilização), [...] visando obter bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários, busca-se controlar a abertura dessas fissuras”.

A abertura máxima característica das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm, sob ação das combinações freqüentes, não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas.

Porém, conforme apontado no Manual de Inspeção de Obras-de-arte Especiais – DNER (1994. p.6), “as fissuras, entretanto passam a se constituir em problema patológico quando apresentam abertura superior aos valores admissíveis ou quando não são originárias do funcionamento estrutural normal da peça”.

As fissuras no concreto podem surgir antes ou após o endurecimento do mesmo, podendo ainda ser classificadas pela sua movimentação, sendo elas as fissuras ativas, que possuem movimentação de abertura e fechamento, ou fissuras passivas, as quais não possuem movimentação.

2.2.3.1. PRÉVIAS AO ENDURECIMENTO DO CONCRETO

- Fissuras de retração plástica:

Fissuras que surgem logo após o adensamento da superfície horizontal do concreto, em decorrência da rápida perda de água de amassamento, por absorção excessiva da água pelas formas e principalmente por evaporação, ocorrendo principalmente em dias de concretagem com intenso calor. Este tipo de fissuração ocorre principalmente em peças estruturais que apresentam grandes áreas de exposição.

- Fissuras de assentamento plástico:

Este tipo de fissura ocorre quando a presença de armaduras ou da forma impede o assentamento do concreto. Estas fissuras se desenvolvem ao

longo do comprimento das barras da armadura e por isso comprometem gravemente a proteção das mesmas.

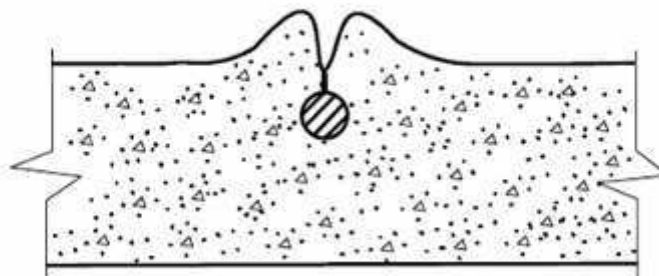


Figura 7 – Fissuras de assentamento plástico, fonte DNER 1994

- Fissuras de movimentação de formas e escoramento:

Fissuras que ocorrem durante a concretagem por motivos de escoramentos ou formas inadequadas, flexíveis ou mal travados.

2.2.3.2. POSTERIORES AO ENDURECIMENTO DO CONCRETO

As fissuras que ocorrem após o endurecimento do concreto podem ser originadas por diversos fatores, para algumas situações as características de localização, angulação, por exemplo, podem identificar o agente causador. Por outro lado quando a fissura é causada por mais de um agente causador torna-se muito complexa a identificação destes agentes.

- Fissuras de retração hidráulica:

Fissuras que surgem nas primeiras horas após a concretagem, em decorrência da perda de água de amassamento durante o processo de endurecimento do concreto. Estas fissuras ocorrem devidas há diminuição do volume do concreto ainda no estado plástico, sem que haja terminado o processo de hidratação do cimento. As fissuras de retração hidráulicas caracterizam-se principalmente por serem fissuras de separação, seccionando inteiramente a seção transversal da peça (HELENE, 2003).

Para o aparecimento deste tipo de fissura os principais fatores são: secagem prematura do concreto por cura inadequada, elevado fator de água / cimento no traço do concreto, elemento com pouca quantidade de aço de retração, excesso de cimento ou finos e excesso de vibração. Estas fissuras apresentam-se principalmente em almas de vigas contínuas de pontes e viadutos de grande extensão e elementos confinados.

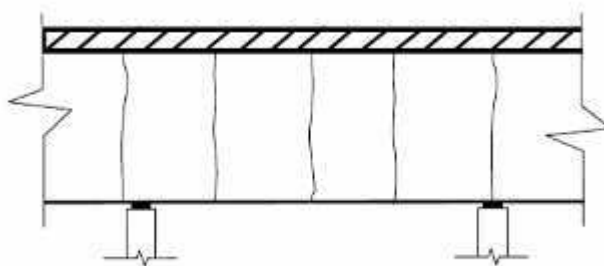


Figura 8 – Fissuras de retração hidráulica, fonte DNER 1994

- Fissuras de retração térmica:

Fissuras de retração térmicas podem ser internas devido à liberação de calor das reações de hidratação do cimento que são exotérmicas, ou ainda, fissuras ocasionadas pela variação da temperatura ambiente, que provoca a movimentação de contração e dilatação na estrutura.

Segundo HELENE (2003.p.116 a p118), as fissuras ocasionadas pela retração hidráulica térmica podem gerar fissuras que atravessam o elemento estrutural, podendo chegar ao colapso da estrutura. Já para fissuras ocasionadas pela variação térmica do ambiente, que apresentam característica de serem fissuras ativas, pode ocorrer à diminuição da proteção das armaduras facilitando com que os agentes agressivos ataquem as armaduras.

- Fissuras devido à ação de carregamentos:

A atuação dos carregamentos gera solicitações seccionais internas nas peças das estruturas. A cada tipo de solicitação seccional interna está associado um quadro fissuratório próprio com características bem definidas.

Assim tem-se um quadro fissuratório para solicitações de tração, compressão, de flexão, de cisalhamento, de torção e de punção. Quando estas fissuras se apresentam com aberturas superiores aos limites permitidos, normalmente está-se diante de uma das seguintes situações (Manual de Inspeção de Obras-de-arte Especiais – DNER, 1994):

- Erro de dimensionamento da quantidade de armação;
- Carregamentos superiores aos previstos em projeto;
- Funcionamento da estrutura em desacordo com o modelo que serviu para análise estrutural da mesma.

Assim, as figura abaixo representam a maioria das situações reais que podem ser encontradas e causadas por ação de carregamentos:



Figura 9 – Fissuras ou rupturas por tração, fonte DNER 1994

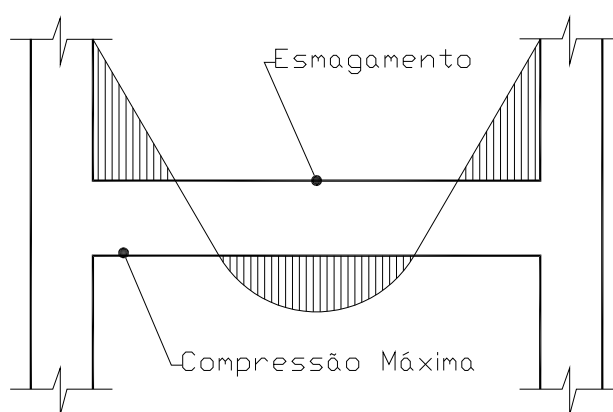


Figura 10 – Fissuras ou rupturas por compressão, fonte HELENE 2003

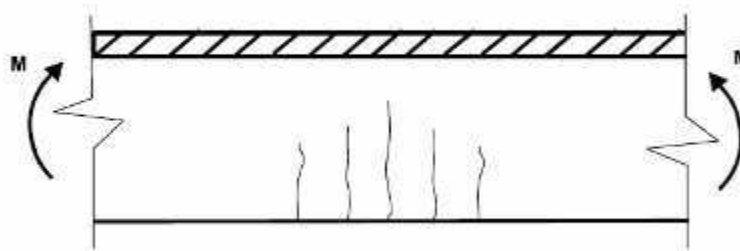


Figura 11 – Fissuras ou rupturas por flexão, fonte DNER 1994

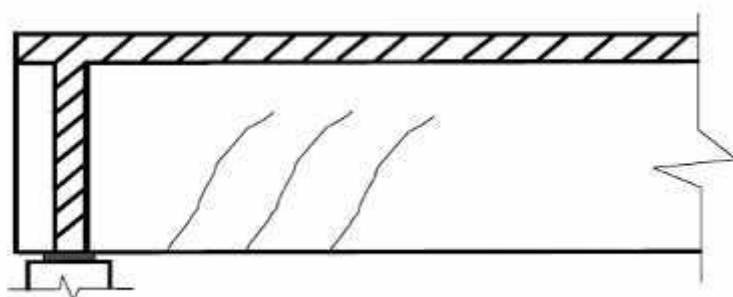


Figura 12 – Fissuras ou rupturas por cisalhamento, fonte DNER 1994

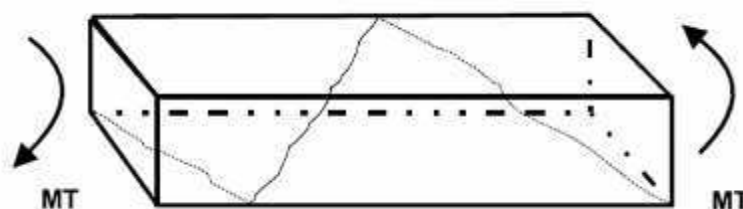


Figura 13 – Fissuras ou rupturas por torção, fonte DNER 1994

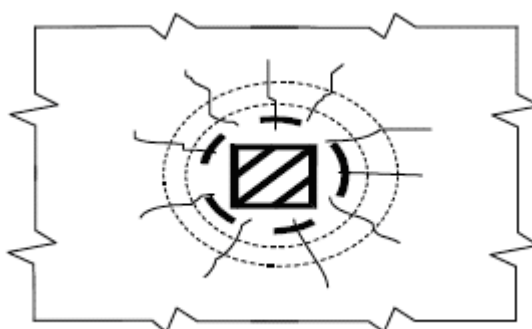


Figura 14 – Fissuras ou rupturas por punção, fonte DNER 1994:

2.2.4. DEGRADAÇÃO FÍSICA DO CONCRETO

A mais representativa das degradações físicas do concreto é a abrasão. Significa a perda gradual e continuada da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada.

Este tipo de degradação é comum em pisos, estruturas sujeitas a ação de fluidos com partículas sólidas em suspensão, tabuleiros de pontes, dentre outras.

A resistência a abrasão está associada à resistência intrínseca do concreto, porém é particularmente importante a qualidade e dureza do agregado empregado e a eficiência da cura superficial. As operações de desempenho e acabamento superficial devem ser realizadas sem acrescentar água e evitando remisturar a água exsudada. Para melhorar a resistência à abrasão podem ser usados endurecedores minerais ou químicos, ou empregar-se concretos especiais.

2.2.5. DEGRADAÇÃO QUÍMICA DO CONCRETO

Quando as interações químicas entre agentes agressivos presentes no meio ambiente externo e os constituintes da pasta de cimento resultam em reações internas, tipo reação álcali-agregado ou ainda reações de hidratação retardada CaO e MgO cristalinos, diz-se que o concreto sofreu degradação química.

As reações químicas manifestam-se através de deficiências físicas do concreto, principalmente decorrentes do aumento da porosidade e da permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamentos.

Os principais tipos de degradação são:

- Solubilidade do concreto por águas ácidas, principalmente quando há percolação das mesmas através do concreto;
- Águas de água sulfatadas, tendo em vista o enorme poder expansivo da reação dos sulfatos com o aluminato tricálcio dos cimentos;

- Reação álcali-agregado, quando existem agregados reativos com os álcalis do cimento.

2.2.5.1. CARBONATAÇÃO

No âmbito da carbonatação do concreto, conforme verificado por SLOWIK e KAPPAHN (1997), após a hidratação do cimento, o pH da água nos poros do concreto está em torno de 12,5, isto devido à formação do hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$. Com pH abaixo de 11,5, pode-se ter o processo de corrosão da armadura iniciado devido à neutralização do hidróxido de cálcio pelo ácido carbônico $[H_2CO_3]$.

A reação de carbonatação é assim descrita por HELENE (1995):

Em presença de água com baixa umidade relativa do ambiente, o dióxido de carbono reage com a molécula de água permitindo a carbonatação em níveis muito pequenos $[CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3]$. Em seguida, como produto de uma fase muito instável, surge o bicarbonato de cálcio $[2H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O]$. Na seqüência é gerado o carbonato de cálcio em forma estável com liberação de água $[Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2.H_2O]$.

O tempo que a carbonatação leva para atingir a profundidade onde se encontra o aço depende, mantidas todas as demais condições constantes, da espessura do recobrimento e de sua permeabilidade. Esta pode ser associada à resistência mecânica do concreto (que depende do fator água/cimento) e ao grau de compactação.

Dobrando a espessura do recobrimento, multiplica-se por quatro o período de tempo que a carbonatação levará para atingir a armadura.

O crescimento fator água/cimento provoca uma elevação exponencial na velocidade de carbonatação do concreto. A profundidade de carbonatação de concretos com mesma idade, feitos com fator água/cimento 0,5, podem ser 1/3 da observada em concretos com fator água/cimento 0,8..

A velocidade de carbonatação depende também da umidade relativa do ar. Umidades relativas em torno de 60 a 80% favorecem em muito a carbonatação.

2.2.6. DEGRADAÇÃO QUÍMICA DO AÇO

Como afirma HELENE (2003.p.45), “a perda da alcalinidade no concreto ocorre como resultados da lixiviação das substancias alcalinas existentes nos poros do concreto ou mesmo devido ao processo de carbonatação” [...] “A presença de uma concentração crítica de íons de cloreto em contato com a superfície da armadura provoca a despassivação do aço e a corrosão localizada deste. O valor de concentração critica depende de diversos fatores, tais como o PH, teor de aluminato tricálcio (C_3A) no cimento e, em alguns casos, do teor de umidade do concreto”. HELENE (2003.p.45).

