

# ESTUDOS PRELIMINARES DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM VIADUTO FERROVIÁRIO DA ESTAÇÃO DE TREM DE TEJIPIÓ / RECIFE – PE.

STUDY OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS OF THE RAILWAY  
VIADUCT AT THE TEJIPIÓ / RECIFE - PE.

**Caio Felipe dos Prazeres Sena**  
caio.sena@globomail.com

**Inaldo José Minervino da Silva**  
inaldo.jose@recife.ifpe.edu.br

---

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de quantificar e analisar, de forma preliminar, as patologias em peças de concreto armado de um viaduto ferroviário localizada na Rua do Sancho, administrado pela CBTU, no bairro de Tejipió, Recife-PE, sendo realizado um estudo das características do viaduto com intenção de diagnosticar causas e de indicar soluções para tratamento e correção dos problemas encontrados na edificação. Foi realizada uma ampla inspeção visual com acervo fotográfico. Os elementos estruturais foram classificados quanto ao seu tempo de serviço, tipo de revestimento, danos e aspectos, além das prováveis causas para tais danos. A análise do nível de deterioração foi mensurada tomando por base o boletim 162 do CEB de 1983. A partir do diagnóstico, foi analisado e sugerido algumas soluções corretivas para as patologias encontradas.

Palavras-chave: Concreto. Patologias. CBTU. Tejipió. Manutenção.

## ABSTRACT

This work aims to quantify and analyze the pathologies in reinforced concrete parts of a railway viaduct located at Rua do Sancho, in the Tejipió neighborhood, Recife-PE, and a study of the characteristics of the viaduct with the intention of diagnosing causes and of indicate solutions for treatment and correction of problems encountered in the building. A wide visual inspection with photographic collection was performed. The structural elements were classified according to their service time, type of coating, damages and aspects, as well as the probable causes for such damages. The analysis of the level of deterioration was measured by CEB Bulletin

162 (1983). From the diagnosis, a corrective solution for the pathologies found was analyzed and suggested.

Keywords: Concrete. Pathologies. CBTU. Tejipto. Maintenance.

## 1 INTRODUÇÃO

Em um País que historicamente investiu no modal rodoviário, o Metrô do Recife é o maior sistema de transporte sobre trilhos do Nordeste. Gerenciado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), o Metrorec começou suas operações em março de 1985. A partir de 1998 começaram as obras para sua expansão, na Linha Centro, sendo concluído em 2002, quando as composições puderam chegar até a Estação Camaragibe (antes os trilhos seguiam apenas até o TIP). Mais recentemente aconteceu a construção da Linha Sul e a modernização dos trens de subúrbio com a chegada do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT). As fotos são do Acervo da CBTU (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6).

Figura 1 – Trem chegando ao Recife



Fonte: Revista Algomais (2018)

Figura 2 – Trem antigo recuperado



Fonte: Revista Algomais (2018)

Figura 3 - Estação Recife em construção em 1981



Fonte: Revista Algomais (2018)

Figura 4 – Oficina do Metrorec



Fonte: Revista Algomais (2018)

Figura 5 – Estação Cabo



Fonte: Revista Algomais (2018)

Figura 6 – Estação Coqueiral



Fonte: Revista Algomais (2018)

Como nas demais regiões, o transporte de massa sobre trilhos da região metropolitana do Recife, vem apresentando ao longo dos últimos anos uma sistemática degradação dos seus níveis de serviço, determinado em parte pelo acelerado aumento da demanda. Na tabela 1 podemos observar a evolução da demanda do Metrô do Recife. O aumento drástico que aconteceu de 1984 para 2015, em parte deu-se devido ao aumento da linha e de estações que podemos observar nas Figuras 7, 8 e 9.

