Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

INSPEÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO DAS PASSARELAS DE PEDESTRES DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA

L. QUEIROZ
Mestranda
UFRGS/ PPGEC
Porto Alegre/RS; Brasil
lucianacqueiroz@gmail.com

M. LIMA
Mestrando
UFRGS/ PPGEC
Porto Alegre/RS; Brasil
maxdeluan@gmail.com

P. DIAS
Mestranda
UFPA/PPGEC
Belém/Pa; Brasil
psdias23@yahoo.com.br

J. RIBEIRO
Graduando em Engenharia Civil
UFPA/Faculdade de Engenharia Civil
Belém/Pa; Brasil
jaymemrufpa@gmail.com

P. SOUZA
Professor
UFPA/Faculdade de Engenharia Civil
Belém/Pa; Brasil
paseliso@ufpa.br

L. CORDEIRO
Professora
UFPA/ Faculdade de Engenharia Civil
Belém/Pa; Brasil
lupcordeiroo@gmail.com

RESUMO
Em estruturas em concretos aparente, como obras de arte especiais é possível identificar facilmente a presença de diversas manifestações patológicas, devido ao ambiente na qual estão inseridas e pela ausência de manutenção preventiva/corretiva. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas existentes nas passarelas de pedestres localizadas na rodovia Br 316, correspondente a Região Metropolitana de Belém/PA. Para análise, realizou-se primeiramente um levantamento quantitativo das passarelas presentes ao longo da rodovia, bem como sua classificação em estruturas de concreto armado, aço ou mistas. Realizou-se um levantamento das manifestações patológicas através de inspeção visual, ensaios “in loco” como a carbonatação e esclerometria nos pilares de sustentação. O ensaio de vibração foi realizado apenas nos tabuleiros. Os resultados apresentam profundidade de carbonatação superior a camada de cobrimento, processo de corrosão acentuado das barras de aço, desplacamento da camada de cobrimento. Na inspeção visual identificou-se outras manifestações como fissuras com aberturas de até 1mm, presença de vegetação, corrosão do corrimão e guarda-corpo, formação de estalactites e biofilme. Na análise de vibração os resultados apresentam um desconforto ao pedestre devido à frequência natural das passarelas estarem acima do permitido por norma. Como conclusão sugere-se a intervenção para manutenção e recuperação das estruturas das passarelas estudadas.
Palavras-chave: Passarelas. Carbonatação. Corrosão. Manifestações Patológicas.

ABSTRACT
In apparent concrete, as special works of art it is possible to easily identify the presence of various pathological manifestations, this is due to the environment to which it is inserted and the absence of preventive / corrective maintenance. In this sense, this work has as objective to analyze the pathological manifestations existing in pedestrian walkways located in Highway Br 316, corresponding to the Metropolitan Region of Belém. For the analysis, a quantitative survey of the walkways present along the highway was carried out. their classification in concrete, steel or composite structures. A survey of the pathological manifestations was carried out through visual inspection, in situ tests such as carbonation and sclerometry on the supporting pillars. The vibration test was performed only on the trays. The results showed carbonation depth superior to the cover layer, accentuated corrosion process, displacement of the cover layer. In the visual inspection, other manifestations were identified as fissures mapped with openings up to 1mm, presence of vegetation, corrosion of the handrail and guardrail, formation of stalactites and biofilm. In the vibration analysis the results present a discomfort to the pedestrian because the natural frequency of the walkway is above the norm allowed. As conclusion it is suggested the intervention for maintenance and recovery of the structures of the studied walkways.
Keywords: Walkways. Carbonation. Corrosion. Pathological Manifestations.

1. INTRODUÇÃO

As passarelas de pedestre construídas em meio urbano constituem parte de obra de infraestrutura rodoviária que visa facilitar a acessibilidade de pedestres em vias com grande fluxo de tráfego, auxiliando a fluidez contínua do trânsito e permitindo a travessia segura de pedestres nas vias onde estão inseridas (REIS & BARRETO, 2016). Devido à importância a que se prestam, as passarelas devem, como qualquer projeto da engenharia civil, resistir às intempéries, ataques químicos, abrasão e outros processos de deterioração; mantendo sua forma original, qualidade e boas condições de utilização (DNIT, 2010). Entretanto, os efeitos dinâmicos resultantes do tráfego, as variações de temperatura bem como as chuvas diárias, os efeitos da insolação, a ação de cloretos presente na estrutura por ação antrópica e as emissões de gás carbônico (DNIT, 2010), são causas que tendem a resultar em manifestações patológicas e a reduzir a vida útil quando as estruturas apresentam falhas ou em uma ou em todas as etapas seguintes: projeto, execução, manutenção preventiva.