A elevada alcalinidade do concreto, assegurada pelo $PH \cong 12,5$ da água retida em seus poros, garante a passivação das armaduras em relação à corrosão eletroquímica. Nestas condições a velocidade de corrosão é praticamente nula com valores inferiores a $1\mu\text{m/ano}$. Quando o PH se reduz e atinge valor igual ou inferior a 9 ou ainda quando sujeito a ataques por cloretos, esta passivação das armaduras é destruída e o processo de corrosão se instala.

A corrosão eletroquímica ocorre pela formação de pilhas de corrosão devido à presença de umidade, água ou uma solução aquosa nas superfícies das barras ou no concreto. Nestas condições ocorrem reações químicas onde ocorrem transferências de elétrons com formação de corrente elétrica. Para que isso ocorra é necessário um circuito elétrico.

- Ânodo: onde os íons metálicos entram no eletrólito (oxidação - região envolta por um concreto mais compacto com menos penetração de oxigênio);
- Cátodo: onde os íons metálicos recebem os elétrons (redução - região de maior porosidade do concreto, com maior penetração de oxigênio);

- Eletrólito: condutor para os íons metálicos (água retida nos poros do concreto);
- Circuito metálico: condutor ligando o ânodo com o cátodo (barra de aço).

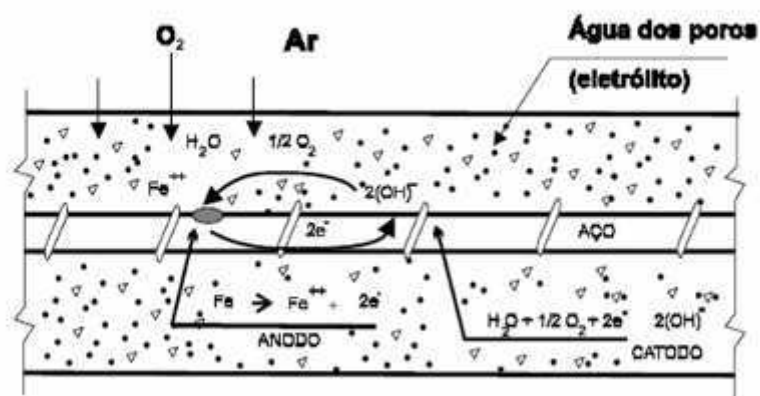


Figura 15 – Corrosão eletroquímica das armaduras, fonte DNER 1994

“Os danos causados pela corrosão de armaduras geralmente manifestam-se através de fissuras no concreto paralelas à direção do reforço, delaminação e/ou lascamento do cobrimento. Em componentes estruturais que apresentam um elevado teor de umidade, os primeiros sintomas de corrosão evidenciam-se por meio de manchas de óxido na superfície do concreto”. HELENE (2003.p.43).

2.2.6.1. ATAQUE POR CLORETOS

O agente agressivo mais comum nas estruturas de concreto armado é o cloreto (íon Cl^-) que pode ser adicionado involuntariamente ao concreto, a partir de aditivos aceleradores de endurecimento, agregados e águas contaminadas ou até a partir de tratamentos de limpeza (como, por exemplo, o ácido muriático).

A grande maioria dos aditivos aceleradores de pega e endurecimento tem na sua composição cloreto de cálcio (CaCl_2). Esse sal dissolve, liberando ânions Cl^- que podem destruir a película passivadora proporcionada pelo meio alcalino, e acelerar permanentemente a corrosão

sem consumirem-se, concentrações de cloretos iguais ou superiores a 700 mg/l despassivam o aço imerso em água de cal (pH = 12,5), além de reduzirem significativamente a resistividade do concreto.

O teor de cloretos prejudiciais à armadura de concreto armado não é uniforme, conforme literatura técnica. As recomendações normativa é de 0,02% para concreto armado, em relação à massa de cimento usada no preparo do concreto. Esses teores, por si mesmos não deveriam ser empregados em estruturas de concreto armado, segundo as recomendações da NBR-6118, que limitam em 500 mg/l a concentração total de cloretos, expressa em íons Cl^- , na água de amassamento.

Na realidade, o problema de corrosão é bastante complexo, envolvendo uma série de outros fatores que fazem com que ora ocorra corrosão e ora não ocorra, para teores iguais de cloretos. Um dos fatores que parece alterar as condições que favorecem a corrosão é a migração - por ação de secagem, molhagem alternada, temperaturas, aeração diferencial etc. - dos íons Cl^- na massa de concreto. Essa migração pode gerar diferenças de concentração e aí sim, pequenos teores concentrados podem ser mais perigosos que altos teores homogênea e uniformemente distribuídos. Ocorre estrutura fortemente atacada por corrosão, onde o teor de cloretos medido no produto de corrosão é de apenas 0,3% da massa de cimento.

Outro fator que minora o efeito da ação agressiva dos cloretos pode ser a sua capacidade de combinação com os aluminatos. A difusão dos cloretos na massa de concreto geralmente é retardada pela formação de cloroaluminato de cálcio, pouco solúvel. Essa reação reduz a concentração de cloretos livres e favorece a proteção das armaduras.

Daí o fato já consagrado de que cimentos com altos teores de aluminato tricálcico (C3A) serem os mais indicados quando se está diante da presença inevitável de cloretos.

Os agregados de regiões próximas ao mar e águas contaminadas, ou salobras, também podem conter cloretos, na maioria das vezes sob a

forma de cloreto de sódio (NaCl). Os teores admissíveis são da mesma ordem que para CaCl_2 , pois as exigências são sempre em relação ao ânion Cl^- .

Finalmente, os cloretos podem ser incorporados ao concreto, involuntariamente, através de tratamentos superficiais de limpeza com ácido muriático, que nada mais é do que um ácido clorídrico comercial. Nossa experiência tem demonstrado ser comum esse tipo de acontecimento, pois a maioria das recomendações de fabricantes de pastilhas e pisos aconselha limpeza com ácidos. Sempre que houver risco de impregnação dessa solução na estrutura de concreto - e quase sempre o há - deve-se estudar outra forma de limpeza ou prever, por ocasião do projeto e execução, o concreto e o cobrimento de armadura mais adequados.

2.2.6.2. ATAQUE POR SULFATOS

Os sulfatos em solução aquosa atacam os concretos de cimento Portland provocando reações expansivas que podem conduzir à deterioração do elemento estrutural. Os íons sulfato podem estar presentes tanto em soluções ácidas, caso do ácido sulfúrico, em soluções alcalinas como o sulfato de amônia, ou em sais, que os quais pode-se mencionar os sulfatos de cálcio, de magnésio e de sódio.

Deve ser então separado o processo de ataque específico do íon sulfato do ataque correspondente a um dado tipo químico ou cátion. Por este motivo, nos referiremos estritamente ao efeito prejudicial do íon sulfato, independentemente.

O mecanismo de dano é associado à formação de compostos expansivos, tipicamente a etringita secundária e o gesso cristalizado.

A severidade do ataque está condicionada à velocidade de ingresso da solução ao concreto, considera-se que os concretos de baixa permeabilidade, ou seja, com baixa relação água/cimento, bem adensados e bem curados, são poucos suscetíveis de serem atacados por sulfatos, e

os casos reais documentados de deterioração correspondem a concretos porosos e com deficiências na cura.

2.3. ENSAIOS

“Quando a inspeção visual realizada em uma estrutura de concreto armado ou protendido levanta dúvidas sobre a resistência do concreto da mesma, deve-se realizar em programa de investigação desta resistência, através da execução de ensaios” (Manual de Inspeção de Obras-de-arte Especiais – DNER, 1994, pg. 20).

2.3.1. ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA

O método avalia a dureza superficial aplicando um impacto na superfície do concreto de maneira padronizada, medindo assim a distância de reflexão da massa interna do esclerômetro.

No aparelho, a reflexão é expressa como a porcentagem da reflexão máxima 100%, sendo que o seu valor é denominado de índice esclerométrico, segundo MEHTA e MONTEIRO (1994). Para cada aparelho, esse índice deverá ser corrigido, considerando a direção e sentido de aplicação através de curvas de correlação entre o índice esclerométrico e a resistência do concreto.

A NBR 7584 (1995) indica que a profundidade de referencia é cerca de 20 mm, operando-se com esclerômetro de energia a percussão de 2,25 Nm. Nesta mesma norma indicam-se as circunstancias de emprego deste ensaio.

Os resultados podem ser influenciados pelos seguintes fatores:

- Tipo de cimento e de agregados;
- Estado da superfície ensaiada;
- Grau de umidade da superfície;
- Profundidade de carbonatação da superfície;
- Idade da estrutura;

- Uniformidade da pressão de utilização.

Este método não é recomendado isoladamente, sendo que para sua completa certificação recomenda-se a utilização combinada de ensaio de testemunho extraído da estrutura.

2.3.2. EXTRAÇÃO E ENSAIO DE COMPRESSÃO EM TESTEMUNHOS

Os testemunhos são corpos de prova cilíndricos retirados da estrutura sob investigação, por meio de máquina extratora contendo coroa diamantada rotativa e com refrigeração à água. O ensaio é elaborado sob prescrição das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de números NBR 7680 e NBR 5739.

Além da resistência mecânica do testemunho, pode-se também avaliar a dosagem de cloretos e/ou sulfatos, e a permeabilidade do concreto.

O testemunho a ser extraído deve possuir dimensões com relação entre altura e diâmetro ideal igual a dois, sendo que a mínima relação deve ser um. A extração deve remover somente concreto, evitando ao máximo a interrupção de armaduras.

2.3.3. DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

A determinação da profundidade de carbonatação pode ser conseguida com a utilização de indicadores químicos de redução de pH, como a timolftaleína ou fenolfetaleína.

O ensaio com fenolfetaleína quando aspergido sobre o concreto em solução 1% de do indicador químico, 50% de álcool e 50% de água, apresenta coloração vermelho-rósea para pH acima de 8,3 (concreto não carbonatado). Ao apresentar-se de forma incolor, indica um concreto com pH abaixo disso, caracterizando com uma pequena margem de segurança, um concreto com carbonatação. A carbonatação não indica que a armadura esteja em processo de corrosão, porém, apresenta-se suscetível à corrosão desde que a zona analisada apresente desequilíbrio eletrolítico.

2.3.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS

A determinação do teor de cloretos é realizada através da extração de amostras do concreto através de perfuração em profundidades pré-estabelecidas. Cada amostra deve ser composta de pelo menos 6 coletas de modo a perfazer pelo menos um quilograma de amostra.

Trata-se a amostra com água destilada, agita-se e filtra. Transferem-se alguns milímetros do filtrado a um tubo de ensaio e posteriormente adiciona-se solução de nitrato de prata. Na ocorrência de um precipitado (ppt) branco que escurece rapidamente, confirma-se a presença de cloreto.

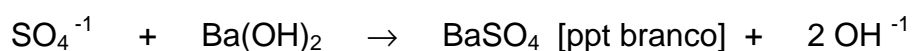


O teor admissível conforme NBR 6118 é de 0,5% da água de amassamento, ou 0,02% da massa de cimento.

2.3.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS

A determinação do teor de sulfetos é realizada através da extração de amostras do concreto através de perfuração em profundidades pré-estabelecidas. Cada amostra deve ser composta de pelo menos 6 coletas de modo a perfazer pelo menos um quilograma de amostra.

Trata-se a amostra com água destilada, agita-se e filtra. Transferem-se alguns milímetros do filtrado a um tubo de ensaio e posteriormente adiciona-se água de barita (solução de $\text{Ba}(\text{OH})_2$). Na ocorrência de um precipitado (ppt) branco que escurece rapidamente, confirma-se a presença de sulfato.



Conforme decreto da República Portuguesa 407/71, define-se como 3,5% o teor máximo em relação à massa de cimento.

A norma ISO 9225 apresenta as recomendações par elaboração do ensaio de deposição de anidrido sulfuroso (SO_2).

2.3.6. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR

Ensaio regulamentado conforme NBR 9779.

Existe a recomendação de concreto com absorção capilar $S < 3 \text{ mm/h}$ ($5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) para ambientes agressivos com cobertura de armadura de até 30 mm.

2.3.7. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

Ensaio regulamentado conforme ABNT-NBR 9778. Os parâmetros para análise do concreto com caracterização de sua qualidade são:

- Até 10%: Indica um concreto de boa qualidade e compacidade;
- De 10% a 15%: Indica um concreto de qualidade moderada;
- Acima de 15%: Indica um concreto de baixa durabilidade.

2.3.8. ENSAIOS DE POTENCIAL DE CORROSÃO

O ensaio aponta a suscetibilidade da armadura à corrosão. Indiretamente define-se o estado de passivação da armadura pela diferença de potencial entre o eletrodo do sistema armadura versus concreto.

A prescrição para elaboração do ensaio é dada pela norma ASTM C-876 – Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete.

2.4. GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA (GUT)

É um método desenvolvido com base nos Manuais de Treinamento de Inspetores de Pontes da FHWA – NHI e na especificação técnica para Controle das Condições Estruturais, Funcionais e de Durabilidade de Obras e Artes Especiais ET-00.000.000.0-C21/002, desenvolvida pela Comissão de Concessões Rodoviárias da Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo.

O método foi desenvolvido e aplicado na Ponte Rio-Niterói, e teve seu reconhecimento a medida que o planejamento e manutenção civil desta ponte pela concessionária CCR é referência mundial em obras de arte especiais em concreto armado e protendido.

O princípio da atribuição de notas às anomalias é um parâmetro inicial elaborado por profissionais capacitados e com experiência neste tipo de estrutura. As notas diretamente definirão a priorização das recuperações levando em consideração a segurança estrutural e durabilidade da estrutura, sem esquecer da otimização de custos.

