ANALISE DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DE PONTE EM CONCRETO ARMADO NO CENTRO HISTÓRICO DE PETRÓPOLIS ATRAVÉS DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

G. WILLIAM DA SILVA BRAGA CERNEIRO
Engenheiro Civil
GW Soluções de Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
gswe@engenhariahwse.com.br

L. CARDOSO PEREIRA CARNEIRO
Engenheiro Civil
Cardoso Reis Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
cardosoreisengenharia@gmail.com

V. REIS DE JESUS
Engenheiro Civil
Cardoso Reis Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
cardosoreisengenharia@gmail.com

L. REIS FERREIRA
Engenheiro Civil
LRF Construções
Rio de Janeiro; Brasil
leoengenharia.obras@gmail.com

W. DA SILVA PEREIRA DOS SANTOS
Estudante Engenharia Civil
Universidade Católica de Petrópolis
Rio de Janeiro; Brasil
williams.santos@ucp.br

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade a avaliação da condição estrutural da ponte situada no encontro da Rua Koeller com a Praça Rui Barbosa, sob o trecho canalizado do Rio Quitandinha, no Centro Histórico da Cidade de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro. Conhecendo a necessidade da realização de manutenção e monitoramento deste tipo de estrutura, no caso, uma ponte com tabuleiro revestido com pavimento asfáltico, sustentado este por vigas em concreto armado. Sabendo que a ponte em questão possui aproximadamente 40 anos, estando em uso constante e recebendo fluxo intenso de veículos, este artigo tem por objetivo fazer a análise das condições de segurança e conservação da mesma, através de ensaios não destrutivos in loco, como ensaio esclerométrico, possibilitando assim, determinar a uniformidade das resistências características à compressão do concreto em diversos pontos da estrutura analisada, além de fotografias, com câmera termográfica, a fim de verificar regiões de umidade e/ou infiltrações na estrutura, detecção de barras de aço existentes na mesma e outros ensaios complementares para viabilizar o estudo proposto. Após a obtenção dos dados será realizada uma análise das condições de segurança da estrutura, quanto à sua durabilidade, estabilidade, capacidade suporte, etc. Com isso, propor-se-á, dentro das condições adequadas, algumas soluções para recuperação e manutenção dos danos identificados na estrutura, além da elaboração de um Calendário de Inspeção Municipal para as pontes da cidade de Petrópolis
Palavras-chave: Análise, Ensaios, Inspeção, Concreto Armado.

ABSTRACT

This work has an evaluation of the structure of the door located in the Koeller Street building with a Rui Barbosa Square, under the canalized section of the Quitandinha River, in the Historical Center of the City of Petrópolis in the State of Rio de Janeiro. Advice on maintaining maintenance and monitoring the type of structure, in this case, a bridge with the board covered with asphalt pavement, supported by beams in reinforced concrete. We know that the date is approximately 40 years, we are constantly using the same surveillance routine, and there is an article on how to do the safety and maintenance analyzes in the same way, through non-destructive tests in loco, like sclerometric test, making possible thus, the uniformity of the

characteristic resistances to the compression of the space in evaluation points, besides to see images with thermographic camera, in order to verify the regions of humidity and / or infiltrations in the structure, the detection of steel bars in the same and others complementary tests to enable the proposed study. After the delivery of the data an analysis of the security structures will be made, as to their duration, stability, support capacity, etc. In addition, the preparation of reports of Municipal Inspection for the bridges of the city of Petrópolis.
Keyword: Analysis, Testing, Inspection, Reinforced concrete.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção em estruturas consiste na análise técnica de fato, condição ou direito relativo a esta, tendo como objetivo indicar uma possivel manutenção, reparo ou reforço desta, garantindo seu desempenho e vida util. É do conhecimento de todos os estudiosos do tema que mesmo com um bom projeto e uma boa execução de uma obra de arte especial, esta não alcançará sua adequada durabilidade e/ou desempenho, caso não seja feita uma manutenção periodica e de qualidade. Sendo assim, este trabalho propoem uma avaliação da estrutura da obra de arte especial, em questão, que após muitos anos de uso não recebeu nenhuma vistoria, manutenção estrutural ou ensaios, para a avaliação da sua condição de estabilidade.
O objetivo deste artigo é avaliar o resultado dos ensaios não destrutivos, como a avaliação da dureza superficial do concreto, atraves de ensaios esclerometricos, do potencial de corrosão, da alcalinidade do concreto e fotos com camera termográficas, além das inspeções visuais realizadas na estrutura, pelos autores, demonstrando a condição de estabilidade, a consequencia da ausencia de manutenção periodica e da realização de procedimentos danosos a esta, por conta da ausencia de uma politica pública de manutenção e inspeção das estruturas do município.