No caso de obras de concreto armado inseridas em meio urbano com grande fluxo de tráfego, o processo de corrosão das armaduras é uma das principais formas de deterioração, tendo a carbonatação como agente promotor. Este processo químico reduz a alcalinidade do concreto, diminuindo a película passivadora do aço, tornando-o suscetível à corrosão, visto que a atmosfera ambiente é rica em dióxido de carbono e a ela estão expostas as estruturas em concreto armado. Entre estas estruturas, os concretos aparentes possuem mais predisposição as reações químicas da carbonatação por conta da exposição dos seus poros ao ambiente, facilitando assim o fluxo dos agentes promotores da carbomatação. Neste sentido, apresentam-se as passarelas de pedestres, normalmente projetadas em concreto armado aparente e inseridas em ambientes com intensa concentração de gás carbônico (ALVES, 2012).

Neste contexto de durabilidade de obras-de-arte especiais estão inseridas 7 passarelas de pedestres na Região Metropolitana de Belém do Pará, abrangendo os Municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, interligados pela principal via, sendo esta a Rodovia BR-316, representando um dos principais acessos de ligação intermunicipal da região. Neste sentido, estando localizadas em ambientes onde existem um grande fluxo de veículos, uma elevada concentração de CO_2 e o trânsito de pedestre as tornam mais suscetíveis a ações do meio, sejam elas de natureza física ou físico-químico ocasionando com isso o surgimento de anomalias. Uma justificativa para o aparecimento dessas anomalias pode estar associada a falhas em alguma etapa de seu processo construtivo, visto que a idade de construção de algumas passarelas é superior a vinte anos. Pelo exposto torna-se necessário um estudo para avaliação das reais condições dessas estruturas, através dessa necessidade este estudo foi desenvolvido com a finalidade de levantar as manifestações patologias presentes nas passarelas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas que acometem essas obras de arte especiais, para tanto utilizou-se como objeto de estudo as passarelas presentes na rodovia BR 316 que corresponde ao eixo de ligação da Região Metropolitana de Belém do Pará. Para análise, realizaram-se: levantamento quantitativo das passarelas presentes ao longo da via; classificação das estruturas quanto ao material concreto, aço ou mistas; em seguida foram executadas operações para determinar manifestações patológicas através de inspeção visual e ensaio "*in loco*", como a carbonatação. Também foi estimada a dureza superficial do concreto obtida através da realização do ensaio de esclerometria, bem como a análise da vibração do tabuleiro da passarela, dados estes coletados via aplicativo móvel.

2. METODOLOGIA

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico dos temas relacionados à questão em estudo, com objetivo de fundamentar um embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa. Simultaneamente foi desenvolvida uma metodologia baseada em inspeção visual e realização de ensaios *in loco*, conforme itens a seguir.

2.1 Caracterização da rodovia e das passarelas

A rodovia BR 316 é a principal via de ligação da Região Metropolitana de Belém do Pará (RMB) que conecta todos os municípios que compõem a RMB sendo estes: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara. Composta por quatro faixas no sentido bairro-centro e quatro faixas no sentido centro-bairro, nesta via estão presentes seis passarelas de pedestre do tipo sobrejacente, projetadas a céu aberto, onde cinco passarelas possuem elementos estruturais mistos (estrutura em concreto armado e estrutura metálica

em aço) e uma em concreto armado. As características e localização ao longo da rodovia estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das passarelas de pedestres.

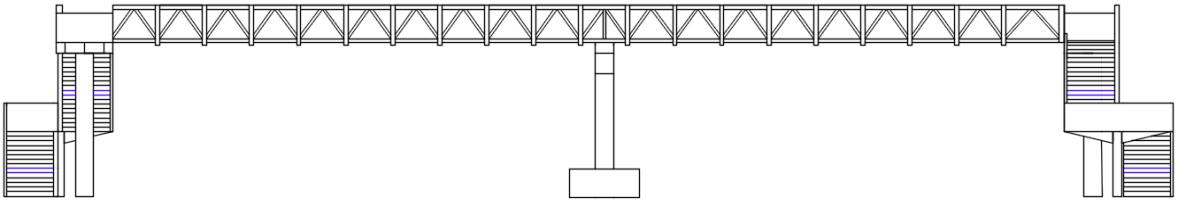
Localização	Elementos Estruturais	Largura do Tabuleiro (m)	Altura do Guarda-Corpo (m)	Dimensão dos pilares (m)		Tipo de Acesso
				Pilar 01	Pilar 02	
Km 02	Mista	1,89	1,20	0,63x0,64	0,65x0,64	Escada
Km 03	Mista	1,89	1,20	0,63x0,64	0,63x0,64	Escada
Km 05	Mista	2,30	1,00	0,66x0,66	0,67x0,68	Escada
Km 08	Mista	1,85	1,10	0,67x0,68	0,68x0,68	Escada
Km 11	Mista	1,89	1,10	0,73x0,73	0,74x0,74	Rampa
Km 12	Concreto armado	1,89	1,10	0,68x0,68	0,67x0,67	Rampa

Legenda: Pilar 01 corresponde ao eixo Belém – Ananindeua e o Pilar 02 ao eixo Ananindeua – Belém.