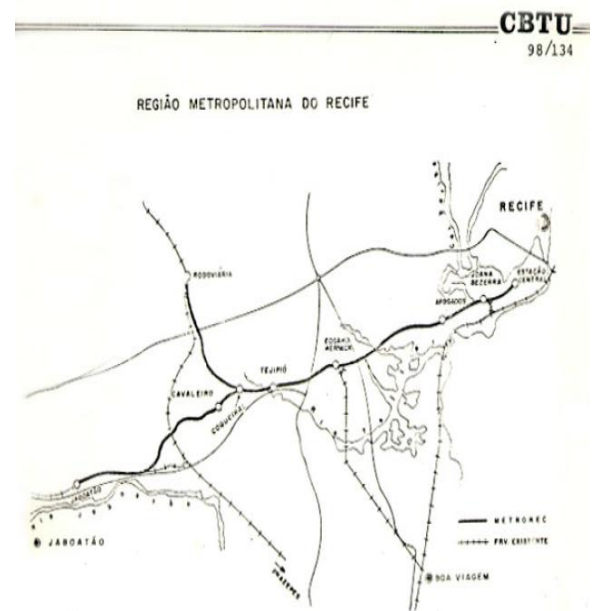
Tabela 1 – Valores de demanda do Metrô do Recife

Ano	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	2015
Passageiros(10 <sup>3</sup> )	4,842	6,037	9,074	11,090	13,709	11,885	16,267	368,000

Fonte: O autor (2021)

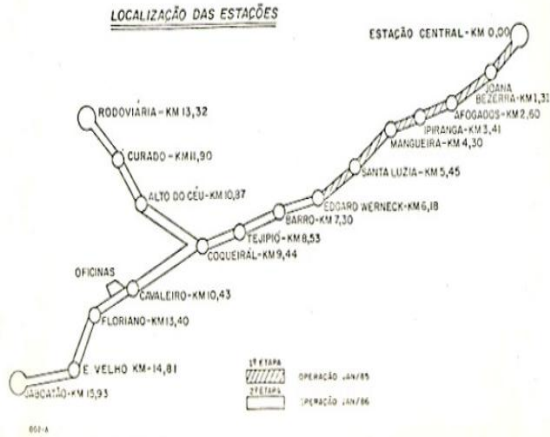
Nota: a tabela foi criada baseada em dados da CBTU (2014a) e Passos (2015)

Figura 7- Mapa original da rede do metrô da região Metropolitana do Recife gerenciada pela CBTU.



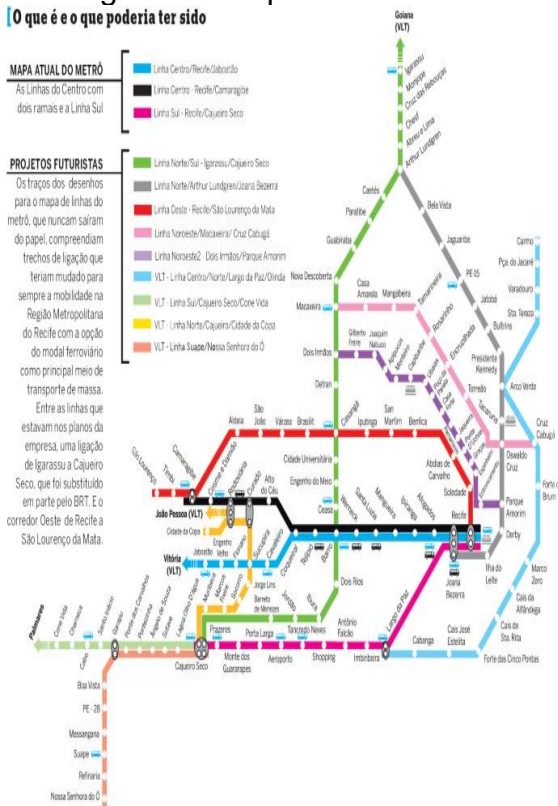
Fonte: CBTU (2014b).

Figura 8 – Mapa original da localização das estações da rede do metrô da região Metropolitana do Recife gerenciada pela CBTU.



Fonte: CBTU (2014b).

Figura 9 - Mapa atual e futurista da localização das estações da rede do metrô da região Metropolitana do Recife gerenciada pela CBTU.