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Pontes são construções com objetivo de transpor obstáculos líquidos como rios, vales ou outros obstáculos naturais para estabelecer a continuidade de uma via qualquer, seja ferroviária, rodoviária ou de passagem de pedestres. A estrutura de uma ponte é dividida, para seu estudo e projeto em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

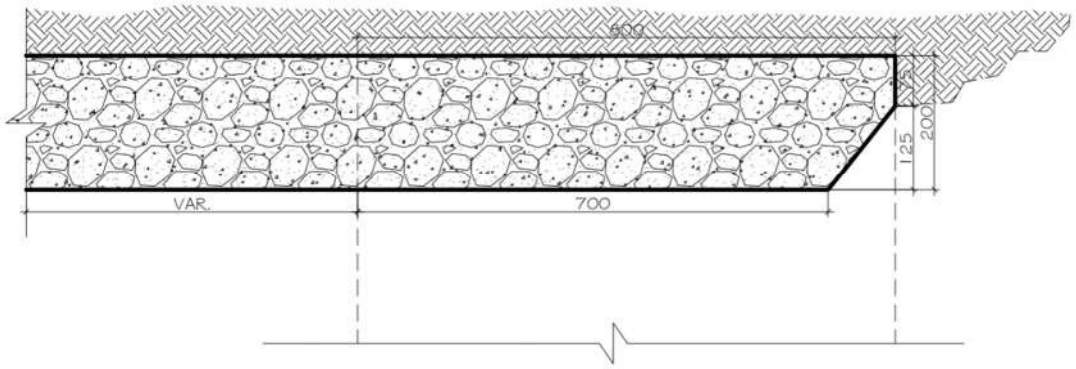
2.1 Mesoestrutura

Como se sabe, a infraestrutura de uma ponte consiste no conjunto de elementos estruturais, geralmente localizados na porção média da estrutura da ponte, que são responsáveis pela transmissão dos esforços da superestrutura para a infraestrutura. Ou seja, são as conhecidas estruturas de sustentação, sejam elas, por pilares, gabiões, concreto ciclópico, entre outras.

2.1.1 Berço de Sustentação

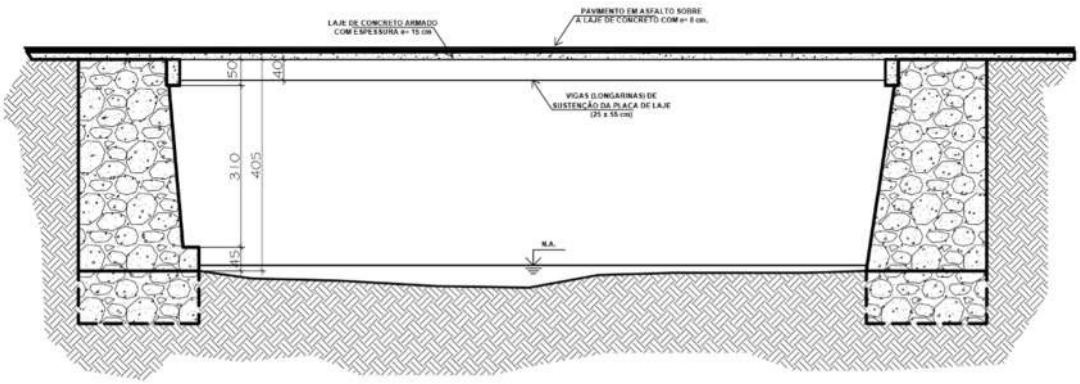
A ponte analisada, possui 2 (dois) berços de concreto ciclópico, com dimensões aproximadas de 8,0m de largura na maior face, 7,0 m na dimensões em contato com a água, com chanfro em umas das extremidades, sua largura é de aproximadamente 2,0 m, não sendo possivel determinar, devido a inexistência de projetos, a sua altura é de aproximadamente 4,05 m (da lâmina d'água à superestrutura), pois a profundidade abaixo do solo, não se obteve documentos que apresentavam tal dimensão.