Fonte: Autor.

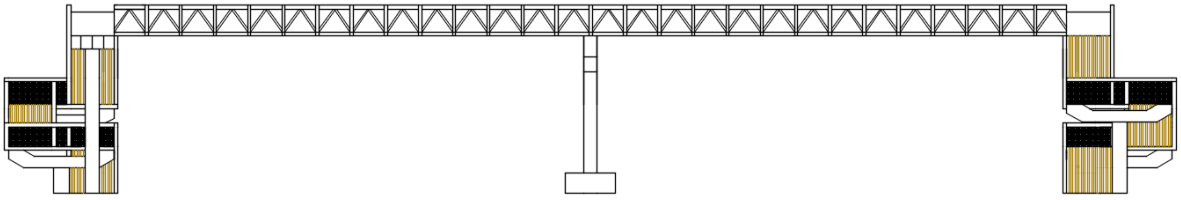
As passarelas dos quilômetros 02, 03, 05 e 08 apresentam características semelhantes com: três pilares de sustentação, tabuleiros em concreto armado, acesso através de escadas, guarda corpo em material metálico. Já a passarela do quilômetro 11 têm as mesmas características que as passarelas citadas anteriormente, com exceção do acesso feito via rampa em concreto armado, e cobertura metálica sobre o tabuleiro. Por fim, a passarela do quilômetro 12 é inteiramente em concreto armado e seu acesso é através de rampas em formato de espiral. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os desenhos esquemáticos das passarelas estudadas. Cabe ressaltar, que devido à construção das mesmas terem ocorrido há um período superior a vinte anos, não se teve acesso aos projetos, memorial descritivo ou qualquer documento que descreva alguma informação referente à suas construções.

Figura 1 – Formato das passarelas estudadas localizadas nos quilômetros 02, 03, 05 e 08.



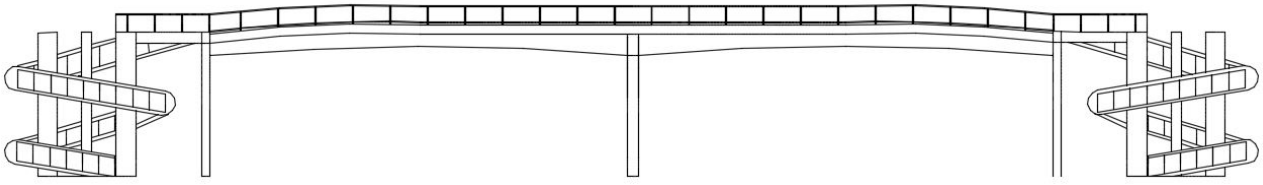
Fonte: Autor.

Figura 2 – Formato das passarelas estudadas localizadas no quilômetro 11.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Formato das passarelas estudadas localizadas no quilômetro 12.



Fonte: Autor.

No que se refere ao fluxo de tráfego da rodovia, ele é composto por: veículos de passeio, ônibus, micro-ônibus, vans, caminhões, motocicletas, bicicletas e pedestres. O volume de tráfego/dia no que se refere à quantidade de veículos é de aproximadamente 38.000 veículos/dia no sentido bairro-centro e aproximadamente 36.900 veículos/dia no sentido centro-bairro totalizando mais ou menos 75.000 veículos/dia. Igualmente, quando comparada à composição dos tipos de veículos da referida via, os carros e similares representam aproximadamente 58% e os ônibus e similares, aproximadamente 15%. Quanto à quantidade de passageiros no sentido bairro-centro, o volume é de 175.000 passageiros/dia e 191.300 passageiros/dia no sentido centro-bairro, totalizando nas 2 faixas, aproximadamente 366.200

passageiros/dia. Por outro lado, quando se observa a comparação da composição dos tipos de veículos, os veículos de passageiros e similares representam 23% e os de ônibus e similares aproximadamente 69% (AÇÃO METROPÓLE, 2012).

2.2 Inspeção visual

A inspeção visual foi realizada de forma a identificar as manifestações patológicas existentes nas escadas e rampas de acesso, tabuleiro (parte superior e inferior), guarda-corpo, corrimão e nos pilares de sustentação. Para fundamentar a inspeção visual buscou-se identificar as seguintes manifestações patológicas: fissuração (com identificação de abertura), lixiviação, umidade, corrosão (armaduras e guarda-corpo) e desplacamento do concreto e outros, tais manifestações foram escolhidas devido à recorrência destas para esse tipo de obra conforme encontrado na literatura.