Fonte: Passos (2020)

Contudo, servirá como estudo de caso para este trabalho um viaduto construído em 08 de agosto de 1986 e está alocado próximo à estação Tejiipió (Figura 10), este elemento foi constituído a partir da expansão da linha Centro – 1 e 2 e fez parte do projeto de melhorias da mobilidade Centro / Subúrbio naquela década. Por se tratar de um viaduto antigo, localizado em uma zona de bastante agressividade antrópica, devido ao congestionamento constante de carros de passeio e veículos de transporte público, submete-se a bombas de dióxido de carbono (CO2) constantemente e sem manutenção ao longo de décadas, apresenta atualmente um estado de conservação preocupante.

Figura 10 - Viaduto ferroviário próximo à estação de metrô Tejiipió



Fonte: O autor (2021)

Dentre uma grande variedade de materiais empregados para a construção de edificações, de pequeno, médio e grande porte, sem dúvida o concreto é aquele que tem uma maior gama de utilizações dentro da sociedade moderna. É praticamente inconcebível dissociar o

desenvolvimento tecnológico da humanidade do desenvolvimento e do uso do concreto. Segundo Mehta e Monteiro (1994 apud Andrade, 1997), estima-se que o atual consumo mundial de concreto é da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano.

A utilização em larga escala do concreto como material de construção se deve a algumas características que o mesmo apresenta e que são extremamente peculiares, tais como a facilidade de execução de elementos de diversas formas e tamanhos, a disponibilidade dos materiais constituintes e, principalmente, pelo menor custo se comparado a outras opções de construção existentes, principalmente com as estruturas metálicas.

Todo o meio técnico admitia que o concreto fosse um material que não necessitava de maiores cuidados de manutenção, em função do excelente desempenho que se observava nas obras construídas com tal material. Desta forma o mesmo foi largamente empregado em uma grande variedade de ambientes e sob condições de exposição extremamente desfavoráveis.

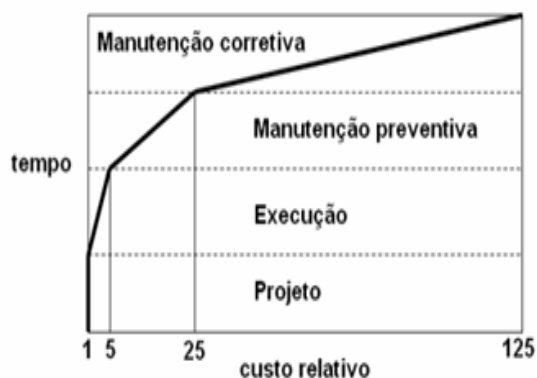
Segundo a literatura (MEHTA, 1993; SILVA FILHO, 1994 apud ANDRADE, 1997) existem dois fatores básicos que controlam a questão da durabilidade das estruturas: o concreto em si, como material compósito e, desta forma heterogênea, e as condições do meio ambiente circundante das estruturas. Ambos os fatores exercem um tipo de influência na durabilidade.

Uma das formas de detectar e evitar o agravamento das patologias presentes na estrutura é através da inspeção estrutural periódica para monitoramento das patologias. Com isso cria-se a possibilidade de proporcionar maneiras de garantir

maior vida útil e resistência à degradação da estrutura além de ser uma forma de economizar recursos com a prevenção (KRÜGER; MOREIRA; BRIK, 2013).

A lei de evolução dos custos, conhecida como lei dos cinco ou regra de Sitter mostra que os custos de intervenção crescem em função do tempo e segundo uma progressão geométrica de razão cinco. Corroborando com a necessidade imediata de reparo dessas edificações tendo em vista o padrão financeiro das cidades onde se localizam as edificações. Na figura 11 podemos observar que o custo com manutenção é exponencial em relação ao tempo.

Figura 11 - Evolução dos custos pela fase de intervenção (Regra de Sitter)



Fonte: Sitter (1984 apud HELENE, 1997)

Há várias tentativas oficiais para classificar as causas que provocam a deterioração dos viadutos de concreto armado; uma das classificações das causas de deterioração dos viadutos, e que será adotada neste artigo, foi proposta, em 1991, pelo RILEM (Réunion International des Laboratoires d'Essais et des Recherches sur les Matériaux et les Constructions). Os fatores que provocam a deterioração dos viadutos e pontes podem ser classificados em

cinco grandes grupos: Fatores intrínsecos; Fatores resultantes do tráfego rodoviário; Fatores ambientais; Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção e Fatores correlacionados à atividade humana.