Figura 1 - Detalhe das dimensões do berço de suporte do tabuleiro da ponte analisada



Fonte: CR Engenharia.

Figura 2: Vista da seção transversal da estrutura da ponte



Fonte: CR Engenharia.

Figura 3: Vista da estrutura de sustentação da ponte (berços de concreto ciclópico)



Fonte: CR Engenharia.

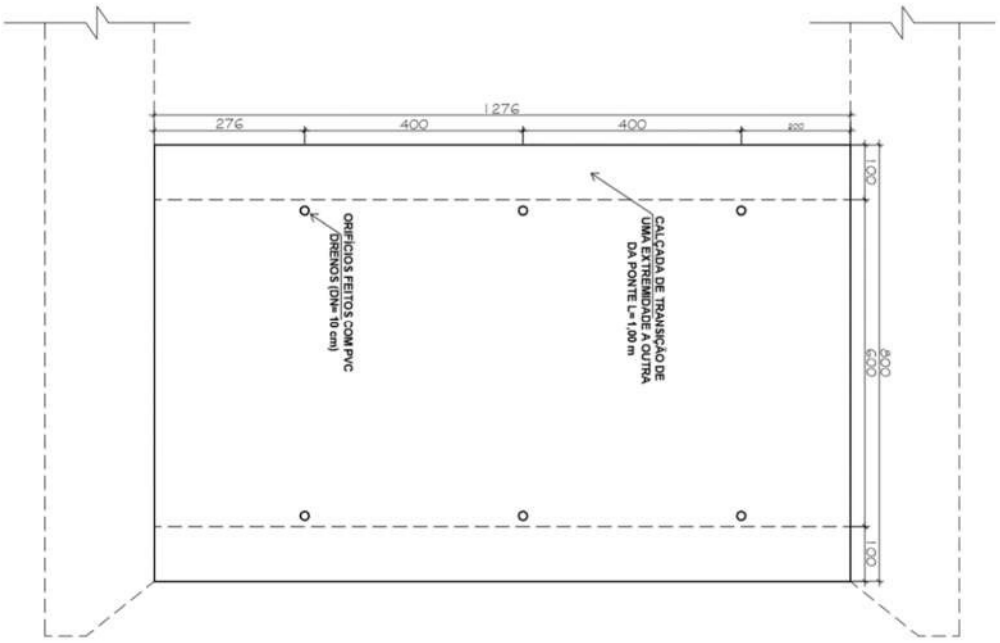
2.2 Superestrutura

Para a superestrutura de uma ponte, podemos dizer que esta se localiza geralmente na porção superior de uma ponte, as quais são responsáveis pelo transporte horizontal das cargas e sua transmissão à mesoestrutura, absorvendo diretamente os esforços resultantes do tráfego rodoviário, ferroviário, cicloviário ou pedonal. Ou seja, são as conhecidas estruturas de suporte, sendos esta, vigas (longarinas e transversinas) e lajes.

2.2.1 Laje

Para a ponte analisada, temos uma laje em concreto armado, coberta com uma camada de pavimento em asfalto, sendo esta de aproximadamente 8 cm, já a laje propriamente dita, tem espessura de aproximadamente 15 cm, com pequenos orifícios em suas bordas, funcionando como drenos.