As condições definidas no método podem assim ser parametrizadas:

2.4.1. GRAVIDADE

Também definida como Grau de Severidade, diz respeito ao nível de agressão à estrutura pelo meio. Influencia diretamente o tempo restante para intervir no problema de modo que o mesmo não comprometa a utilização da estrutura.

Grau de Severidade			Prazo para intervenção	
Leve	▶	1	▶	Longo prazo
Moderado	▶	2	▶	Longo prazo
Grave	▶	3	▶	Médio prazo
Muito Grave	▶	4	▶	Curto prazo
Crítico	▶	5	▶	Emergencial

Tabela 1- GUT – Grau de Severidade.

2.4.2. URGÊNCIA

Definida pela real necessidade de intervenção imediata, caracterizada quando uma intervenção retardada pode gerar riscos inaceitáveis.

Grau de Urgência		Prazo para intervenção
1	▶	Não há pressa
2	▶	Pode esperar
3	▶	O mais cedo possível
4	▶	Alguma urgência
5	▶	Necessária e imediata

Tabela 2- GUT – Grau de Urgência.

2.4.3. TENDÊNCIA

Definida pela característica do problema em se propagar ou se agravar na estrutura. O custo financeiro é levado em consideração uma vez que a recuperação apresenta despesas que aumentam de uma forma não linear.

Grau de tendência		Prazo para intervenção
1	▶	Se mantém
2	▶	Piora a médio prazo
3	▶	Deterioração a médio prazo
4	▶	Deterioração em pouco tempo
5	▶	Deterioração rápida

Tabela 3- GUT – Grau de Tendência.

2.4.4. DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO GUT

Ao multiplicarem-se os três parâmetros de gravidade, urgência e tendência entre si, obtêm-se um valor absoluto, numérico, que exprime a priorização que se dará para um determinado problema apontado na estrutura.

Partindo-se do pressuposto que todas as intervenções serão efetuadas, e que para isso há o recurso disponível compatível com cada ação, tem-se que as intervenções deverão ocorrer com base no seguinte parâmetro GUT:

GRAU		Critério para intervenção		Parâmetro GUT
Leve	▶	Acompanhamento	▶	$1 < \text{GUT} < 7$
Moderado	▶	Intervenção em até 1 ano	▶	$8 < \text{GUT} < 26$
Grave	▶	Intervenção em até 6 meses	▶	$27 < \text{GUT} < 63$
Muito Grave	▶	Intervenção em até 2 meses	▶	$62 < \text{GUT} < 124$
Crítico	▶	Intervenção imediata	▶	$\text{GUT} > 124$

Tabela 4- GUT – Critérios para Intervenção.

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo fez-se a aplicação dos conceitos teóricos anteriormente estudados. O intuito na análise do Pontilhão P-M4 é avaliar sua condição atual frente às manifestações patológicas que provocaram sua interdição.

3.1. LEVANTAMENTO CADASTRAL

A coleta de dados referente à estrutura analisada antecedeu a vistoria “in loco” permitindo uma interpretação mais fiel dos indícios do comprometimento do pontilhão após o período de sua utilização.

Esta coleta de dados foi minuciosa, com busca de planta de fôrma e armadura, detalhamentos construtivos das fundações, encontros, tabuleiro, e até projetos “as built”, denominação dada antigamente aos projetos conforme a estrutura foi construída.

O arquivamento dos projetos executivos dos pontilhões é feito em meio digital, conforme software específico, no setor de engenharia da empresa. As informações podem ser acessadas e impressas conforme a conveniência.

A leitura dos projetos originais conjugada com a inspeção do pontilhão permite traçar uma análise histórico-científica dos acontecimentos que levaram a estrutura a apresentar o estado de manifestações patológicas atual.

A documentação encontrada na Refinaria Presidente Getúlio Vargas, em Araucária – PR, referente ao pontilhão P-M4, permitiu-nos caracterizá-lo da seguinte forma:

- Classe para a qual foi projetado: 36 (veículo-tipo de 36t), conforme antiga norma NB-6:1960, vigente até 1984;
- Data da elaboração do projeto: Março de 1974;
- Projetista: SEEBLA Engenharia de Projetos;
- Período de construção: Março a Julho de 1974;

- Executante: Emílio Baumgart Ltda;
- Os documentos (anexos) que levaram a esta interpretação foram:
 - Formas e armadura das fundações em estacas;
 - Forma e armadura dos pórticos pré-fabricados;
 - Forma e armadura das placas pré-fabricadas;
 - Detalhes das vigas pré-moldadas;

A superestrutura é composta por pórticos pré-fabricados dispostos a cada três metros um do outro, com seções robustas e constantes ao longo do pontilhão.

Em sua seção transversal (figura abaixo) pode-se identificar o pórtico transversal na estrutura, que totaliza dezenove unidades, pórticos estes que eqüidistantes perfazem um total de sessenta metros sobre a tubovia na planta industrial.

A concepção estrutural dispensa a utilização de transversinas de apoio ou intermediárias, isto devido a proximidade dos apoios (pórticos) para as placas.

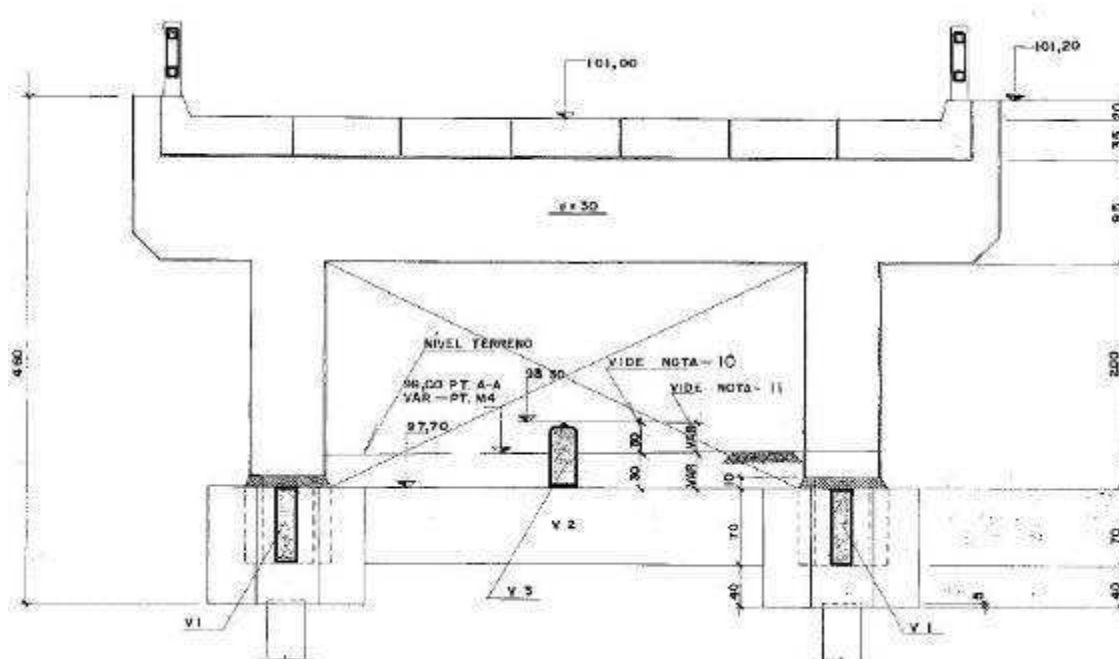


Figura 16 – Seção tipo do pontilhão P-M4

Assim, os vãos da estrutura podem ser numerados de um a vinte, e com comprimento constante de três metros.

A largura total do tabuleiro, como também pode ser identificada na figura acima, é de sete metros, incluindo o guarda-rodas e guarda-corpo.

O pontilhão foi concebido e executado em concreto armado, com concreto de resistência característica (F_{ck}) igual a 135 kg/cm^2 para as fundações, e 150 kg/cm^2 para as demais estruturas, além de aço CA-50 e CA-60. O cobrimento da armadura foi constante e igual a dois centímetros.

A inexistência de aparelhos de apoio, com as placas apoiadas diretamente nos pórticos, pode ser justificada pela baixa flexão apresentada das placas quando em trabalho, e conseqüente baixa rotação nos apoios.

3.2. MAPEAMENTO DA ESTRUTURA

Na realização da vistoria cadastral, observou-se a existência de manifestações patológicas na estrutura, portanto abaixo serão demonstradas as principais ocorrências, assim como os critérios adotados para organizá-las e mapeá-las.

O P-M4 foi dividido por eixos, estes chamados de eixos "PÓRTICO 1 ao PÓRTICO 19". Esta nomenclatura é a mesma existente no projeto de formas da estrutura. Para efeito de organização e mapeamento dos dados deste trabalho, a estrutura será dividida conforme abaixo:

Superestrutura:

É formada pela disposição de placas de laje instaladas entre os pórticos da estrutura. Consideram-se as linhas de placas entre todos os eixos da estrutura, nomeando-as pelo número do pórtico correspondente ao eixo subsequente, pelo tipo e também por uma seqüência numérica, sempre se iniciando com a orientação do Sul para Norte. Exemplo: Eixo – Pórtico 1 – Placa C1, corresponde a primeira placa tipo C do pórtico 1.

Mesoestrutura:

Corresponde aos pórticos que conduzem as cargas recebidas da superestrutura até as fundações. Serão denominados conforme o eixo que

referencia o pórtico. Os pilares também receberão a indicação de Sul ou Norte, isso conforme a localização no sistema de coordenadas existente. Exemplo: Pórtico 1 – Viga 1, corresponde a viga do pórtico numero 1.

Infra-estrutura:

Como não foram evidenciadas manifestações patológicas significativas (recalques) nas estruturas de fundação e recalques, estas foram vistoriadas somente até a elevação do solo, não havendo vistorias especiais para investigação da fundação.

A estrutura de fundação é constituída de três vigas de baldrame, V1, V2 e V3. Estas serão identificadas referenciando-se o eixo do pórtico na qual se encontra. A viga V1 receberá a indicação adicional de Sul ou Norte conforme sistema de coordenadas.

Para os blocos de fundação e as estacas a identificação se dará conforme a mesma nomenclatura existente no projeto de forma da estrutura.

Encontros:

Os encontros entre o pontilhão e o pavimento de acesso serão identificados como Parede 1 e Parede 2, isso conforme o desenho de forma da estrutura.

3.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para facilitar a identificação de cada elemento estrutural apontado no ANEXO 2 (tabela resumo), consta como ANEXO 1 o desenho indicando todas as partes da estrutura do pontilhão P-M4.

A tabela que consta como ANEXO 2 possui as indicações das principais manifestações patológicas existentes na estruturas, relacionando as fotos que confirmam estes apontamentos em cada elemento estrutural que compõe a infra, meso e super-estrutura, além dos encontros do pontilhão.

3.4. ENSAIOS LABORATORIAIS REALIZADOS

Com base na inspeção realizada, definiram-se os pontos ideais para coleta de amostras para ensaios laboratoriais, bem como realização de ensaios *“in loco”*.

Tais ensaios estão devidamente relacionados na tabela no ANEXO 2, inclusive com os resultados obtidos.

Os ensaios propostos e realizados foram:

3.4.1. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Foi utilizado esclerômetro de reflexão do tipo Schmidt para realizar o ensaio de avaliação da resistência superficial do concreto, seguindo os procedimentos da ABNT-NBR-07584.

Vale destacar que a esclerometria não fornece resultados precisos, em virtude de examinar somente a dureza superficial do concreto e estar sujeita a uma série de imprecisões causadas por carbonatação, irregularidades na superfície, ângulo de inclinação do aparelho, umidade na peça, etc.

Para calibrar o ensaio de esclerometria, utilizou-se do parâmetro obtido nos ensaios de compressão dos testemunhos extraídos da estrutura.

Realizaram-se 30 ensaios, com distribuição sobre a estrutura (placa, fundação, pilar e viga) conforme indicado na tabelas resumo abaixo.

Elemento	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Ângulo	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Peça										
Pavimento	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ponto	Índice Esclerométrico									
1	40	50	38	42	48	44	42	36	48	44
2	46	52	42	50	44	42	44	34	42	42
3	42	54	44	48	42	42	48	31	44	38
4	38	54	38	50	46	40	44	36	40	48
5	34	44	40	54	44	38	44	36	38	48
6	40	48	40	40	44	44	40	41	46	44
7	36	52	40	54	50	46	42	36	36	40
8	40	50	44	46	50	38	48	31	42	44
9	36	48	40	46	46	40	44	41	41	40
10	38	48	48	40	42	38	44	41	43	44
11	40	44	40	40	44	40	42	40	48	45
12	40	52	40	44	48	42	40	41	46	46
13	40	54	40	48	50	44	40	42	48	48
14	40	56	40	40	42	42	38	38/	42	41
15	40	50	48	48	46	40	44	38	40	40
16	38	54	40	52	48	40	44	41	48	44
1a. Soma	628	810	662	742	688	660	688	565	692	696
1a. Média	39,25	50,63	41,38	46,38	45,87	41,25	43,00	37,67	43,25	43,50
- 10 %	35,33	45,56	37,24	41,74	41,28	37,13	38,70	33,90	38,93	39,15
+ 10 %	43,18	55,69	45,51	51,01	50,45	45,38	47,30	41,43	47,58	47,85
2a. Soma	548	666	566	422	688	614	554	461	426	514
2a. Média	39,14	51,23	40,43	46,89	45,87	40,93	42,62	38,42	42,60	42,83
Média Corrig.	40,17	52,58	41,49	48,12	47,07	42,01	43,74	39,43	43,72	43,96
Resist. (MPa)	31,2	48,0	33,0	42,0	40,6	33,7	36,0	30,2	36,0	36,3
Resist.* (MPa)	20,4	31,4	23,8	27,4	26,5	22,0	23,5	19,8	23,5	23,7

* Corrigida pela extração

Valores em vermelho são os obtidos através do rompimento dos testemunhos.