Os fatores intrínsecos são intimamente ligados à estrutura; isto significa que a estrutura pode abrigar certos fatores de degradação ou serem mais suscetíveis de danos. Os principais fatores intrínsecos são a idade e a qualidade do concreto; influem na qualidade do concreto a qualidade e a quantidade do cimento, a qualidade dos agregados, os aditivos e adições e, principalmente, a relação água/cimento. A escolha dos materiais e sua dosagem adequada permitem obter, além da resistência mecânica desejada, outras características indispensáveis para a durabilidade: porosidade, permeabilidade, densidade, compacidade e baixa fissuração.

Já os fatores resultantes do tráfego ferroviário são de natureza externa e são resultantes da utilização da estrutura; as cargas dos trens têm crescido continuamente, muitos viadutos não conseguem suportar, sem danos, esta evolução, principalmente pelo grande aumento dos efeitos dinâmicos. As cargas ferroviárias majoradas provocam o desgaste da pavimentação, o aumento dos efeitos da fadiga, a fissuração e apressam o desgaste das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio.

No que diz respeito os fatores ambientais são de natureza climática ou atmosférica; os primeiros, tais como variações sazonais e diárias de temperatura, tempestades e pressão do vento, são independentes da atividade humana, enquanto que os segundos, tais como poluição atmosférica, chuva ácida, águas poluídas por produtos químicos, dos

rios e subterrâneas, são de responsabilidade humana e degradam tanto as superestruturas como as infraestruturas.

Já a manutenção, na maioria das vezes, é o fator decisivo que influencia a durabilidade das pontes; a manutenção, preventiva ou corretiva, implicando em limpeza, proteção anticorrosiva e medidas corriqueiras de conservação, é um fator decisivo na durabilidade. A manutenção de rotina quando inadequada e insuficiente permite a degradação da estrutura, ainda que ela tenha sido bem construída, com a utilização de materiais e equipamentos adequados.

Os quatro fatores explicitados acima podem, ainda, ser classificados em dois outros grandes grupos, conforme haja ou não a intervenção humana: a) Fatores objetivos: fatores independentes da atividade humana no domínio da engenharia de pontes; b) Fatores subjetivos: fatores dependentes da atividade humana, na engenharia de pontes e em outros domínios.

A manifestação patológica nas obras civis tem de modo geral as seguintes origens: **Congênita** – Fase de projeto; **Construtiva** – Fase de execução; **Adquirida** – Agressividade ambiental e outros fenômenos; **Acidental** – Fenômenos atípicos.

Como qualquer outro tipo de estrutura, os viadutos também estão sujeitos a desgastes, sejam pelo tempo de existência ou mesmo pelas intempéries provocadas pelo meio ambientes. Em estruturas de concreto é possível identificar inúmeras manifestações patológicas, das quais algumas são mencionadas nos resultados obtidos deste trabalho, consideradas as mais comuns nas estruturas de pontes e viadutos de concreto.

No que tange a agressividade ambiental, a corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica, ou a combinação destas. Segundo Souza e Ripper (1998), A corrosão de armaduras no concreto armado é um fenômeno de natureza eletroquímica, que pode ser acelerado pela presença de agentes agressivos externos, do ambiente, ou internos incorporados ao concreto. Para que a corrosão se manifeste é necessário que haja oxigênio, umidade (água), e o estabelecimento de uma célula de corrosão eletroquímica que só ocorre após o rompimento da camada passivadora da armadura.

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente a sua vida útil. A agressividade do ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014.)

A NB6118 traz em seu conteúdo duas tabelas que correlacionadas definem a classe de agressividade e o recobrimento mínimo para o meio em que a estrutura de concreto armado está inserida. Na figura 12 podemos visualizar que o viaduto está classificado como classe II de agressividade e na figura 13 podemos visualizar que o viaduto analisado, se

construído hoje, deveria ter na laje/tablado o recobrimento mínimo de 25 mm, no pilar o recobrimento mínimo de 30 mm e no elemento estrutural de contato com o solo, fundação, 30 mm.