Figura 4: Detalhe das dimensões da placa de laje em concreto

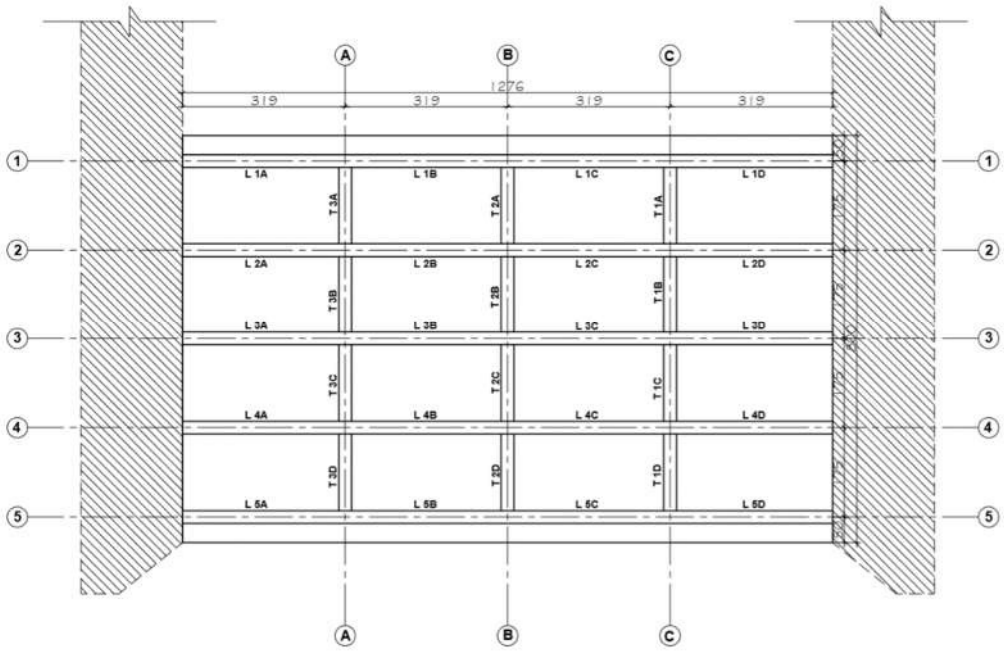


Fonte: CR Engenharia.

2.2.2 Vigas (Longarinas e Transversinas)

Executadas em concreto armado, as longarinas de sustentação da placa da laje em concreto, possuem dimensões de 25x55 cm, sendo esta por todo o vão de berço a berço, com aproximados 12,76 m. Estas longarinas são as vigas de maior dimensão na estrutura de grelha formada na parte inferior da laje. Já as transversinas, são estas executadas em concreto armado, igualmente como as longarinas, mas esta, além de trabalhar no suporte da placa de laje em concreto, tem por finalidade, trazer rigidez e estabilidade a grelha. Sendo esta estrutura detalhada como na figura 3, temos uma malha em concreto armado sustentando toda a estrutura de laje e transmitindo para a mesoestrutura todo o esforço de tráfego.

Figura 5: Desenho de forma da grelha de sustentação do tabuleiro da ponte



Fonte: CR Engenharia.

Figura 6: Imagem demonstrativa das estruturas de sustentanção (laje, longarinas e transversinas)



Fonte: CR Engenharia.

2.3 Infra Estrutura

Por conta da cultura nacional de não preservação de projetos estruturais, não é possivel afirmar qual o método construtivo adotado para a estrutura em análise.

3. METODOLOGIA

O trabalho será baseado nas normas da ABNT, e quando esta não tratarem do tema, será utilizado titulos conceituados e normas internacionais, para realização das inspeções, ensaios e classificação das condições de durabilidade e utilização da estrutura. Indicaremos nos subitens as metodologias adotadas para a realização de cada etapa deste trabalho.

3.1 Inspeção

Foram realizadas inspeções “in loco” da estrutura, nos dias 10/01/2018, 14/01/2018 e 22/03/2018 pelos Engenheiros Autores deste artigo. Visando a delimitação das regiões com focos de deterioração aparente e dos trechos passíveis de visualização das anomalias. Desta forma, foram definidos os locais onde foram executadas as investigações detalhadas e aprofundamento das investigações. Nessa etapa, procurou-se observar e registrar a incidência das diversas tipologias de manifestações patológicas incidentes no ambiente em estudo, representando pelas: manchas, fissura, desplacamento do cobrimento do concreto, corrosão das armaduras e outras. Também foram efetuados os registros fotográficos e indicados os elementos com os sintomas característicos identificados.

3.2 Ensaios

Foram realizados ensaios não destrutivos com objetivo de caracterizar a estrutura quanto aos materiais e metodos utilizados e descrever os ensaios e metodos utilizados.