Tabela 5- Índices esclerométricos e resistências do concreto dos pontos de 91 a 100 (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 13)

3.4.2. EXTRAÇÃO E ENSAIO DE TESTEMUNHOS

Seguindo as recomendações das normas ABNT-NBR-07680 – Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunho de concreto, e ABNT-NBR-05739 – Concreto – Ensaio de compressão em corpo de prova cilíndrico, realizou-se um ensaio em cada tipo de elemento estrutural (pilares e vigas).

De modo a garantir que o testemunho extraído não comprometesse a armadura das peças analisadas, utilizou-se de aparelho detector de metais para definir ponto adequado de coleta de amostra. Após a extração dos testemunhos procedeu-se a recuperação do furo realizado pelo equipamento com preenchimento manual em concreto de traço adequado.

Na tabela 6 abaixo são indicados os resultados da análise dos testemunhos extraídos e rompidos.

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE OBRA	LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO NO PONTILHÃO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO [MPA]
94.001	PILAR DO PÓRTICO 2	23,8
94.002	VIGA DO PÓRTICO 18	25,8
94.003	VIGA DO PÓRTICO 4	26,5

Tabela 6 – Valores da resistência dos testemunhos (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 15)

3.4.3. EXTENSÃO DE CARBONATAÇÃO

Lançando mão de indicador químico do tipo fenolftaleína, executou-se a verificação da profundidade de carbonatação do concreto sobre os testemunhos extraídos e em amostras removidas da estrutura.

Realizaram-se 6 ensaios, sendo dois para cada tipo de peça estrutural (pilares e vigas).

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE OBRA	LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO NO PONTILHÃO	PROFUNDIDADE DE CARBONAÇÃO [MM]
94.001	PILAR DO PÓRTICO 2	35
94.002	VIGA DO PÓRTICO 18	30
94.003	VIGA DO PÓRTICO 4	8
94.004	VIGA DO PÓRTICO 13	22
94.005	PILAR DO PÓRTICO 20	28

Tabela 7– Valores da profundidade de carbonatação (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 16)

3.4.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS

Em mesma quantidade e posições do ensaio anterior, obteve-se o parâmetro comparativo do teor de íons cloro admitido na massa de cimento com o teor efetivamente encontrado.

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE OBRA	LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO NO PONTILHÃO	TEOR DE CL ⁻ EM RELAÇÃO A MASSA DE CIMENTO (%)
94.001	PILAR DO PÓRTICO 2	2,0
94.002	VIGA DO PÓRTICO 18	2,1
94.004	VIGA DO PÓRTICO 13	2,5
94.005	PILAR DO PÓRTICO 20	2,6
MÉDIA		2,3

Tabela 8– Teor de cloretos dos testemunhos (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 19)

Obtém-se em média um teor de cloretos em relação a massa de cimento de 2,30%, que é muito superior ao preconizado pela NBR-12655 (2006), ou seja, o concreto está altamente impregnado pelos íons cloretos.

3.4.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SULFATOS

Em mesma quantidade e posições do ensaio anterior, obteve-se o parâmetro comparativo do teor de sulfato admitido na massa de cimento com o teor efetivamente encontrado.

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE OBRA	LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO NO PONTILHÃO	TEOR DE SO ₃ EM RELAÇÃO A MASSA DE CIMENTO (%)
94.001	PILAR DO PÓRTICO 2	5,9
94.002	VIGA DO PÓRTICO 18	4,1
94.004	VIGA DO PÓRTICO 13	4,2
94.005	PILAR DO PÓRTICO 20	4,5
MÉDIA		4,68

Tabela 9– Teores de sulfato no concreto (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 20)

Observa-se que a média dos valores encontrados 4,68% está abaixo do limite máximo admissível de 5% que é o recomendado por Figueiredo e O'Reilly (2003), mas que, um ponto teve valor acima deste limite.

3.4.6. DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL DE CORROSÃO

Norteadado pela designação ASTM C-876 - Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, determinou-se o estado de passivação das armaduras pela diferença de potencia entre eletrodo do sistema armadura vs. Concreto.

Realizaram-se 3 ensaios, sendo um em cada tipo de peça estrutural (pilares e vigas).

3.4.7. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR

Com base na norma ABNT-NBR-09779 – Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade, checkou-se o parâmetro normativo que define uma absorção capilar máxima para armadura com cobertura inferior a 30 mm, caso em que se enquadra a estrutura.

Realizaram-se 3 ensaios, sendo uma para cada elemento estrutural. O ensaio, sempre que possível, foi desenvolvido em laboratório sobre o testemunho extraído.

3.4.8. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

Com base na norma ABNT-NBR-09778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica, checkou-se os parâmetros que definem a qualidade de um concreto.

Realizaram-se 3 ensaios, sendo uma para cada elemento estrutural. O ensaio, sempre que possível, foi desenvolvido em laboratório sobre o testemunho extraído.

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE OBRA	LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO NO PONTILHÃO	ÍNDICE DE POROSIDADE DO CONCRETO (%)
94.004	VIGA DO PÓRTICO 13	11,53
94.005	PILAR DO PÓRTICO 20	12,06
MÉDIA		11,8

Tabela 10– Índice de porosidade do concreto (RL-295-TYB-1532-4-1, pg. 22)

Obtém-se em média um índice de porosidade do concreto de 11,80%, que indica que o concreto é de qualidade moderada

3.5. FALHAS DE PROJETO E EXECUÇÃO

Uma estrutura com vida útil prolongada, além da estimativa de projeto, somente é viável com uma boa política de manutenção da mesma. Porém, em casos

onde houver falhas, seja de concepção no projeto ou falhas executivas, a estrutura está fadada a apresentar problemas em baixas idades de utilização.

Abaixo, elencam-se algumas falhas apuradas.

Falhas de projeto:

- Inexistência de impermeabilização do tabuleiro decorrente da concepção do mesmo em placas pré-moldadas que permitem a infiltração da água da chuva;
- Inexistência de laje de transição nos encontros, provocando solicitações excessivas no pavimento asfáltico na entrada e saída do pontilhão;



Figura 17 – Seção tipo do pontilhão P-M4

- Inexistência de aparelho de apoio entre as placas e os pórticos, ocasionando desgaste do concreto pela má distribuição da carga do tabuleiro sobre a mesoestrutura.



Figura 18 – Inexistência de aparelhos de apoio

Falhas de execução:

- Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de armadura nos pórticos no ato da concretagem. Com o deslocamento da armadura para uma das faces da forma, o cobrimento de 2 centímetros de projeto ficou comprometido;
- Corrosão dos perfis metálicos nas placas do tabuleiro devido a falta de proteção superficial;
- Ineficiência das juntas de dilatação existentes nas vigas moldadas “*in loco*” que correspondem aos guarda-rodas.

3.6. DIAGNÓSTICO

3.6.1. DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO POR ABRASÃO

Nos casos onde o concreto apresentou desagregação, concluiu-se que o fenômeno ocorreu pelo desgaste natural ao longo da vida útil da estrutura.



Figura 19 – Desagregação do concreto nas placas do tabuleiro

As ferramentas utilizadas para esta análise foram os ensaios de Esclerometria, Extração de Testemunho com Rompimento de Corpo de Prova (Fck 24,8 MPa) e Porosidade (11,8%). Os resultados comprovaram que o concreto apresenta características aceitáveis que o caracterizam como de boa qualidade.

Este fenômeno atingiu principalmente a face superior das placas de concreto, conforme figura acima, pontos estes que estavam submetidos ao contato direto e constante de pneus de veículos de grande porte.

3.6.2. EFLORESCÊNCIA

Onde se constataram pontos de eflorescência, concluiu-se que o fenômeno ocorreu pela carbonatação do concreto com geração de CaCO_3 em forma de cristais na superfície do concreto.

A ferramenta utilizada para esta análise foi o ensaio profundidade de carbonatação, onde a mesma estendeu-se de 22mm até 35mm.

Visível na figura a seguir, este fenômeno atingiu principalmente os pontos da estrutura onde havia percolação de água por juntas das peças pré-

moldadas. A carbonatação do concreto indica diminuição do pH do meio, com probabilidade significativa da armadura apresentar processo de corrosão.



Figura 20 – Eflorescência na face inferior do tabuleiro

3.6.3. PRESENÇA DE "FUNGOS" E UMIDADE NO CONCRETO

Apresentou-se significativamente em pontos onde havia percolação de água da chuva por juntas de contato entre as placas pré-moldadas do tabuleiro.

As ferramentas utilizadas para esta análise foram os ensaios de Porosidade (11,8%) e Absorção Capilar (média de 0,92 [g/cm²] em 72h).

A taxa de absorção capilar expressa em gramas por centímetro quadrado obtida conforme o ensaio prescrito na NBR-9779, e devidamente convertido em termos de velocidade de percolação pela associação ao índice de vazios do concreto (11,8%), indica um concreto de significativa absorção capilar ($\approx 2,1468 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$).



Figura 21 – Presença de fungos na face inferior do tabuleiro

Os resultados comprovaram que o concreto apresenta características inaceitáveis que o caracterizam como de média a baixa qualidade. A presença dos fungos não implica em agressão ao concreto, porém, indica a existência permanente de umidade no mesmo, e esta sim a longo prazo pode ocasionar danos ao concreto.

3.6.4. CORROSÃO DE ARMADURA

Foi constatada de modo geral na estrutura, sendo que em alguns pontos isolados a corrosão de armaduras principais no elemento estrutural foi mais significativa e conseqüentemente obtendo um maior impacto negativo.

As ferramentas utilizadas para esta análise foram os ensaios de Potencial de corrosão (257mV), Profundidade de Carbonatação (22mm até 35mm), Teor de Cloretos (2,30%) e Sulfatos (4,68%) na massa de cimento.

A corrosão da armadura é acentuada pela atmosfera industrial onde a estrutura se encontra. Este fenômeno se confirma pela caracterização da carbonatação do concreto de cobertura, associado à presença significativa de cloretos e sulfatos na massa de cimento, além da probabilidade de até 90% da corrosão ocorrer pela diferença de potencial existente.



Figura 22 – Pórtico com corrosão de armadura

Os produtos de corrosão resultantes são:

- Óxidos de ferro solúveis decorrentes da ação dos íons Cl^{-1} ;
- Óxidos de ferro expansivos decorrentes da ação de sulfatos;

A ação sobre a estrutura é extremamente negativa, progressiva, propiciando tensões internas indesejadas, fissuração no concreto, e em últimos casos falência do elemento estrutural.

3.6.5. DESPLACAMENTO DO CONCRETO DE COBRIMENTO

Foi constatada de modo geral na estrutura, atingindo o cobrimento de armaduras principais de flexão em vigas e lajes, armadura principal de pilares, e armaduras de cisalhamento (estribos) normalmente mais passíveis de ação por agentes externos.

As ferramentas utilizadas para esta análise foram os ensaios de Profundidade de Carbonatação (22mm até 35mm), Teor de Cloretos (2,30%) e Sulfatos (4,68%) na massa de cimento.



Figura 23 – Desplacamento de concreto de cobrimento

A corrosão da armadura é acentuada pela atmosfera industrial onde a estrutura se encontra. Este fenômeno se confirma pela caracterização da carbonatação do concreto de cobrimento, associado à presença significativa de cloretos e sulfatos na massa de cimento.

Os produtos de corrosão resultantes da ação de sulfatos são óxidos de ferro expansivos que promovem a fissuração do concreto de cobrimento, com conseqüente expulsão da camada fissurada.

O deslocamento do concreto de cobrimento gera uma total falta de proteção da armadura para com a agressividade do meio externo, o que torna a ação sobre a estrutura extremamente negativa, progressiva, propiciando perda de seção de aço, tensões de tração no concreto não previstas, fissuração no concreto, e em últimos casos falência do elemento estrutural.

3.7. PLANEJAMENTO DE INTERVENÇÕES PELO CRITÉRIO GUT

A atribuição subjetiva de notas às anomalias apresentadas pela estrutura frente às manifestações apresentadas resultou em quadro anexo com parâmetros GUT para cada elemento estrutural.

Estes parâmetros são comparados entre si, definindo a prioridade de cada intervenção frente às demais. O tempo mínimo para intervenção é definido como imediato. O tempo limite máximo para intervenção pode ser em longo prazo, desde que o grau de comprometimento seja leve, permitindo assim o simples acompanhamento da anomalia.

Os pontos em que a degradação na estrutura encontrar-se com parâmetro GUT comparativo intermediariamente na escala, o tempo de intervenção será definido através de interpolação conforme definido no método de avaliação.

Para o cálculo do parâmetro GUT, multiplicam-se os três parâmetros de gravidade, urgência e tendência entre si, obtendo-se o valor absoluto numérico para cada situação isoladamente. Exemplo: Em uma situação hipotética onde os parâmetros de gravidade, urgência e tendência foram assim definidos:

GRAVIDADE → 5 ◇ URGÊNCIA → 4 ◇ TENDÊNCIA → 5

Ao se multiplicar os três parâmetros de gravidade, urgência e tendência entre si, obtêm-se o valor absoluto numérico 100 (cem). Este valor corresponde à situação mais crítica na estrutura, exigindo uma intervenção em até 2 (dois) meses.