Figura 12 - Classes de Agressividade Ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014.

Figura 13 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para AC = 10 mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014.

Percebe-se desta forma que um viaduto construído na década de 80 já estaria de certa forma, fora de norma, devendo assim ser avaliado e considerada o encamisamento das vigas e pilares da estrutura.

O DNIT fixa condições exigíveis para realização de inspeção em pontes e viadutos concreto armado e protendido, podendo também, ser aplicadas em inspeções de pontilhões e bueiros. A norma do DENIT 10/2004 classifica as inspeções em quatro etapas, inspeção cadastral, inspeção rotineira, inspeção extraordinária e inspeção especial, sempre realizada com profissional capacitado e com no mínimo 05 anos de experiência em projeto e inspeção em pontes.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi idealizada a partir de visitas ao viaduto com realização de observações visuais por meio de vistoria e um ensaio não destrutivo com esclerômetro, que permitiram a coleta das informações necessárias para identificar e diagnosticar os danos existentes na estrutura com base nos conceitos da literatura técnica sobre o tema.

A partir da escolha das áreas mais danificadas da edificação a ser estudada na estrutura fez-se uma inspeção visual com acervo fotográfico identificando elementos estruturais em concreto armado, suas patologias, e seu estado de conservação.

Classificaram-se esses elementos por tipo, vigas, pilares, tablado (laje) e em pesquisa no site da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) foram coletados dados sobre a idade das peças em serviço e seu tipo de revestimento. Elementos também foram classificados quanto a sua conservação, subdividida em três categorias: Danos, aspectos

estruturais e suas prováveis causas. A partir dessa classificação foram estabelecidos níveis de deterioração de A até E, em conformidade com o boletim 162 do Comitê Euro International du Beton (1983) que estabelece o grau de deterioração e a urgência na intervenção corretiva dos elementos estruturais em concreto armado.

Também foi realizado um ensaio não destrutivo, através de um esclerômetro, este ensaio consiste a aferir a dureza superficial do concreto e a correlaciona com a resistência à compressão deste concreto e é regido pela NBR 7584.

Utilizando-se de um marcador faz-se a divisão dos quadrantes aonde será realizado o estudo, a norma estabelece um quantitativo de impactos entre 09 e 16 pontos, com a distanciamento mínimo de 5 cm entre os eixos do quadrante. Para este trabalho foram escolhidas duas regiões e utilizados 16 impactos em cada região escolhida para estudo, conforme figura 14 e 15.

Figura 14 – Divisão dos quadrantes da primeira região, malha de 20x20 cm



Fonte: o autor (2021)



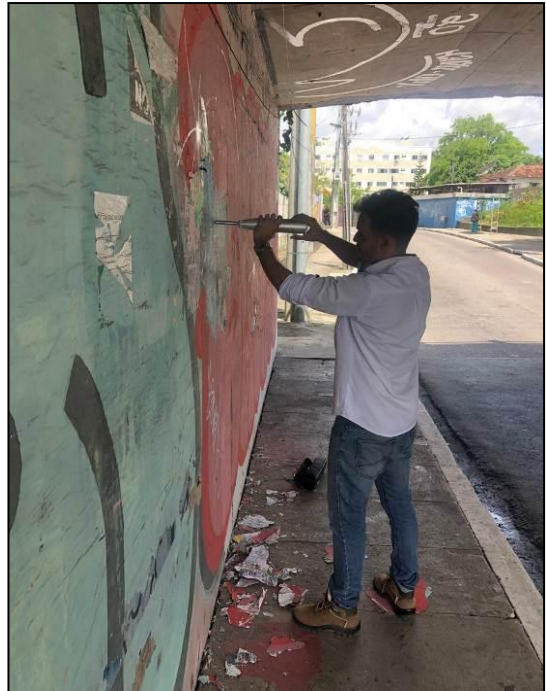
Figura 15 - Divisão dos quadrantes da segunda região, malha de 20x20 cm



Fonte: o autor (2021)

Após a divisão dos quadrantes, utiliza-se o esclerômetro pontualmente em cada região e anota-se a leitura aferida pelo aparelho. O output deste ensaio nos dará valores que após algumas operações básicas de matemática nos fornecerá uma média dos valores obtidos por região analisada. Esta média deverá ser analisada no ábaco do aparelho, onde será obtido o valor da resistência a compressão do concreto em  $\text{kn/cm}^2$  e  $\text{N/mm}^2$ . A figura 16 e 17 observa-se o ensaio sendo realizado nas duas regiões escolhidas, enquanto na figura 18 destaca-se o ábaco do aparelho utilizado.