Com base na inspeção visual foram selecionados os pontos que receberiam os ensaios de esclerometria e carbonatação de acordo com a facilidade de acesso. Para tanto optou-se em realizar os ensaios apenas nos pilares de sustentação das extremidades, pois o pilar do centro fica inacessível devido ao fluxo de veículos da rodovia e para realização nos tabuleiros e escadas seria necessário o uso de escadas ou equipamentos que suspendessem os operadores.

2.3 Ensaios não destrutivos

Com a necessidade de preservar as características: físicas, mecânicas e dimensionais do conjunto estrutural das passarelas, foram realizados ensaios não destrutivos com intuito de avaliar propriedades de engenharia tais como: a profundidade de carbonatação e sua relação com a corrosão das armaduras dos pilares, bem como a avaliação da resistência mecânica dos mesmos e estudo da vibração das estruturas.Seguindo as normas DIN EN 14630(2007) para a carbonatação e NBR 7584 (2012) para a esclerometria; já para os estudos de vibração, seguiu-se procedimentos para a determinação da frequência de vibração similar a Yoon et al (2014) e por Braido & Pravia (2015).

2.3.1 Ensaio de carbonatação

Para identificar a presença ou não de carbonatação *in loco* na estrutura da passarela, seguiu-se recomendações da norma DIN EN 14630 (2007). Que consiste em avaliar por diferença de pH do concreto e frente de carbonatação através da utilização de indicadores químicos. Para identificação da área carbonatada foi utilizado neste trabalho como indicador uma solução de 70% de álcool PA, 30% de água destilada e 1% de fenolftaleína em pó RILEM (2001).

A execução do ensaio iniciou com a abertura de profundidade nos pilares laterais das passarelas, identificados como P1 e P2 (ver Figuras 1, 2 e 3), após procedeu-se a limpeza da área com a remoção de todo material particulado e a asperção da solução de fenolftaleína da região aberta, havendo diferença na coloração da superfície, nas regiões carbonatadas (ausência de coloração) era dada continuidade na escarificação do concreto aumentando gradativamente a profundidade em estudo, medida com auxílio de um paquímetro a espessura da área carbonatada.

2.3.2 Ensaio de esclerometria

Por definição da norma NBR 7584 (ABNT, 2012), o ensaio de esclerometria é método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Este ensaio é um método amplamente utilizado para se obter uma estimativa da resistência superficial do concreto, consistindo em provocar impacto na superfície do concreto utilizando o esclerômetro de reflexão, sendo que este processo é baseado no princípio da reflexão, onde o esclerômetro ao ser impulsionado por uma mola gera uma determinada energia, que por sua vez transmite por toda extensão da mola e acusando o valor que consta no leitor do mesmo. Porém este ensaio é válido apenas como uma medida qualitativa, atribuíndo características de uniformidade e continuidade do concreto, para que se obtenha uma estimativa de resistência é necessário que se utilize correlações das características de resistência do concreto com os resultados obtidos no ensaio. A comunidade científica já apresenta inúmeras equações que correlacionam esses resultados, considerando as algumas características do concreto, como por exemplo, o tipo do agregado utilizado, idade, condições de cura e etc.

Para a realização deste ensaio foram seguidas as recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012) e se considerou a profundidade de carbonatação, uma vez que este é um dos principais fatores que alteram os resultados. Procurou-se não realizar o ensaio em superfícies carbonatadas para não superestimar os valores dos índices esclerométricos, porém em alguns casos não foi possível ter esse controle devido à

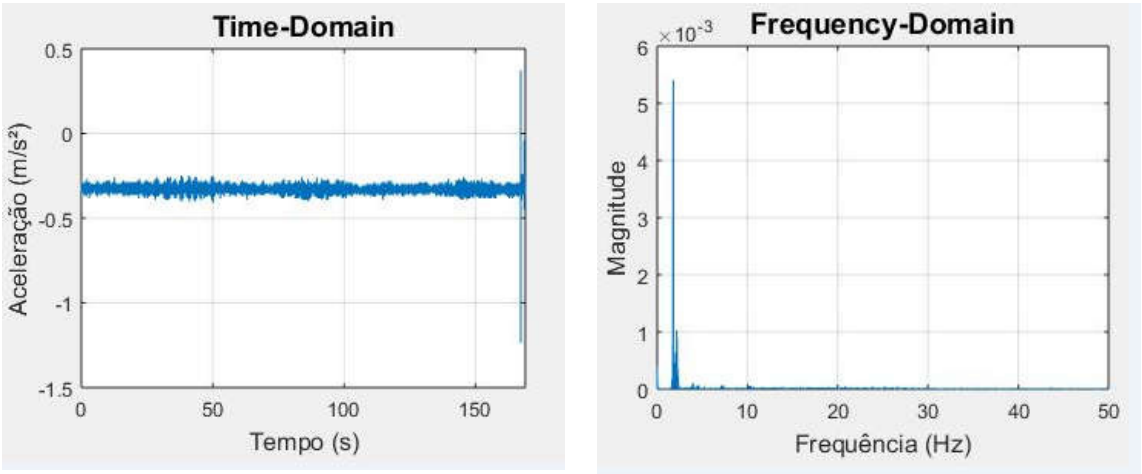
profundidade carbonatada ter ultrapassado as armaduras dos pilares, para esses casos foram aplicados os fatores de correção que a referida norma prescreve.