A tabela 5 apresenta os parâmetros ordenados decrescentemente na superestrutura, caracterizando assim os pontos mais críticos e que merecem maior atenção no que tange à velocidade exigida de intervenção.

SUPERESTRUTURA			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS			PARÂMETRO "GUT"
GRUPO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO ESTRUTURAL	
LINHA DE PLACAS EIXO - PÓRTICO 1 a 20 PLACA C1, D2, D3, D4, D5, D6 e C7 (7 PLACAS / PÓRTICO)	Corrosão da armadura em mais de 50% das Placas	Maior frequência nas bordas do tabuleiro.	48
	Desplacamento do concreto de cobrimento pela corrosão das armaduras	Maior frequência nas bordas do tabuleiro.	48
	Presença de falhas de concretagem QTDE = 3 Pontos	Pórtico 1 - Placa D3 Pórtico 8 - Placa C1 Pórtico 13 - Placa D6	48
	Eflorescência	Presente na grande maioria das placas.	27
	Desalinhamento das placas - Distribuição desuniforme das cargas do tabuleiro	Presente na grande maioria das placas.	18
	Corrosão nas cantoneiras de borda da placa	Presente em todas as placas da estrutura	4
	Desagregação do concreto por abrasão - presente em todas as placas	Principalmente nas placas D2, D3, D4, D5 e D6 em toda a estrutura.	4
	Presença de "fungos" e umidade entre as placas, percolação de água.	Presente na grande maioria das placas.	2

Quadro 1 - GUT – Escala GUT para a Superestrutura.

Da mesma forma, apresentam-se abaixo nas tabelas 6, 7 e 8 respectivamente, o resumo do parâmetro GUT para a Mesoestrutura, Infra-Estrutura e Encontros.

MESOESTRUTURA			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS			PARÂMETRO "GUT"
GRUPO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO ESTRUTURAL	
PÓRTICO 1 a 19	Corrosão da armadura principal	15% das vigas apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	100
	Deslocamento do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras (Armadura Principal)	15% das vigas apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	64
	Corrosão da armadura (estribos)	74% das vigas apresentam esta manifestação.	64
	Deslocamento e fissuração do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras	74% das vigas apresentam esta manifestação.	48
	Deslocamento e fissuração do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras	15% dos pilares apresentam esta manifestação.	48
	Corrosão da armadura (estribos)	15% dos pilares apresentam esta manifestação.	48
	Deslocamento e fissuração do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras	26% dos pilares apresentam esta manifestação.	48
	Corrosão da armadura (estribos)	26% dos pilares apresentam esta manifestação.	48
	Eflorescência	Todas as vigas apresentam esta manifestação.	27
	Eflorescência	Todos os pilares apresentam esta manifestação.	27
	Eflorescência	Todos os pilares apresentam esta manifestação.	27
	Placas apoiadas diretamente na viga, sem aparelho de apoio	Todas as Vigas	18
	Presença de "fungos" e umidade, posicionadas nos encontros das placas e vigas	Presente em todas as vigas da estrutura.	2
	Fissuras nas bordas da viga	Todas as bordas.	2

Quadro 2 - GUT – Escala GUT para a Mesoestrutura.

INFRA-ESTRUTURA			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS			PARÂMETRO "GUT"
GRUPO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO ESTRUTURAL	
PÓRTICO 1 a 19	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	27
	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	27
	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	27
	Corrosão do insert metálico	Presente em todas as vigas da estrutura.	4

Quadro 3 - GUT – Escala GUT para a Infra-Estrutura.

ENCONTROS			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS			PARÂMETRO "GUT"
GRUPO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO ESTRUTURAL	
PAREDE 1 e 2	Desplacamento e fissuração do concreto de cobrimento pela corrosão das armaduras (Estribos)	10% da área das paredes apresentam esta manifestação..	48
	Corrosão da armadura	10% da área das paredes apresentam esta manifestação..	48
	Eflorescência	Todas as paredes apresentam esta manifestação.	27
	Deformação da pavimentação de acesso ao pontilhão.	Os dois acessos ao pontilhão	27
	Placas apoiadas diretamente na parede, sem aparelho de apoio - Condição não favorável - Distribuição desuniforme das cargas do tabuleiro sobre os encontros.	Todas as Paredes da estrutura.	18
	Presença de "fungos" e umidade, posicionadas dos encontros das placas e viga e também entre as placas, percolação de água.	Todas as paredes apresentam esta manifestação.	2

Quadro 4 - GUT – Escala GUT para os Encontros.

Ao comparar os elementos estruturas, podemos apontar a maior gravidade nos problemas nos pórticos, conforme apontado no gráfico abaixo.

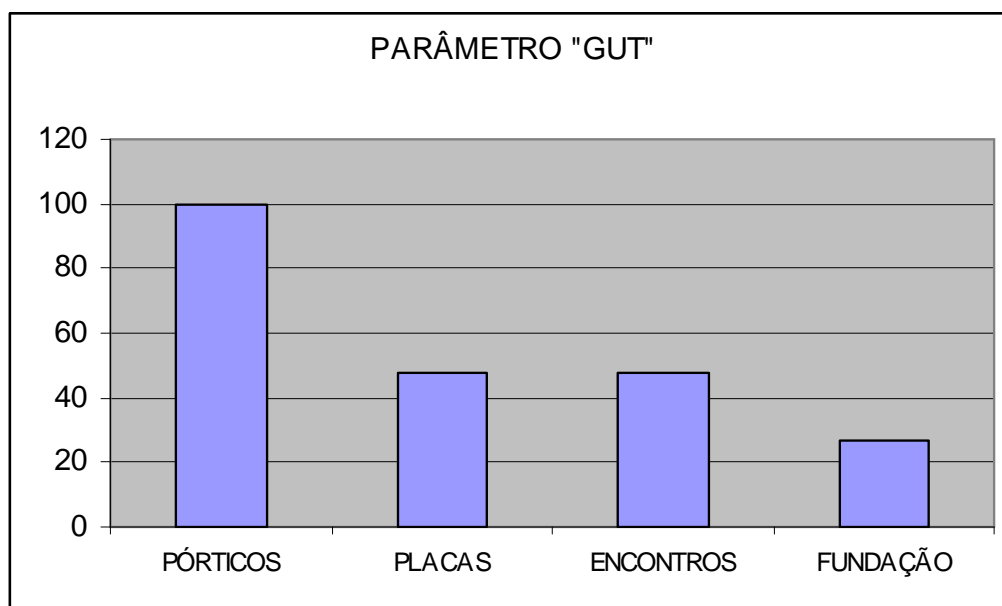


Figura 24 – Gráfico comparativo do Parâmetro GUT por elementos da estrutura.

Quando tabulado por manifestação patológica, o parâmetro GUT aponta sua maior gravidade em casos de corrosão de armadura. A corrosão de armadura por sua vez, causa indiretamente o deslocamento de concreto de cobertura.

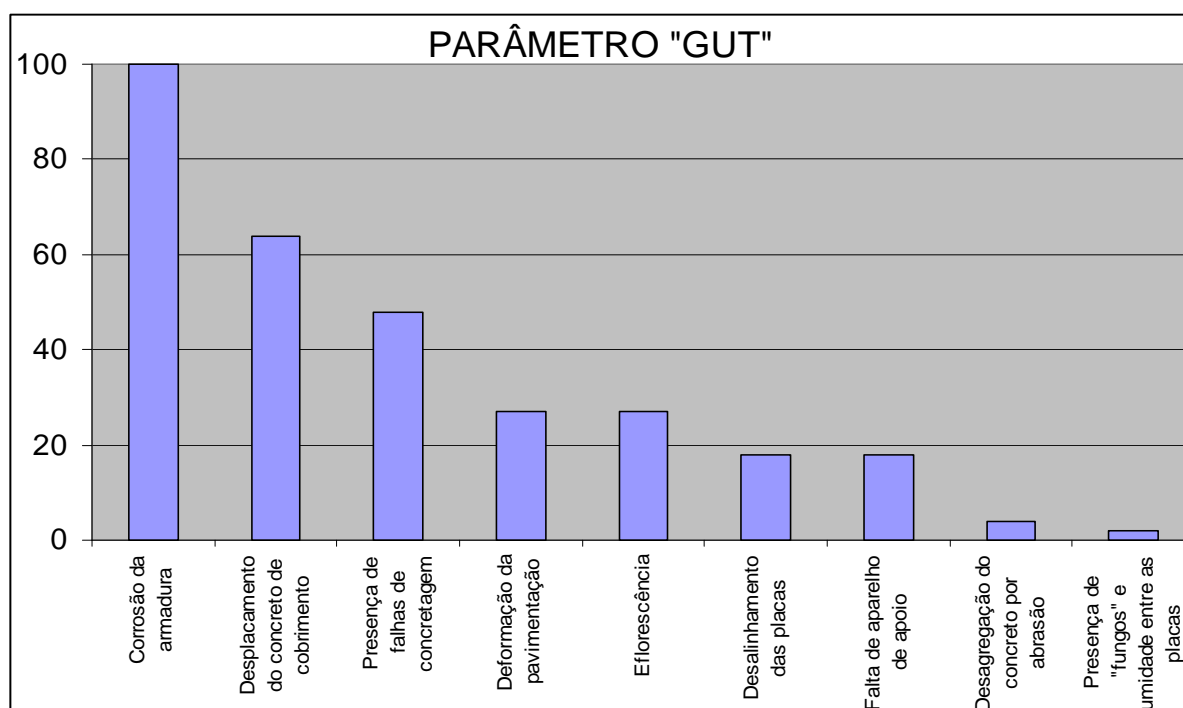


Figura 25 – Gráfico comparativo do Parâmetro GUT por manifestação patológica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

4.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos resultados de ensaios na estrutura pode-se comprovar a condição precária em que se encontra o Pontilhão P-M4, principalmente no que tange à manutenção da sua condição original. Identifica-se visivelmente corrosão de armadura, deslocamento de concreto de cobrimento e fissuras nos pórticos.

Os ensaios puderam apontar as seguintes condições da estrutura:

- ENSAIO DE ESCLEROMETRIA: A resistência característica a compressão do concreto (F_{ck}) tende a ser igual ou superior ao valor que constava em projeto;
- EXTENSÃO DE CARBONATAÇÃO: O concreto de cobrimento de armadura apresentava carbonatação até uma profundidade de 35 mm, com grande probabilidade de despassivação das armaduras;
- TEOR DE CLORETOS: Apresentava-se com índice de até 2,3 % sobre a massa de cimento, o que representa condição mais desfavorável do que o limite admissível da NBR-12655/2006
- TEOR DE SULFATOS: Apresentava-se com índice abaixo dos limites recomendados, porém muito próximo do limite admissível;
- POROSIDADE: Concreto medianamente poroso, o que o classifica como de moderada qualidade;

O diagnóstico confirmou a desagregação do concreto do tabuleiro por abrasão, eflorescência em praticamente toda a estrutura, principalmente agravada pela percolação de água pelas placas pré-moldadas, corrosão de armaduras principais e estribos, e deslocamento do concreto de cobrimento.

Quando tabulado por manifestação patológica, o parâmetro GUT aponta sua maior gravidade em casos de corrosão de armadura. A corrosão de armadura por sua vez, causa indiretamente o deslocamento de concreto de cobertura.

Como base na priorização definida no estudo de caso, deve-se tomar ação imediata e planejada para recuperar a estrutura. O tempo para recuperação total da estrutura deverá depender da disponibilidade de recursos por parte da empresa, associado com a finalidade a que se destina.

Uma intervenção na estrutura no estágio de deterioração em que se encontra é extremamente onerosa, porém, necessária. Cabe aqui constatar a viabilidade técnica e econômica de se manter um planejamento de manutenção preventiva nas estruturas civis.

Havendo uma intervenção definitiva na estrutura, permitirá à organização programar avaliações rotineiras no Pontilhão P-M4, otimizando seus recursos financeiros e garantindo a operacionalidade da planta industrial.

4.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade no estudo, recomenda-se a elaboração de um projeto de recuperação e reforço estrutural, tornando o Pontilhão P-M4 apto a receber carregamentos compatíveis com o trem tipo de 45 toneladas das normas atuais vigentes.

5. REFERENCIAS

ABNT NBR 5739/07. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos; 2007;

ABNT NBR 7680/07. Concreto – Extração, preparo e ensaios de testemunhos de concreto. 2007;

ABNT NBR 9778/05. Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, 2005;

ABNT NBR 9779/95. Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade, 1995;

ABNT NBR-7188 - Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres – 1984;

ABNT. NBR 6118/07. Projetos de estruturas de concreto – Procedimento. 2007;

ABNT. NBR 7584/95. Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. 1995;

ABNT. NBR 9452/86. Vistoria de pontes e viadutos de concreto. 1986;

ASTM C 876 - Standard Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete;

CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto. Inspeção e técnicas eletroquímicas. 1. ed., Goiânia, PINI, 1997.

CAMARINI, G. Caracterização da durabilidade do concreto pela absorção de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41, Salvador, 1999. Anais Salvador, 41 IBRACON, 1999.

CHIZZOTI, Antônio. Pesquisa em ciências humanas e sociais. 6ª Edição. São Paulo: Editora Cortez. 2003.

Especificação de Serviço DNIT 090/2006 – Patologia do concreto – Especificação de serviço – 2006;

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Bridges inspector training manual. 1995;

FRANCINETE, P. Estudo da difusão de oxigênio no concreto através da técnica eletroquímica. São Paulo, 1999. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FUSCO, Péricles Brasiliense. Estruturas de concreto. Fundamentos estatísticos da segurança das estruturas. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo, 1977.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª Edição. São Paulo: Editora Atlas. 2002.