Figura 16 - Execução do Ensaio na primeira região



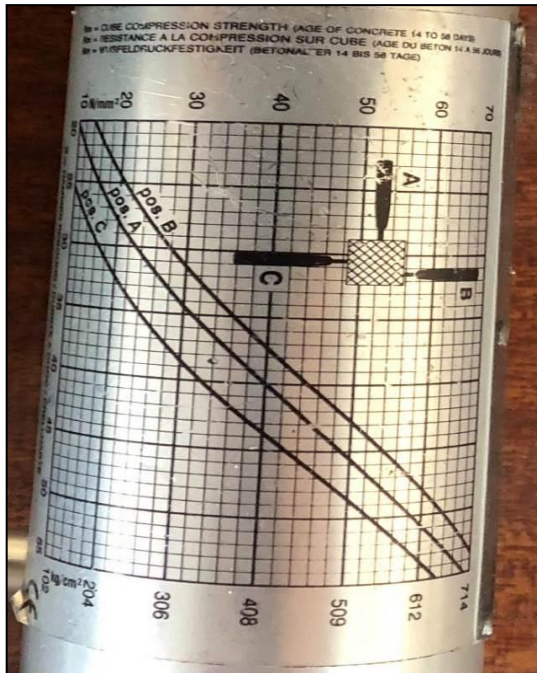
Fonte: o autor (2021)

Figura 17 - Execução do Ensaio na segunda região



Fonte: o autor (2021)

Figura 18 - Ábaco do Aparelho utilizado



Fonte: o autor (2021)

Em concordância com as normas vigentes, foi-se elaborado a catalogação dos danos, a partir das necessidades e deficiências encontradas na edificação.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Inspeções visuais

A figura 19 apresenta resultados médios dos danos catalogados por elemento (grupo de elementos) estrutural analisado, relatando aspectos identificados e suas causas prováveis:

Figura 19 - Catalogação de danos

Peça de Concreto Armado	Danos	Aspectos Identificados	Causas Prováveis
Tablado da Estrutura	Bolor	Manchas Escurecidas	Elevada umidade
	Lasqueamento do Concreto	Grandes lascas e, ou rachadura em concreto	Corrosão de armadura por expansão no interior do concreto
	Fissuras	Mapeadas	Tensões solicitadas acima da média
	Mancha de corrosão	Mancha avermelhada na região de armadura	Cobrimento deficiente, armaduras expostas.
Pilares de Estrutura	Bolor	Manchas Escurecidas	Elevada umidade
	Lasqueamento do Concreto	Grandes lascas e, ou rachadura em concreto	Corrosão de armadura por expansão no interior do concreto
Vigas Invertidas	Bolor	Manchas Escurecidas	Elevada umidade
Guarda Corpo	Sem danos aparente		

Fonte: o autor (2021)

Remete-se a inspeção visual aos níveis de deterioração dos elementos de concreto armado, em conformidade com o boletim 162 do Comitê Euro International du Béton (1983). Esse boletim estabelece níveis de deterioração de A até E, onde a partir dos níveis C e D, a intervenção deverá ser imediata, tendo em vista a ocorrência do esgotamento quase que integral da vida útil da peça estrutural. Nesta ótica, a seguir apresentar-se-ão as considerações de análise média por grupo de elementos segundo o Comitê Euro International du Béton (1983).