3.2.1 Esclerometria

Realizamos ensaios esclerométricos, seguindo as determinações da NBR 7584 (ABNT, 2012) para a avaliação da dureza superficial do concreto endurecido, fazendo a caracterização nas vigas de sustentação do tabuleiro e na parte inferior da laje. Neste ensaio foi utilizado um esclerometro *SADT HT 225 Concrete Test Hammer.*

3.2.2 Camera termográfica

Toda a estrutura foi analisada com uma camera termográfica, afim de caracterizar o sistema estrutural utilizado, seus materiais e pontos de infiltração na estrutura. Não utilizamos nenhuma norma para tal ensaio, já que ainda não possuimos referencias para isto. A camera utilizada para este ensaio é a *FLIR ONE* geração II.

3.2.3 Ánalise da alcalinidade do concreto

Análise realizada atraves da aspersão de uma solução de fenolftaleína na estrutura de concreto armado, objetivando a indicação da profundidade, se houver um ataque, do ataque de CO_2.

3.2.4 Determinação do potencial de corrosão

Ensaio que objetiva a indicação aproximada do potencial eletroquímico de corrosão das armaduras imersas no concreto, fornecendo informações qualitativas. Este foi realizado conforme a ASTM c876/91.

4. RESULTADOS

Apresentaremos o resultado de cada ensaio executado na estrutura, complementando estes com um relatorio técnico fotográfico e croquis, para melhor entendimento da situação da estrutura e das áreas ensaiadas.

4.1 Esclerometria

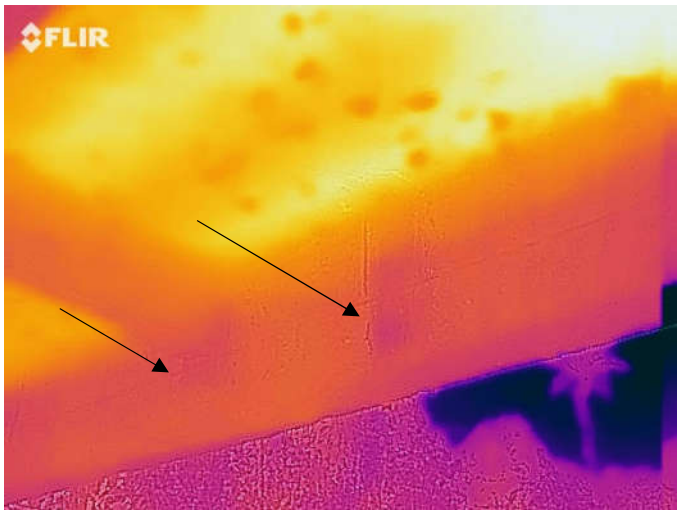
Foram feitos quatro ensaios esclerometricos, com resultados calculados com base nos indices esclerometricos indicados pelo fabricante do equipamento. Sabendo que as curvas “Índice esclerometrico x

Resistencia" são baseados em concretros de 14 à 56 dias de idade, não podemos afirmar que a resistencia indicada nesses ensaios irão descrever a realidade da estrutura, porém servem de base para analise. O resultado dos ensaios gerou resistências próximas a 60 MPa.

4.2 Camera termográfica

A camera termográfica ajudou na identificação de pontos de umidade que fizeram ou ainda não fizeram ataques serveros a estrutura. As fotos abaixo demonstram esses pontos, indicados com setas. Atráves deste diagnostico prévio, diminui-se o custo de manutenção.

Figura 7: Imagem demonstrativa das estruturas das vigas atraves da camera termográfica. Os pontos mais escuros, indicados com setas mostram as partes mais umidas

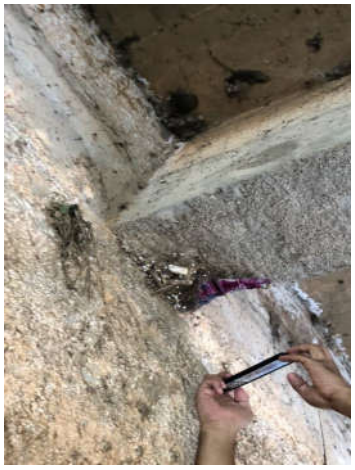


Fonte: CR Engenharia.

4.3. Ánalise da alcalinidade do concreto

Houveram dois ensaios em relação a alcalinidade do concreto, nos dois ensaios a estrutura apresentou Ph superior a 8,3. Cabe salientar que mesmo o ensaio indicando um Ph acima de 8,3 a despassivação ocorre abaixo de 10,5 de Ph. Outra informação importante é que nas áreas avaliadas a armadura não apresentava nenhum ponto de corrosão, indicando que o concreto ainda não foi despassivado.