HELENE, P.R.L. Corrosão das Armaduras em Concreto Armado 1. ed. São Paulo, PINI, 1986.

HELENE, P.R.L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HELENE, P.; MITIDIÉRI FILHO; CLÁUDIO V.; THOMAZ, E. Influência do tipo de cimento e da relação a/c na carbonatação do concreto: Estimativa da vida útil de projeto. In: REUNIÃO DO IBRACON, 37, 1995, Goiânia.

HELENE, Paulo. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo. Red Rehabilitar, editores. 2003;

MANUAL DE INSPEÇÃO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS – Ministérios dos Transportes – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER – Instituto de Pesquisas Rodoviárias – 1994

MANUAL DE PROJETO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS – Ministérios dos Transportes – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico – Divisão de Capacitação Tecnológica – 1996

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J.M. Concreto, estrutura, propriedades e matérias. 1 ed. São Paulo. Editora Pini, 1994.

MOTTI, Leandro; KAWABATA, Romeu Hiromii; GHEUR, Winston Silva. Vistoria de Pontes e Viadutos em concreto: Procedimentos Técnicos. Pos-Graduacao Lato Sensu, Patologia nas Obras Civis, da Universidade Tuiuti do Parana. 2007

NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. 2. ed. Trad. de Salvador E. Giammusso, São Paulo, PINI, 1997.

NORMA DNIT 010/2004 – PRO - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento;

PFEIL, Walter. Conceitos Gerais. Pontes – Curso Básico – Projeto, Construção e Manutenção. Rio de Janeiro. Campus. 1983.

RADOMSKI, W. Bridge rehabilitation. Imperial College Press, 2002.

RAINA, V.K. Concrete bridges. United States: Tata MacGraw-Hill Publishing Company, 1996.

REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas. RL-295-TYB-1532-4-001 - Relatório Técnico de Manifestações Patológicas no Pontilhão P-M4. Araucária – PR, 2008.

NOTAS DE AULA. SIQUEIRA, Carlos Henrique. GUT – Gravidade, Urgência, Tendência – Caso da Ponte Rio - Niterói - Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto. Pós-graduação Patologia nas Obras Civis. UTP. Curitiba. 2008.

SCHIESSL, P. Durabilidade de las estructuras de hormigón. Cemento Hormigón, 1987.

SLOWIK, Q; KAPPAHN, K. Determinação dos dados geométricos e propriedades dos materiais. Boletim Informativo CEB Nº 239, 1997.

SOUZA, V.C.M. de; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª Edição. São Paulo. Editora Pini, 1998.

TONIAS. D.E. Bridge engineering: design, rehabilitation, and maintenance of modern highway bridges. United States : Mcgraw –Hill, inc, 1995.

UCHIKAWA, H. Effect of blending components on hydration and structure formation. In: Congresso Internacional de Química do Cimento, 8., Rio de Janeiro, 1986. Anais. Rio de Janeiro.

RELATÓRIO DE VISTORIA:

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA:	PONTILHÃO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON
PERÍODO DE CONSTRUÇÃO:	Março a Julho de 1974
PROJETISTA:	SEEBLA Engenharia de Projetos
CONSTRUTORA:	Emílio Baumgart Ltda

LISTA DE DOCUMENTOS:

√ **Formas e armadura das fundações em estacas;**

DE-290-EB- 1532-X- 7- 00040 (LOCAÇÃO DE ESTACAS)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00037 (ARMAÇÃO - FUNDAÇÃO EM ESTACAS)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00041 (FORMA - FUNDAÇÃO EM TUBULÕES)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00050 (ARMAÇÃO - 1ª PARTE - FUNDAÇÃO EM TUBULÕES)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00051 (ARMAÇÃO - 2ª PARTE - FUNDAÇÃO EM TUBULÕES)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00054 (ARMAÇÃO DA FUNDAÇÃO - VIGAS)

√ **Forma e armadura dos pórticos pré-fabricados;**

DE-290-EB- 1532-X- 7- 00033 (FORMA - PÓRTICOS E ENCONTROS)
 DE-290-EB- 1532-X- 7- 00058 (FORMA - VIGAS E ENCONTROS)

√ **Detalhes das vigas pré-moldadas;**

DE-290-EB- 1532-X- 7- 00077 (FORMA - VIGAS PRÉ-MOLDADAS)

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO			
VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		
OBRA:	PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS		
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON		

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA		
RESULTADO	ESTADO	INTERVENÇÃO
100	MUITO GRAVE	INTERVENÇÃO EM ATÉ 2 MESES

RELATORIO DE VISTORIA:					ENSAIOS LABORATORIAIS		FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO	MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS					ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS				GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO
GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO									

SUPERESTRUTURA													
LINHA DE PLACAS EIXO - PÓRTICO 1 a 20 PLACA C1, D2, D3, D4, D5, D6 e C7 (7 PLACAS / PÓRTICO)	Corrosão nas cantoneiras de borda da placa	Presente em todas as placas da estrutura	Contorno das Placas	1	-	-	Falta de proteção superficial.	Corrosão dos perfis metálicos ocasionado pela Atmosfera Industrial	Formação de produtos de corrosão.	MODERADO - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	4
	Desagregação do concreto por abrasão - presente em todas as placas	Principalmente nas placas D2, D3, D4, D5 e D6 em toda a estrutura.	Face Superior	2	Esclerometria, Extração de Testemunho com Rompimento de Corpo de Prova e Porosidade.	Esclerometria + Est. Testemunho = Fck 24,8 Mpa / Porosidade = 11,8%	-	Concreto apresentou-se de qualidade boa a moderada, confirmando que o desgaste superficial é decorrente da utilização ao longo da vida útil da estrutura	Desagregação da pasta de cimento por abrasão	MODERADO - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	4
	Desalinhamento das placas - Condição não favorável - Distribuição desuniforme das cargas do Eflorescência	Presente na grande maioria das placas.	-	1	-	-	Concepção inapropriada do tabuleiro.	Deslocamento das placas com a utilização da estrutura, falta de aparelho de apoio.	Provoca choques entre os elementos estruturais ocasionando lascamentos ou rupturas	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	PIORA A LONGO PRAZO	18
	Presença de "fungos" e umidade entre as placas, percolação de água.	Presente na grande maioria das placas.	Face Inferior	3	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	Água infiltrada entre as placas da laje - inexistência do sistema de drenagem	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	Formação de manchas brancas - Diminuição do pH do concreto - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
	Corrosão da armadura QTDE = Superior a 50% das Placas	Presente nas placas de concreto, sendo a que os pontos de maior frequência foi observado nas bordas do tabuleiro.	Face Inferior	3	Porosidade e Absorção Capilar	Porosidade média de 11,8% Absorção Capilar média de 0,92 [g/cm ²] em 72h	Água infiltrada entre as placas da laje - inexistência do sistema de drenagem	Superfície do concreto com grande umidade em função da percolação da água pelas juntas entre as placas.	A presença dos fungos não implica em agressão ao concreto, porém, indica a existência permanente de umidade no mesmo, esta sim pode ocasionar danos ao concreto.	LEVE - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	2
	Deslocamento do concreto de cobrimento pela corrosão das armaduras	Presente nas placas de concreto, sendo a que os pontos de maior frequência foi observado nas bordas do tabuleiro.	Face Inferior	4	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento - Possibilidade de falência do elemento estrutural.	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48
	Presença de falhas de concretagem QTDE = 3 Pontos	Pórtico 1 - Placa D3 Pórtico 8 - Placa C1 Pórtico 13 - Placa D6	Face inferior	5	-	-	Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de projeto - Cobrimento definido pela antiga NB-1 comprovadamente insuficiente	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48
						Falhas de concretagem	Compactação / vibração inadequada ou agressiva.	Armaduras expostas, diminuição da resistência do elemento estrutural, aumento da extensão de carbonatação, e corrosão das armaduras	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48	

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO			
VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		
OBRA:	PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS		
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON		

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA		
RESULTADO	ESTADO	INTERVENÇÃO
100	MUITO GRAVE	INTERVENÇÃO EM ATÉ 2 MESES

RELATORIO DE VISTORIA:				
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS				
GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO

ENSAIOS LABORATORIAIS	
ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS

FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO

DIAGNÓSTICO

PROGNÓSTICO

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA			
GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO

MESOESTRUTURA													
GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS	FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO	MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA			
										GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO
VIGA	Placas apoiadas diretamente na viga, sem aparelho de apoio - Condição não favorável - Eflorescência	Todas as Vigas	Topo da viga.	6	-	-	Concepção inapropriada do tabuleiro.	Deslocamento das placas com a utilização da estrutura, falta de aparelho de apoio.	Provoca choques entre os elementos estruturais ocasionando lascamentos ou rupturas	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	PIORA A LONGO PRAZO	18
	Presença de "fungos" e umidade, posicionadas nos encontros das placas e viga e também entre as placas, percolação de água.	Presente em todas as vigas da estrutura.	Nas duas faces	7	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	Formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
	Desplacamento e fissuração do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras (Estribos)	74% das vigas apresentam esta manifestação. Exceto as vigas 4, 6, 12, 13 e 14.	Face Leste	7	Porosidade e Absorção Capilar	Porosidade média de 11,8% Absorção Capilar média de 0,92 [g/cm ²] em 72h	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Superfície do concreto com grande umidade em função da percolação da água pelas juntas entre as placas.	A presença dos fungos não implica em agressão ao concreto, porém, indica a existência permanente de umidade no mesmo, esta sim pode ocasionar danos ao concreto.	LEVE - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	2
	Desplacamento do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras (Armadura Principal)	15% das vigas apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	Fundo da Viga	8, 9	Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de projeto - Cobrimento definido pela antiga NB-1 comprovadamente insuficiente. - O pórtico é uma estrutura pré-moldada, portanto o lado que apresenta as manifestações foi o mesmo que era o fundo da forma.	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48
	Corrosão da armadura (estribos)	74% das vigas apresentam esta manifestação. Exceto as vigas 4, 6, 12, 13 e 14.	Face Leste	9, 10	Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	MUITO GRAVE - CURTO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	64
	Corrosão da armadura principal	15% das vigas apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	Fundo da Viga	8, 9	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento - Possibilidade de falência do elemento estrutural.	MUITO GRAVE - CURTO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	64
	Corrosão da armadura principal	15% das vigas apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	Fundo da Viga	9, 10	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento - Possibilidade de falência eminente do elemento estrutural.	CRITICO - EMERGENCIAL	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO RÁPIDA	100

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO			
VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		
OBRA:	PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS		
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON		

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA		
RESULTADO	ESTADO	INTERVENÇÃO
100	MUITO GRAVE	INTERVENÇÃO EM ATÉ 2 MESES

RELATORIO DE VISTORIA:					ENSAIOS LABORATORIAIS		FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO	MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA				
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS					ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS				GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO	
GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO										
PÓRTICO 1 a 19	Fissuras nas bordas da viga (ressalto para impedir a movimentação horizontal da placa)	Todas as bordas.	Nas bordas da viga, Sul / Norte	11	-	-	Armadura não dimensionada para a movimentação horizontal das placas de laje.	Movimentação da estrutura não dimensionamento.	Fissuração do concreto, possibilidade de ataque químico na armadura.	LEVE - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	2	
	Eflorescência	Todos os pilares apresentam esta manifestação.	Face Leste	12	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	Formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27	
PILAR NORTE	Deslocamento e fissuração do concreto de cobrimento pela corrosão das armaduras (Estribos)	15% dos pilares apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	Face Leste	9, 13	Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de projeto - Cobrimento definido pela antiga NB-1 comprovadamente insuficiente. - O pórtico é uma estrutura pré-moldada, portanto o lado que apresenta as manifestações foi o mesmo que era o fundo da forma.	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48	
	Corrosão da armadura (estribos)	15% dos pilares apresentam esta manifestação. 15, 16 e 18.	Face Leste	-	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento - Possibilidade de falência do elemento estrutural.	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48	
PILAR SUL	Eflorescência	Todos os pilares apresentam esta manifestação.	Face Leste	-	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	Formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27	
	Deslocamento e fissuração do concreto de cobrimento pela corrosão das armaduras (Estribos)	26% dos pilares apresentam esta manifestação. 15, 16, 17, 18 e 19.	Face Leste	9, 13	Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de projeto - Cobrimento definido pela antiga NB-1 comprovadamente insuficiente. - O pórtico é uma estrutura pré-moldada, portanto o lado que apresenta as manifestações foi o mesmo que era o fundo da forma.	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48	
	Corrosão da armadura (estribos)	26% dos pilares apresentam esta manifestação. 15, 16, 17, 18 e 19.	Face Leste	-	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Deslocamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento - Possibilidade de falência do elemento estrutural.	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48	

INFRA-ESTRUTURA

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA:	PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA		
RESULTADO	ESTADO	INTERVENÇÃO
100	MUITO GRAVE	INTERVENÇÃO EM ATÉ 2 MESES

RELATORIO DE VISTORIA:

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO
--------------------	--------------	----------	----------------	------

ENSAIOS LABORATORIAIS

ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS
---------------	------------

FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO

FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO

DIAGNÓSTICO

DIAGNÓSTICO

PROGNÓSTICO

PROGNÓSTICO

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA

GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO
-----------	----------	-----------	-----------