2.3.3 Ensaio de vibração

A determinação da frequência de vibração das passarelas foi feita utilizando-se um aparelho de telefonia móvel *Samsung Galaxy S7* equipado com acelerômetro triaxial com uma taxa de amostragem de 100 amostras/segundo. Foram monitoradas as vibrações induzidas pelo caminhar de pedestres, para isto, o aparelho foi fixado no centro de cada vão da estrutura, de modo a evitar-se deslocamentos no plano do aparelho, desta forma, registrando apenas a aceleração vertical.

As acelerações foram tomadas a partir do *Software Freeware Accelerometer Analyzer* e exportadas em um formato de texto, uma vez que os valores obtidos encontram-se em função do tempo, foi necessária a conversão destes do domínio do tempo para o domínio da frequência a partir de uma Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation* ou *FFT*) com o auxílio do Software MATLAB. A frequência de vibração da estrutura será dada pelos picos com maior energia a partir dos resultados no domínio da frequência, a Figura 4 apresenta um exemplo de medida tomada no domínio no tempo e sua respectiva conversão para o domínio da frequência.

Figura 4 – Medidas da passarela Km 5.



(a) Domínio do tempo. (b) Domínio da frequência.

Fonte: Autor.

Assim, com o resultado das análises das frequência, comparar-se-ão os mesmos com as vibrações de risco normas apresentadas na tabela 2, referentes a vibrações verticais em passarelas, com o intuito de identificar se as frequências de vibração apresentam desconforto ao usuário para as faixas de risco.

Tabela 2 – Frequência vertical.

Frequência de risco vibração (Hz)						
Referência	NBR 6118	Eurocode 2	Eurocode 0	BS 5400	ISO/DIS 10137	CEB Bulletin 209
Faixa de risco	4,5	1,6 a 2,4	<5,0	<5,0	1,7 a 2,3	1,65 a 2,35 e 3,5 a 4,5

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inspeção visual

Conforme citado anteriormente buscou-se identificar as manifestações patológicas mais recorrentes para estruturas de obras de arte especiais, porém além das manifestações citadas anteriormente, foram identificadas também: lixiviação, biofilme e presença de vegetação; que serão apresentadas em tópicos posteriores.

Observou-se também durante a inspeção que as passarelas são utilizadas para fins de comércio, identificando vários pontos onde ambulantes montam barracas que em alguns casos atrapalham a circulação dos pedestres. Outro ponto a se considerar é a falta de limpeza urbana com acúmulo de resíduos nos tabuleiros e escadas, sendo que estes acabam entupindo os drenos e formando uma lâmina d'água ao longo do tabuleiro.

3.1.1 Fissuração

Foram indentificadas fissuras em 100% das passarelas estudadas com aberturas que variam de 0,05 a 1 mm, localizadas pricipalmente nos pilares laterais de sustentação do tabuleiro (ver Figura 5). O real diagnóstico da origem das fissuras visualizadas é limitado, umas vez que há diversas influências para iniciá-las, tais como: concreto em estado fresco, ou endurecido, reações de expansão, movimentações térmicas ou sobrecarga. Segundo Mehta & Monteiro (2014), há dificuldade no ato ou de diferenciar ou de distinguir diferentes configurações de fissuras. Frequentemente, são necessários vários ensaios de laboratório e um histórico detalhado do projeto, incluindo a dosagem, condições de lançamento, métodos de cura, retirada das formas e histórico de carregamento.

Para este trabalho não foi possível ter acesso a essas informações, impossibilitando avaliações segundo a descrição supracitada. No entanto, os ciclos térmicos e as condições de umidade influenciam na formação de fissuras das estruturas, estando a Região Metropolitana de Belém com umidade relativa do ar entre 81% a 87%, e com a temperatura média variando de 22 °C a 34 °C, com mínima para o verão e máxima para o inverno amazônico, sendo estes períodos com menor e com maior intensidade de chuva. Segundo Neville (2015), fissuras podem surgir devido ao processo de corrosão das armaduras.

Figura 5 – Fissuração nos pilares de sustentação.



(a) Passarela Km 05. (b) Passarela Km 08.

Fonte: Autor.

3.1.2 Corrosão das armaduras e guarda-corpo

Foram identificados que quatro passarelas apresentavam processo de corrosão aparente das barras de aço dos pilares de sustentação (ver Figura 6), e em alguns casos ocorreram a perda de seção comprometendo a capacidade resistente dos mesmos. Para os tabuleiros, seis passarelas apresentaram processo de corrosão acentuada (ver Figura 7) e no fundo das escadas foram identificadas que cinco passarelas apresentavam barras de aço corroídas e expostas (ver Figura 8).