A manifestação da corrosão em armaduras de estrutura de concreto pode ser observada através de manchas superficiais, expansão, fissuração e destacamento do recobrimento, perda de aderência e de redução da seção da armadura e, numa situação limite, do colapso da peça (Figura 20). A escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região e das exigências de funcionamento do elemento a ser corrigido. O comportamento em serviço, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa

espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

Figura 20 - Ferragens negativas do tablado aparente da Laje da Estrutura Nível “B”



Fonte: o autor (2021)

Observou-se a existência de ferragens negativas exposta com aparente perda da seção transversal, possivelmente ocasionado por um recobrimento abaixo do recomendado pela ABNT NBR 6118/2014. Para recuperação deve-se escarificar a estrutura de concreto, descobrindo toda a ferragem, com o auxílio de um paquímetro, em seguida deve-se mensurar a perda da seção transversal do aço. Caso tenha perda de seção em 10%, faz necessário a substituição, caso não, tratar o aço e realizar recobrimento com graute, conforme recomendado a ABNT NBR 6118/2014.

No que diz respeito à Eflorescência, é um fenômeno que se manifesta quando as águas puras com pouco ou nenhum íon de cálcio entram em contato com a pasta de cimento, dissolvendo o hidróxido de cálcio. O hidróxido de cálcio dissolvido reage com o dióxido de carbono do ar para

formar carbonato de cálcio insolúvel na superfície do concreto.

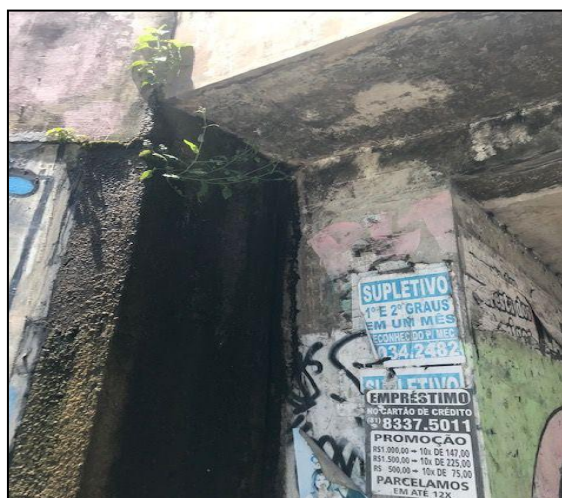
A eflorescência caracteriza-se por apresentar manchas esbranquiçadas ocasionadas pela precipitação de carbonato de cálcio na superfície do concreto, devido à evaporação da água que contém o hidróxido dissolvido. Na figura 21, 22 e 23 podemos observar manchas de eflorescência.

Figura 21 - Eflorescência no tablado do Viaduto na Laje da estrutura Nível “A” (Laje da Parte Inferior)



Fonte: o autor (2021)

Figura 22 - Pilares da estrutura Nível “A”



Fonte: o autor (2021)

Figura 23 - Vigas Invertidas - Vigas da estrutura Nível "A"



Fonte: o autor (2021)

Foi detectada a presença de eflorescência, fungos e bolor, sendo recomendada a limpeza das manchas sem aplicação de produtos com base ácida, uso de escovas e produtos à base de cloro, secagem da superfície, eliminação da infiltração de umidade.

As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto (Figura 24), sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários, para o fato de que algo de anormal está a acontecer. É interessante observar, no entanto, que a caracterização desse fenômeno como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões de tração, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração.

Assim, um processo de fissuramento pode, quando anômalo, instalar-se em uma estrutura como consequência da atuação das mais diversas causas, intrínsecas ou extrínsecas, e, para que se consiga identificar com precisão as causas e efeitos é necessário desenvolver análises consistentes, que incluam a mais correta determinação da configuração das fissuras, bem como da abertura - e de sua variação ao longo do tempo, da extensão e da profundidade das mesmas. De acordo com a NBR 6118/2014, a abertura máxima característica das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2mm a 0,4mm sob ação das combinações frequentes não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas.

Figura 24 - Fissuras no tablado do Viaduto



Fonte: o autor (2021)

A referida norma define os valores-limite da aberturas das fissuras em função das classes de agressividade ambiental e do tipo de concreto estrutural estabelecendo com isso as exigências de durabilidade da estrutura. Ao analisar uma estrutura de concreto que esteja fissurada, os primeiros passos a serem dados consistem na elaboração do mapeamento das fissuras e em sua classificação, que vem a ser a definição da atividade ou não das mesmas. Uma fissura é dita ativa, ou viva, quando a causa responsável por sua geração ainda atua sobre a estrutura, sendo passiva, ou estável, sempre que sua causa tenha deixado de existir.