PÓRTICO 1 a 19	GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO	ENSAIOS LABORATORIAIS		FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO	MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA			
						ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS				GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO
	V1	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	Face Superior	-	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	-	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
	V2	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	Face Superior	-	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	-	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
	V3	Eflorescência	Presente em todas as vigas da estrutura.	Toda Viga	-	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	-	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
		Corrosão do insert metálico	Presente em todas as vigas da estrutura.	Face Superior	-	-	-	Falta de proteção superficial.	Corrosão dos perfis metálicos ocasionado pela Atmosfera Industrial	Formação de produtos de corrosão.	MODERADO - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	4
	B1	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0
	B2	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0
	B12	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0
	B22	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0
	B100	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0
	B101	Não Vistoriados	-	-	-	-	-	-	-	-	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	0

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO			
VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		
OBRA:	PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS		
CLASSE:	TREM-TIPO 36 TON		

MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA		
RESULTADO	ESTADO	INTERVENÇÃO
100	MUITO GRAVE	INTERVENÇÃO EM ATÉ 2 MESES

RELATORIO DE VISTORIA:					ENSAIOS LABORATORIAIS		FALHAS DE PROJETO OU EXECUÇÃO	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO	MÉTODO "GUT" - GRAVIDADE / URGÊNCIA / TENDÊNCIA			
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS					ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS				GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	RESULTADO
GRUPO DE ELEMENTOS	MANIFESTAÇÃO	ELEMENTO	LOCALIZAÇÃO NO	FOTO									

ENCONTROS													
PAREDE 1 e 2	Placas apoiadas diretamente na parede, sem aparelho de apoio - Condição não favorável - Eflorescência	Todas as Paredes da estrutura.	Topo da Parede	14	-	-	Concepção inapropriada do tabuleiro.	Deslocamento das placas com a utilização da estrutura, falta de aparelho de apoio.	Provoca choques entre os elementos estruturais ocasionando lascamentos ou rupturas	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	PIORA A LONGO PRAZO	18
	Presença de "fungos" e umidade, posicionadas dos encontros das placas e viga e também entre as placas, percolação de água.	Todas as paredes apresentam esta manifestação.	Na face	15	Carbonatação	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm.	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Carbonatação do concreto com geração de CaCO ₃ em forma de eflorescência na superfície do concreto.	formação de manchas brancas - Diminuição de do pH do - Corrosão da armadura	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO	27
	Desplacamento e fissuração do concreto de cobertura pela corrosão das armaduras (Estribos)	10% da área das paredes apresentam esta manifestação..	Face Leste	15	Porosidade e Absorção Capilar	Porosidade média de 11,8% Absorção Capilar média de 0,92 [g/cm ²] em 72h	Água infiltrada do tabuleiro - inexistência do sistema de drenagem	Superfície do concreto com grande umidade em função da percolação da água pelas juntas entre as placas.	A presença dos fungos não implica em agressão ao concreto, porém, indica a existência permanente de umidade no mesmo, esta sim pode ocasionar danos ao concreto.	LEVE - LONGO PRAZO	NÃO HÁ PRESSA	PIORA A LONGO PRAZO	2
	Corrosão da armadura	10% da área das paredes apresentam esta manifestação..	Face Leste		Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	Ineficiência dos espaçadores em garantir o cobrimento de projeto - Cobrimento definido pela antiga NB-1 comprovadamente insuficiente.	Atmosfera Industrial - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48
	Deformação da pavimentação de acesso ao pontilhão.	Os dois acessos ao pontilhão	Nos acessos do pontilhão	16	Potencial de corrosão - Carbonatação - Teor de cloretos e sulfatos na massa de concreto	Potencial de corrosão 257mV - Profundidade de carbonatação estendeu-se de 22mm até 35mm. - Teor de Cloretos 2,30% / m.c. - Teor de Sulfatos de 4,68% / m.c.	-	Atmosfera Industrial - Perda de seção do aço em zonas com faixa de potencial de corrosão variando entre 10% e 90% - Concreto que envolve a armadura carbonatado - Oxidação solúvel do Fe por ação de cloretos - Desplacamento do concreto por oxidação expansiva da armadura por ação de sulfato	Aumento da taxa de dissolução do aço - Formação de produtos de corrosão - Produção de tensões internas - Fissuração do concreto - deslocamento do cobrimento.	GRAVE - MÉDIO PRAZO	ALGUMA URGÊNCIA	DETERIORIZAÇÃO EM POUCO TEMPO	48
								No projeto não possui laje de transição.	Desgaste devido ao tráfego de veículos.	Fissuração de deformação do pavimento asfáltico.	GRAVE - MÉDIO PRAZO	O MAIS CEDO POSSÍVEL	DETERIORIZAÇÃO A MÉDIO PRAZO

OBS.: Os ensaios foram realizados somente nas vigas e pilares dos pórticos do pontilhão, logo para efeito de análise foi extrapolado os mesmos resultados dos ensaios para os demais elementos estruturais.

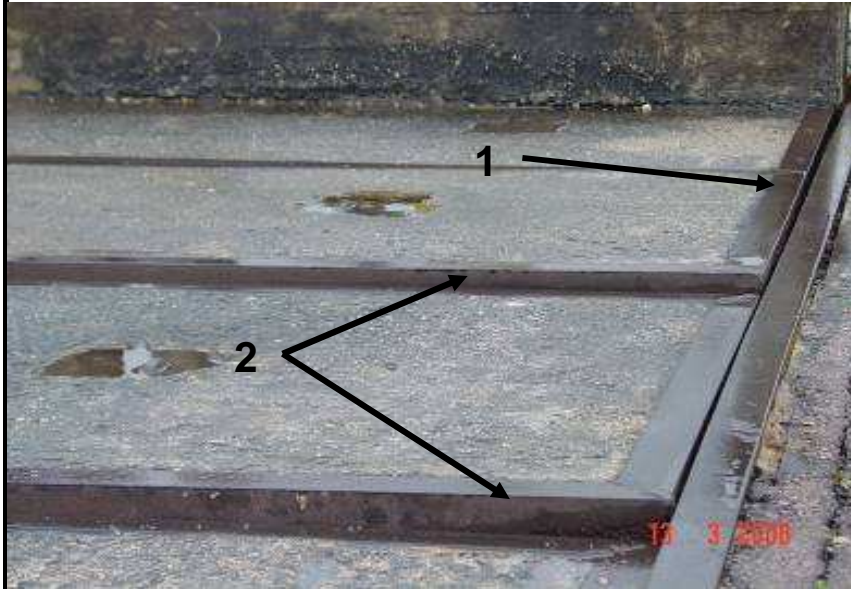
RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 01



LOCALIZAÇÃO:

Acesso ao P-4M, sobre a parede 1

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Corrosão nas cantoneiras de borda da placa;
 2 - Desalinhamento das placas

FOTO - 02



LOCALIZAÇÃO:

Vista do tabuleiro do P-4M

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Desintegração do concreto por abrasão;

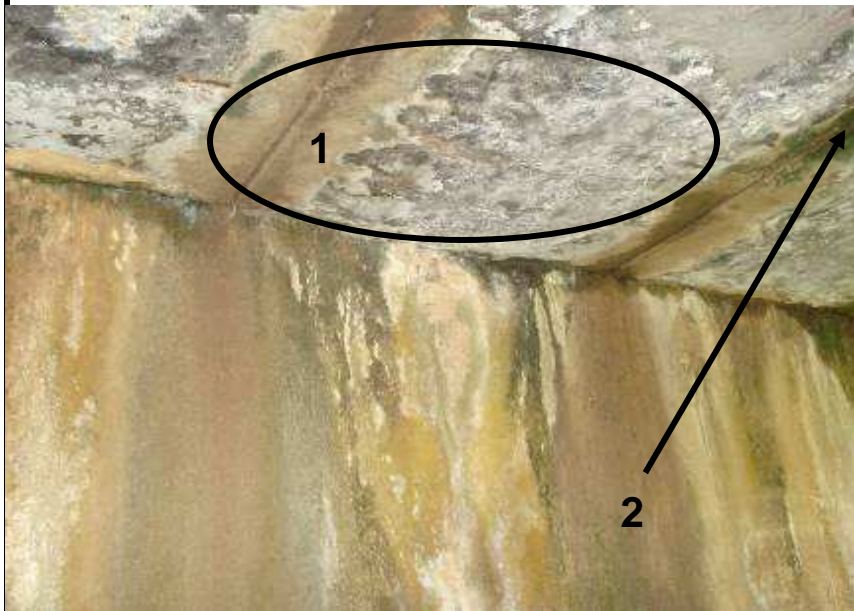
RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 03



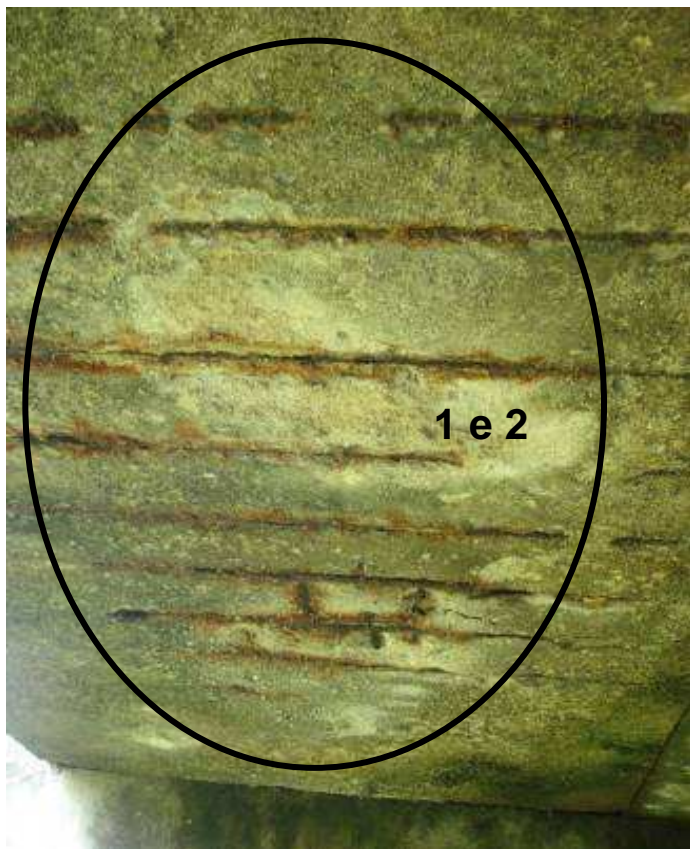
LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 2 - Placa D3, D4 e D5

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

- 1 - Efflorescência
 2 - Presença de "fungos" e umidade entre as placas

FOTO - 04



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 3 - Placa C1

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

- 1 - Corrosão da armadura
 2 - Desplacamento do concreto de cobrimento.

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 05



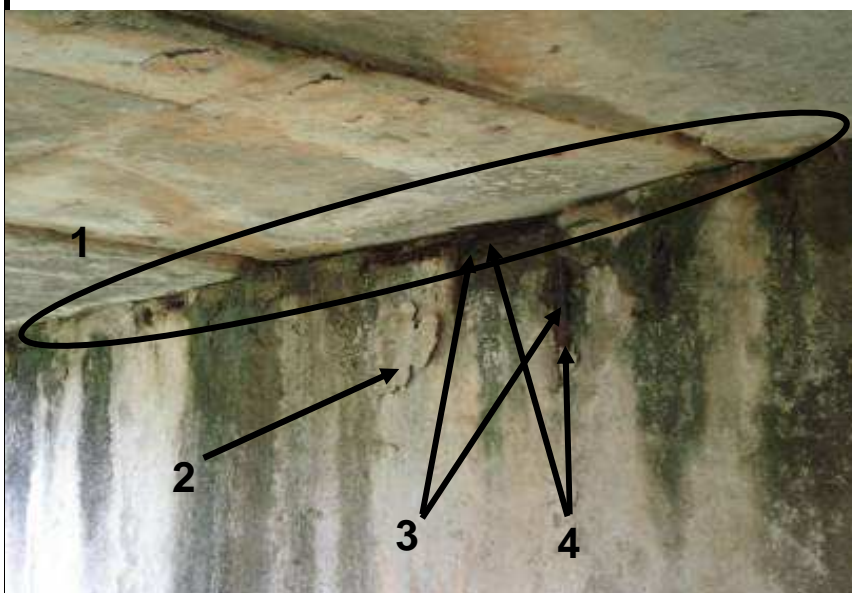
LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 1 - Placa D3

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Presença de falhas de concretagem

FOTO - 06



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 3 - Viga 3

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Placas apoiadas diretamente na viga, sem aparelho de apoio;
 2 - Lascamento do concreto;
 3 - Desplacamento do concreto;
 4 - corrosão da Armadura.