Figura 8 e 9: Apresentação de coloração vermelho-camin após aspersão de solução de fenolftaleina na estrutura.



Fonte: CR Engenharia.



Fonte: CR Engenharia.

4.4 Determinação do potencial de corrosão

Foram realizados dois ensaios de potencial de corrosão para analisar a estrutura. Os resultados foram -90 mV e -100 mV, o que indica baixo risco de corrosão, conforme a tabela da ASTM 876.

4.5. Relatorio técnico fotográfico

Serão apresentadas, com algumas fotos, as manifestações patológicas presentes na estrutura, indicando os pontos com setas.

Figura 8 e 9: Imagem das vigas da estrutura apresentando desplacamento, eflorescencia, ferragem exposta com pontos de corrosão e manchas de umidade



Fonte: CR Engenharia.



Fonte: CR Engenharia.

Figura 10: Imagem da viga que recebe água dos drenos, causando as manifestações patologicas na estrutura



Fonte: CR Engenharia.

Figura 11: Imagem da fissura no encontro entre o bloco de apoio e a laje



Fonte: CR Engenharia.

5. CONCLUSÕES

Serão realizadas as conclusões baseadas nos ensaios realizados, objetivando a descrição da atual situação estrutural da ponte em questão. Iremos apresentar as manifestações patológicas e sua patogenia, prognostico e diagnostico. Junto a isto iremos descrever a condição de estabilidade, baseando esta nas análises das manifestações patológicas. Iremos propor métodos para reparo e reforço, caso necessário, e um calendário para vistorias nesta estrutura.

5.1. Manifestações patologicas

5.1.1. Desplacamento do cobrimento

Características patogênicas: adquirida, exógeno e química, tendo como origem a presença constante de água vinda dos drenos da parte superior da estrutura da ponte, gerando carbonatação e despassivação do concreto. Podemos diagnosticar esta com exames visuais, fazendo o relatório técnico fotográfico para ilustrar a manifestação patológica. Como prognóstico indicamos a continuidade do desplacamento, gerando exposição da armadura, que possui pouco cobrimento, cerca de 1 centimetro, e em um segundo momento o início da corrosão desta e como consequência a ruptura da armadura por perda de seção.

5.1.2. Eflorescência

Características patogênicas: adquirida, exógeno e química. Diagnosticamos através de exames visuais indicando como causa a presença constante da água vinda dos drenos da parte superior da estrutura. Foi realizado o relatório técnico fotográfico e um croqui com a indicação dos pontos de presença desta manifestação. Como prognóstico indicamos a continuidade do crescimento da manifestação e carreando partículas do concreto.

5.1.3. Mancha de umidade

Características patogênicas: adquirida, exógeno e química. Diagnosticamos através da utilização da câmera termográfica, que facilmente indica os pontos de maior concentração de umidade, onde podemos indicar como causa alguns erros de projeto, já que toda a água pluvial que precipita na estrutura é drena através de aberturas na estrutura, ficando em constante contato com esta. Foi realizado o relatório técnico fotográfico e um croqui com a indicação dos pontos de presença desta manifestação. Como prognóstico indicamos o carregamento de partículas pela presença de água, que irá gerar perda de volume e da proteção das armaduras, sendo causa de futuro desplacamento, ataque de agentes agressivos e corrosão das armaduras.

5.1.4. Corrosão da armadura

Características patogênicas: adquirida, exógeno e química. Diagnosticamos através de inspeções visuais. Indicamos como causa desta manifestação patológica a presença constante de água vindo dos drenos, como nas outras manifestações, tendo também como causa a utilização de baixo cobrimento, facilitando o ataque dos agentes agressores. Como prognóstico indicamos o carregamento de partículas pela presença de água, que irá gerar perda de volume e da proteção das armaduras, sendo causa de futuro desplacamento, ataque de agentes agressivos e corrosão das armaduras.

5.1.5. Fissura

Características patogênicas: adquirida, exógeno e física. Diagnosticado através da simples inspeção visual, já que estas só se manifestam no revestimento asfáltico da estrutura. Registramos como causa desta a ausência de uma junta de dilatação apropriada. O prognostico é infiltração de aguas pluviais e agentes agressivos por essas fissuras, carregamento de material, lixiviação, e ataque químico, tendo consequência a perda de massa e ataque as armaduras, respectivamente.