Figura 6 – Corrosão das armaduras dos pilares de sustentação.



(a) Passarela Km 08. (b) Passarela Km 11.

Fonte: Autor.

A principal origem para o processo de corrosão das armaduras encontrado neste trabalho foi a carbonatação do concreto que será discutida no próximo tópico, bem como a presença umidade constante devido as características climáticas da região e falta de manutenção. A exposição das armaduras à

intemperes se tem o surgimento de outras manifestações patológicas associadas, tais como a formação de compostos ferrosos expansivos, perda de seção, fissuração, destacamento e ruptura do concreto.

O aço em corrosão diminui de seção ou converte-se totalmente em óxido, há redução da aderência aço/concreto e conseqüentemente, ocorre uma perda da capacidade estrutural do elemento de concreto (LAPA, 2008). Para Neville (2015), a formação de compostos ferrosos expansivos resulta em um aumento de volume em relação ao aço original, de modo que as tensões de expansão causam fissuração e lascamento do concreto.

Ao verificar as condições do guarda-corpo e corrimão verificou-se que os mesmos também apresentaram corrosão com perda de área e ausência de pintura, conforme Figura 9.

Pode-se notar que as estruturas não apresentam condições de que sofreram algum tipo de intervenção e essa falta de manutenção contribui significativamente para a redução da vida útil, bem como para sugirmento de acidentes.

Figura 7 – Corrosão das armaduras na face inferior do tabuleiro.



(a)Passarela Km 08.



(b) Passarela Km 03.

Fonte: Autor.

Figura 8 – Corrosão das armaduras do fundo das escadas.



(a)Passarela Km 02.



(b) Passarela Km 03.

Fonte: Autor.

Figura 9 – Corrosão do guarda-corpo



(a) Passarela Km 03.



(b) Passarela Km 08.



(c) Passarela Km 12.

Fonte: Autor.

3.1.3 Desgaste superficial do concreto

Foram observadas que todas as passarelas apresentavam um desgaste superficial do concreto do tabuleiro (ver Figura 10) devido a abrasão gerada principalmente pelo caminhamento dos pedestres. Lapa (2008), define que o processo de abrasão referente ao atrito seco e é a perda gradual e continuada da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada.

Nas passarelas estudadas observou-se que os tabuleiros que sofreran abrasão apresentam, em alguns casos, a exposição dos agregados e armaduras.

Figura 10 – Desgaste do concreto dos tabuleiros.



(a) Passarela Km 12. (b) Passarela Km 02. (c) Passarela Km 11.

Fonte: Autor.

3.1.4 Outras manifestações patológicas

Outras manifestações encontradas foram a lixiviação, formação de biofilme e presença de vegetação ao longo das estruturas, conforme Figura 11.

Figura 11 – Manifestações patológicas.



(a) Lixiviação do concreto. (b) Presença de vegetação. (c) Formação de biofilme.

Fonte: Autor.

Nas estruturas estudadas foram identificadas manchas brancas, decorrente da lixiviação - dissolução e arrasto do hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, bem cmo a formação de estalactites no fundo das escadas e tabuleiros das passarelas do Km 02, 03, 11 e 12.

A presença de vegetação foi identificada nas passarelas localizadas nos km 02, 03, 08 e 12, o crescimento de vegetação ocorre devido a falta de manutenção, falhas de concretagem, problemas nas juntas de dilatação, fissuração e na presença de umidade. Com a presença de vegetação no concreto ocorre um aumento da tensão nos poros devido a penetração de raízes e a retenção de umidade, sendo o último um fator primordial para a sua existência.

No que se refere a formação de biofilme foram identificadas em todas as passarelas, concetrados principalmente no fundo de escadas, tabuleiros e guarda-corpo. O biofilme é considerado um mecanismo de biodegradação do concreto, promovendo o envelhecimento e comprometendo sua durabilidade que depois de estabelecidos pode proprocionar a fixação de outros microorganismos e adesão de outras partículas, bem como se destacar da superfície, criando microambientes com concentrações de pH e oxigênio diferenciados, levando à formação de manchas e pátinas biológicas características da biodeterioração estética (SILVA et al, 2005; LAPA, 2008).

3.2 Ensaio de carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado conforme o procedimento citado anteriormente e constatou-se que todas as passarelas apresentaram elevada profundidade de carbonatação. Na etapa de escarificação notou-se que a área carbonatada é superior ao cobrimento das armaduras, porém visando o não comprometimento dessas áreas a escarificação foi cessada ao se identificar as barras de aço dos pilares. A Tabela 2 apresenta as profundidas das camadas de cobrimento carbonatadas.

Tabela 3 – Profundidade de carbonatação dos pilares.