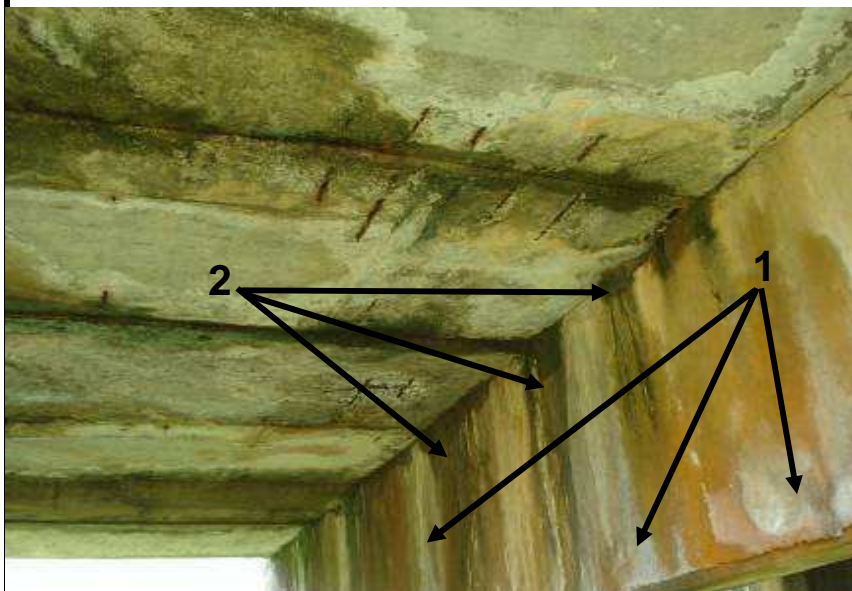
RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 07



LOCALIZAÇÃO:

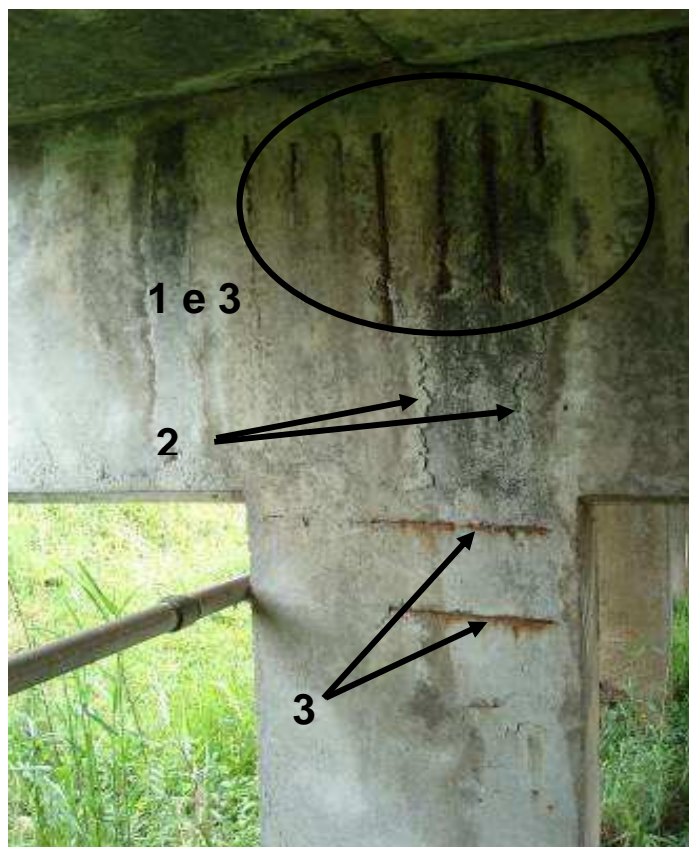
Pórtico 5 - Viga 5

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Eflorescência

2 - Presença de "fungos" e umidade entre as placas

FOTO - 08



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 9 - Viga 9 - Pilar 9 Sul

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Desplacamento do concreto de cobrimento;

2 - Fissuraçãodo concreto de cobrimento;

3 - Corrosão das Armaduras.

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 09



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 15 - Viga 15
 Pórtico 16 - Viga 16

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Deslocamento do concreto de cobrimento;
 2 - Fissuraçãodo concreto de cobrimento;
 3 - Corrosão das Armaduras.

FOTO - 10



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 18 - Viga 18

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Deslocamento do concreto de cobrimento;
 2 - Fissuraçãodo concreto de cobrimento;
 3 - Corrosão das Armaduras.

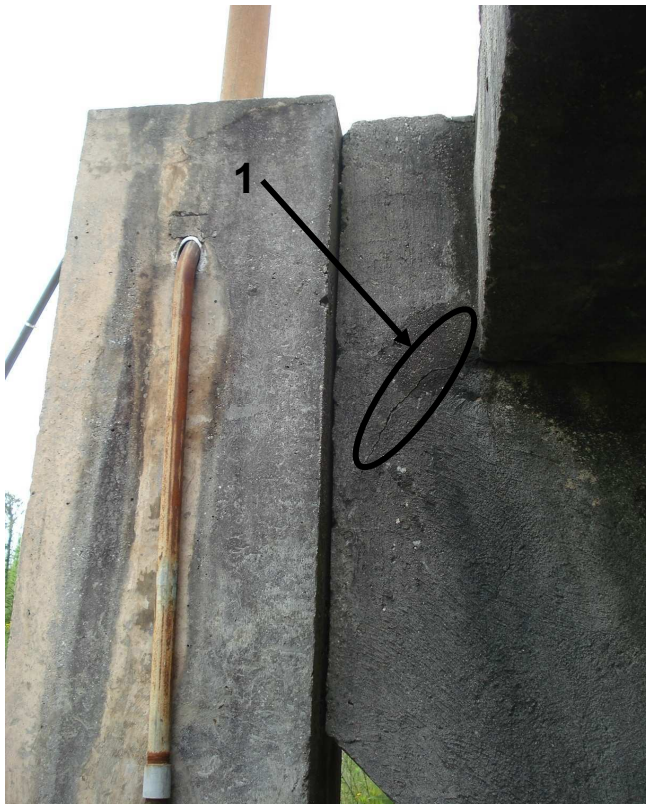
RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 11



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 2 - Viga 2 - Lado Norte

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO
PATOLÓGICA

1 - Fissura.

FOTO - 12



LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 7 - Pilar 7 Norte

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO
PATOLÓGICA

1 - Eflorescência

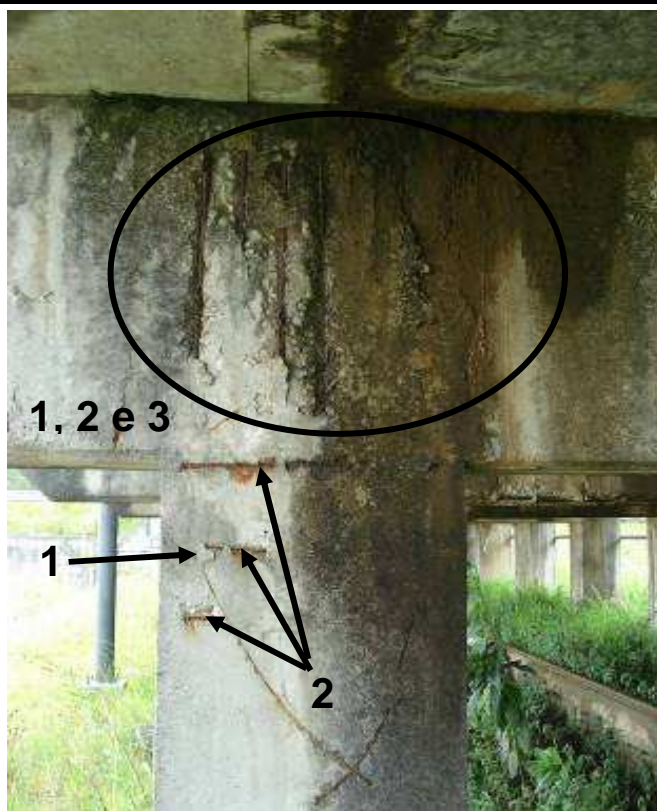
RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 13



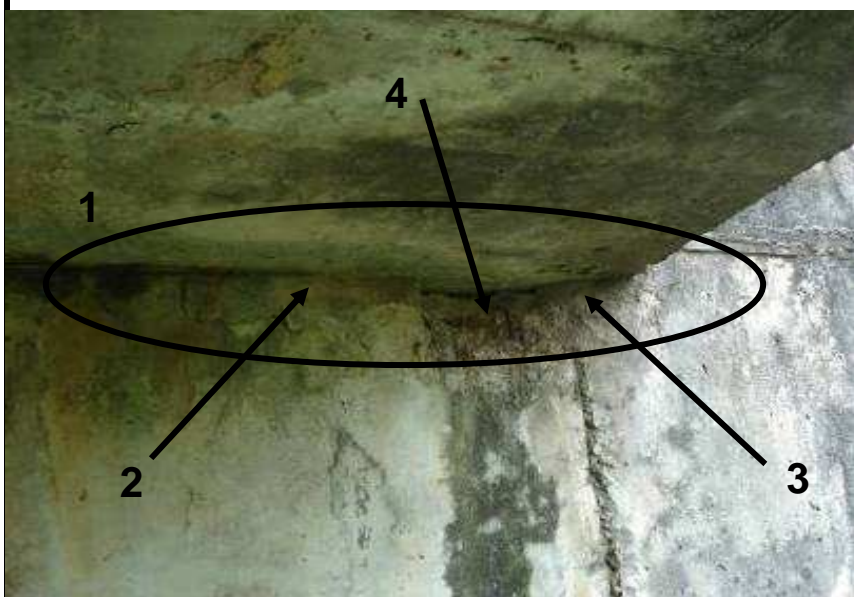
LOCALIZAÇÃO:

Pórtico 17 - Viga 17 - Pilar 17 - Sul

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Deslocamento do concreto de cobrimento;
 2 - Fissuração do concreto de cobrimento;
 3 - Corrosão das Armaduras.

FOTO - 14



LOCALIZAÇÃO:

Parede 1

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

1 - Placas apoiadas diretamente na viga, sem aparelho de apoio;
 2 - Lascamento do concreto;
 3 - Deslocamento do concreto;
 4 - corrosão da Armadura.

RELATORIO DE VISTORIA / ANALISE / DIAGNOSTICO

VISTORIA TIPO:	CADASTRAL	DATA:	9/8/2008
REALIZADO:	EDUARDO / ROGER		

OBRA: PONTILHAO P-M4 - REPAR / PETROBRAS
 CLASSE: TREM-TIPO 36 TON

RELATÓRIO DE FOTOS

FOTO - 15



LOCALIZAÇÃO:

Parede 1

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO
PATOLÓGICA

1 - Eflorescência

2 - Presença de "fungos" e
umidade entre as placas

FOTO - 16

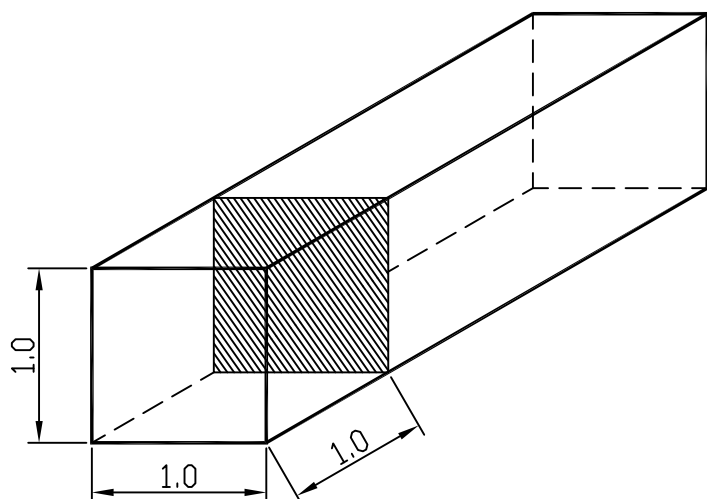


LOCALIZAÇÃO:

Acesso ao P-M4 - Parede 1

DESCRIÇÃO / MANIFESTAÇÃO
PATOLÓGICA1 - Fissuração de deformação do
pavimento asfáltico.

ANEXO 4 - CÁLCULO TAXA ABSORÇÃO CAPILAR



Ensaio de Pososidade (NBR-9778):
11,8 % de vazios

Ensaio de Absorção Capilar (NBR-9779):
1,29 g/cm² em 72 horas

72 h = 259.200 seg
1 cm³ de água = 1 g

Em 1 cm³ de concreto, existe 11,8% de vazios, permitindo a percolação de 0,118 g de água.

Assim, para que 1,29 g de água penetrem no concreto, a percolação deverá atingir 10,93 cm dentro de um corpo de prova em um período de 72 h. A taxa de absorção é expressa em centímetros de percolação pela raiz quadrada do tempo, ou seja:

Raiz quadrada $(t)^{0,5} = 509,12$

$S = 2,1468e-4 \text{ m/s}^{0,5}$

HALL (1989) desenvolveu experimentos e concluiu que a determinação da absorção ao longo de um período de tempo de observação é mais interessante do que expressar a absorção total. Ele concluiu que existe uma relação entre a taxa de absorção e a raiz quadrada do tempo:

$$i = s \cdot (t)^{0,5}$$

sendo:

i = absorção acumulada de água por unidade de área da seção transversal, em contato com a água (kg/m² ou g/cm²);

s = taxa de absorção por sucção capilar (mm/(h)^{0,5});

t = tempo medido no momento da determinação da massa (h, min ou seg).

HALL, C. Water absorption of mortars and concretes: a review. **Magazine of Concrete Research**, v. 41, n. 147, p. 51-61, 1989.

Eng. Dr. Antônio Carmona Filho

Pós-Graduação em Patologia nas Obras Civis, 2008

Módulo: Mecanismo de Degradação, Sintomatologia, Ensaios para Diagnóstico

"Para espessura de cobertura de 30 mm em ambientes severos, recomendam-se concretos com absorção capilar $S < 3 \text{ mm/(h)}^{0,5}$ ($5 \cdot 10e-5 \text{ m/(s)}^{0,5}$). Em meios menos severos pode ser até $6 \text{ mm/(h)}^{0,5}$ ($10e-4 \text{ m/(s)}^{0,5}$). Se a espessura de cobertura aumentar, a absorção capilar pode modificar-se proporcionalmente.