5.2. Condição de estabilidade

Mesmo a estrutura tendo idade próxima a 40 anos e não tendo recebido uma manutenção, em relação a sua estrutura, a mesma está em bom estado de conservação, apresentando poucos danos e manifestações patológicas. Observando que não há grandes perdas de seção nas armaduras expostas avaliadas e pouca perda de volume de concreto, por conta dos desplacamentos. Sendo assim podemos afirmar que a estrutura está em condição de uso.

5.3. Terapia

Feito o diagnóstico das manifestações patológicas, entendemos os métodos que acarretam nestas e podemos prescrever as corretas medidas para sanar os ataques.

5.3.1. Desplacamento do cobrimento

A solução para a inibição do ataque é a reconstituição do cobrimento da armadura, juntamente com o aumento do cobrimento, visto que o micro ambiente é de severa agressividade ambiental, fazendo também a devida limpeza da armadura.

5.3.2. Eflorescencia

Todas as eflorescências encontradas podem ter seu processo degradativo cessado pela criação de uma drenagem de maior extensão na sua extremidade, não permitindo que a água drenada entre em contato com a estrutura. A estrutura já atacada deve ser ensaiada em relação a resistência de arranque e a contaminações deletérias ao concreto, pois caso a estrutura não possua mais resistência ao arranque ou esteja contaminada, esta deve ser removida e deve ser feito o procedimento de recomposição com material com propriedades suficientes a garantir a resistência e durabilidade da estrutura.

5.3.3. Mancha de umidade

As manchas de umidade são futuras eflorescências, tendo como solução o mesmo método adotado para a esta. Cabe salientar que a eflorescência é o processo que indica o carregamento de partículas, sendo de grande importância que as manchas de umidade tenham tratamento imediato, afim de evitar as consequências muito mais danosas a estrutura.

5.3.4. Corrosão das armaduras

As armaduras que estão corroídas devem ser avaliadas quanto a perda de seção, pois no caso de grandes perdas de seção deve ser feita a introdução de novas barras, devendo ser feito uma análise através de cálculo estrutural. No caso de pequenas perdas, as barras devem ser lixadas e posteriormente feita a recomposição do cobrimento, inclusive aumentando este já que toda estrutura possui baixo cobrimento.

5.3.5. Fissura

As fissuras devem ser abertas para introdução de mastique, sempre respeitando as proporções deste e as formas de aderência entre o mastique e o substrato. Observando que a melhor temperatura para introdução deste dispositivo é em dias frios para que o elemento trabalhe sempre comprimido.

5.4 Considerações finais

Como já foi feito anteriormente, a estrutura se apresenta estável, porém necessita de pequenos reparos para que os ataques a estrutura cessem e para que as manifestações patológicas não sigam progredindo, o que poderia acarretar na desestabilização da estrutura. Outros ensaios poderiam complementar os que foram feitos, para uma melhor analise, como o ensaio de teor de íon cloreto e íon sulfato no concreto da estrutura, conhecida a proximidade desta com o Rio Piabanha, que recebe tanto águas pluviais e de esgoto, e ensaio com ultrassom. Esses iriam ajudar no diagnóstico de futuras manifestações patologias e melhor caracterização das propriedades do concreto. Através das análises feitas, avaliamos, baseando essa

afirmativa na condição apresentada pela estrutura depois de quase 40 anos sem manutenção, que esta estrutura pode receber vistorias a cada 1 ano, já que não recebe ataques severos, visto que não apresenta nenhuma manifestação patológica em estágio muito avançado.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584:** Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

American Society for Testing and Materials - **ASTM c876**: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. 2009

Carmen, M. Perdrix, A. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armadura**. Tradução de Antonio Carmona; Paulo Helene. 1.ed São Paulo. Editora Pini, 1992.

Gomide. T; Neto. J; Gullo. M. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**. 2.ed São Paulo. Editora Pini, 2015.

Ollivier. J; Vichot. A. **Durabilidade do Concreto.** Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Tradução de Oswaldo Cascudo e Helena Carasek. 1.ed São Paulo. Editora IBRACON, 2014