Profundidade de Carbonatação (cm)		
Passarela	Pilar 1	Pilar 2
Km 02	5,0	4,0
Km 03	3,0	3,3
Km 05	2,6	2,8
Km 08	3,3	3,1
Km 11	4,0	3,0
Km 12	3,0	4,1

Legenda: Pilar 01 corresponde ao eixo Belém – Ananindeua e o Pilar 02 ao eixo Ananindeua – Belém.

Fonte: Autor.

A principal deterioração do concreto associada à carbonatação está relacionada a despassivação das armaduras, gerando a corrosão das mesmas, sendo esta manifestação já discutida no item 3.1.1. Na ação de carbonatação ocorre a diminuição da alcalinidade do concreto que cobre a armadura, em função da reação do hidróxido de cálcio com compostos do meio, produzindo principalmente sais de cálcio. Com a decorrência dessa ação surge uma fragilidade no concreto expondo as armaduras ao contato com o meio (ALVES, 2012). No entanto, a carbonatação procava uma alteração na estrutura porosa do concreto devido a formação do carbonato de cálcio que tende a preencher os poros densificando o mesmo, desta forma em áreas carbonatadas é possível se identificar um aumento na resistência superficial do concreto. Este fenômeno será visualizado no ensaio de esclerometria que será discutido no item a seguir.

Durante o processo de escarificação identificou-se uma alteração na textura que o se encontrava concreto carbonatado, o mesmo parecia estar pulverulento e/ou desfragmentando facilmente, esta alteração pode estar associada a presença de outros agentes contaminantes.

3.3 Ensaio de esclerometria

Para a realização do ensaio primeiramente o equipamento foi calibrado para identificação o índice esclerométrico conforme Tabela 3.

Tabela 4 – Índice esclerométrico (IE) na bigorna de aço.

Impacto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IEm
IE	80	80	82	82	82	82	82	82	81	80	81,30

Fonte: Autor.

De acordo com os resultados o aparelho enontra-se perfeitamente calibrado e adequado ao uso, pois o Índice esclerométrico Médio (IEm) foi superior a 75%, e para todos os IE individuais os resultados não diferem do IEm em ± 3 unidades. Logo, o valor de coeficiente de correção (k) pode ser obtido pela Equação 1.

$$k = \frac{n..Enom}{\sum_{i=1}^{n} IEi} \quad (1)$$

Onde:
k = coeficiente de correção do IE;
n = número de impactos na bigorna de aço;
IEnom = Índice Esclerométrico Nominal do aparelho na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante (80%);
IEi = Índice esclerométrico obtido dos dez impactos do esclerômetro na bigorna de aço.
Portanto, **K = 0,983607**
Para a correlação do resultado obtido no ensaio com a resistência à compressão do concreto utilizou-se as Equações 2 e 3 propostas por Silva (2006) e Isaia (2005), respectivamente.

$$Y = (2{,}61e)^{0{,}07IE} \quad (2)$$

$$Y = (5{,}12 * e)^{0{,}052IE} \quad (3)$$

Visando o não comprometimento do ensaio na área carbonatada e/ou com presença de armaduras, optou-se em escarificar outra região com menor profundidade para que não atingisse a mesma, para posterior realização do ensaio e os resultados estão expostos na Tabela 4.

Tabela 5 – Resultado do ensaio de esclerometria em MPa.

Passarela	Índice esclerométrico (IE)		Correlação f_c e IE Silva (2006)		Correlação f_c e IE Isaia (2005)	
	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 1	Pilar 2
Km 02	32,11	33,85	24,70	27,90	25,54	27,86
Km 03	41,60	40,40	48,01	44,14	41,05	38,66
Km 05	27,40	43,77	17,77	55,89	20,18	45,76
Km 08	38,60	29,60	38,91	20,73	35,33	22,53
Km 11	39,60	28,60	41,74	19,32	37,14	21,43
Km 12	40,00	41,60	42,92	48,01	37,89	41,05

Legenda: Pilar 01 corresponde ao eixo Belém – Ananindeua e o Pilar 02 ao eixo Ananindeua – Belém.
Fonte: Autor.

Apesar dos resultados estarem satisfatórios para estruturas com idades superiores há vinte anos, a sua realização foi em uma superfície carbonatada, pois o ensaio de esclerometria foi realizado abaixo da superfície de acabamento dos pilares em região próxima ao teste de carbonatação, onde o efeito deste fenômeno proporciona um aumento no resultado dos experimentos devido o processo de fechamento dos poros capilares pelos produtos formandos na reação da carbonatação, a qual, segundo a norma NBR 7584 (ABNT, 2012), é um dos fatores que influenciam nos resultados do ensaio em discussão. Para a norma, a influência da carbonatação na dureza superficial do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência, e para tanto devem ser definidos coeficientes corretivos, a fim de minimizar o efeito da dureza. Porém a referida norma não define os coeficientes corretivos a serem aplicados, estimando-se apenas que em casos extremos, os valores estimados podem superar em mais de 50% em função da camada carbonatada, no entanto a norma também não aborda quais seriam esses casos extremos. Considerando as recomendações da norma as estruturas apresentariam valores pequenos o que poderiam ser adotados como reais, porém sem ter acesso as informações da resistência de projeto, materiais e traço não se pode afirmar que esses valores de fato representariam a real situação.

3.3 Ensaio de vibração no tabuleiro

O ensaio de vibração foi realizado nas passarelas do Km 05, 08, 11 e 12 considerando o caminhamento de pedestre por um período de cinco minutos no centro de cada vão da estrutura, os resultados das frequências de vibração obtidas estão dispostos na Tabela 5. Não foi possível realizar o ensaio nas passarelas do Km 02 e 03 devido a obstrução das mesmas no dia da coleta de dados.

Tabela 6 – Frequência média de vibração das passarelas.

Frequência de vibração (Hz)		
Passarela	CP 1	CP 2
Km 05	3,953	3,963
Km 08	2,968	2,840
Km 11	3,516	3,496
Km 12	3,516	3,496

Legenda: CP1 corresponde ao ponto 1 com pessoas e o CP2 ao ponto 2 com pessoas.
Fonte: Autor.

Conforme pode ser visto os valores obtidos no ensaio mostram que as frequências de vibração, em sua maioria, estão dentro da faixa de risco, representando desta forma um desconforto ao usuário ao percorrer as distâncias entre os apoios. A NBR 6118 (ABNT, 2014), não apresenta restrições quanto à construção de passarelas dentro das faixas de risco. O mesmo se aplica ao DNIT, orgão responsável em administrar as passarelas presente na BR 316 que também não apresenta nenhuma regulamentação em relação a vibração das passarelas.

Porém, cabe ressaltar que para as idades de construção das passarelas e pela ausência de informações referentes ao projeto não se pode afirmar que as passarelas foram projetadas levando em consideração a vibração das mesmas. Outro fator que pode ter contriuído para que as passarelas estejam dentro da faixa de risco se refere a falta de manutenção dos apoios e pelo estagio avançado de deterioração dos contraventamentos e do fundo dos tabuleiros, conforme pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Deterioração dos contraventamento e fundo do tabuleiro.



(a) Passarela Km 05. (b) Passarela Km 08.

Fonte: Autor.

4. CONCLUSÕES

Conforme foi apresentado neste trabalho as passarelas presentes na rodovia BR 316 apresentam um estado de deterioração avançado, com diferentes manifestações patológicas, bem como a perda da capacidade portante, uma vez que, foi possível identificar a ruptura de alguns elementos de aço e desplacamento do concreto com espessuras consideráveis.

Recomenda-se que seja realizado o processo de restauração das estruturas, com estudos mais detalhados para a necessidade de reforço.

5. REFERÊNCIAS

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

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

Estudo Preparatório para o Projeto de Sistema de Transporte de Ônibus da Região Metropolitana de Belém. Ação Metropóle, Núcleo de Gerenciamento de Transportes Metropolitano (NGTM), 2012.

ALVES, L. F. **Obras de arte especiais Br267/MG.: Patologias x Fatores Influentes**. 2012. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

BS5400. **Part 2, Appendix C, Vibration Serviceability Requirements for Foot and cycle track Bridges.** Londres: UK British standards associations, 1978.

PRAVIA, Z. M. C.; BRAIDO, J. D**. Measurements of bridges' vibration characteristics using a mobile phone.** IBRACON Structures and Materials Journal. Vol.8, Number 5, p. 721-743, 2015.

CEB 209. **Vibration Problems in structures - Pratical Guilines Bulletin d'Information nº209**. [S.l.]: [s.n.], 1991.

EN 1990. **Eurocode 0 - Basis of structural design**. Bruxelas: CEN, 2009.

EN 1991-2. **Eurocode 2 - Design of concrete structures, Part 1-1:** General rules and rules for buildings. Bruxelas: CEN, 2010.

ISO10137. **Bases ofr design of structures - Serviceability of buildings ans walkways against vibration**. Second edition. ed. Geneve: International standart association, 2007.

LANER, F. J. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. 2001. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** 2008. 54 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. Rio de janeiro, 159p. (IPR/DNIT, 744), 2010.

MEHTA & MONTEIRO. **CONCRETO, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M: **Propriedades do Concreto**. 5ª Edição. São Paulo, 2015.

REIS, F. B.; BARRETO, T.N. **Manifestações patológicas na passarela em frente a Universidade Católica de Brasília e planos e intervenções**. 2016. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2016.

SARTORI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP.** 2008. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

YOON et al. **Vibration Measurements of Steel Foot-bridges using Mobile-phone**. Applied Mechanics and Materials, v. 470, 2014, p. 471-493.