As fissuras passivas, portanto, estabilizam-se devido ao cessamento da causa que as geraram, como é o caso das fissuras de retração hidráulica ou das provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado. As fissuras ativas por sua vez são produzidas por ações de magnitude variáveis que provocam deformações também variáveis no concreto. É o caso das fissuras de origem térmica e das de flexão causadas por ações dinâmicas.

O deslocamento do concreto deve-se à armadura desprotegida, que no processo corrosivo expande e gera tensões no interior do concreto (Figura 25), que inicialmente fatura e posteriormente desprende-se da estrutura ocasionado a perda de parcelas de resistência a compressão do concreto. Na figura 25 podemos observar o deslocamento do concreto no tablado da estrutura analisada.

Figura 25 - Deslocamento do Concreto



Fonte: o autor (2021)

Já a degradação é a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques.

A lixiviação do concreto é um fenômeno que consiste na dissolução e carreamento dos compostos hidratados da pasta de cimento pela ação de águas, sejam puras, agressivas, ácidas ou de outro tipo. A lixiviação causa fissuração no concreto que pode ser minimizada com mecanismos de restrição à infiltração nas estruturas.

Atualmente observa-se que inúmeros pesquisadores estão se dedicando ao estudo da durabilidade das edificações. Tal interesse é devido à grande quantidade de danos que estão ocorrendo nas estruturas de concreto, principalmente através do efeito combinado da agressividade ambiental com os problemas de ordem

estrutural que interagem nas mesmas, juntamente com o emprego de práticas executivas inadequadas durante as diversas etapas do processo construtivo (ARANHA, 1994).

Antigamente as estruturas só eram concebidas e projetadas para satisfazerem às condições de segurança e estabilidade perante as solicitações de esforços mecânicos que interagem nas mesmas. Os aspectos relacionados à questão de durabilidade e desempenho que as estruturas deveriam apresentar durante a sua vida útil não eram levados em consideração, visto que se imaginava que o concreto armado conservava as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas praticamente inalteradas ao longo do tempo.

Contudo, observou-se que tais paradigmas estavam sendo quebrados, quando se começou a observar os elevados índices de degradação que as estruturas vêm apresentando. Segundo John (1987), um processo de degradação é aquele que ocorre quando há uma transformação dos materiais ao interagirem com o meio ambiente. Tal afirmação é ratificada pelo COMITE EURO INTERNATION DU BETON (1992), que mostra de forma clara a estreita dependência existente entre a estrutura e o meio ambiente onde a mesma está inserida. Mas ainda: o Código apresenta que o microclima, que é formado pela interação entre o meio ambiente nas proximidades das edificações, é o fato mais importante a ser considerado na avaliação da durabilidade. Podemos observar que Helene (1993) cita a tabela 2 como referência para classificar a durabilidade do concreto pelo Fck.

Tabela 2 - Critério proposto por Helene (1993) para classificação do concreto com base na resistência à compressão.

FCK Mpa	Classificação quanto a durabilidade	Nota
<20	deficiente	1 a 2
20 a 35	normal	3
>35	durável	4 a 5

Fonte: Helene (1993)

### 3.2 Ensaio não destrutivo

A tabela 3 e 4 apresenta os resultados aferidos no esclerômetro nas duas regiões escolhidas para análise.

Tabela 3 - Leituras do primeiro ensaio, região 01

P1			
49	52	50	47
60	54	50	44
48	48	48	44
55	55	42	48

Fonte: O autor (2021)

Tabela 4 - Leituras do segundo ensaio, região 02

P2			
48	46	30	39
46	41	36	46
44	46	30	44
44	34	44	45

Fonte: o autor (2021)

Após o cálculo da média aritmética dos pontos, os valores individuais que diferiram em mais de 10% da média foram descartados e com a correção do aparelho utilizado  $k=0,95$ , chegou-se aos seguintes resultados: Índice Esclerométrico Médio P1: 49,4; Índice Esclerométrico Efetivo P1: 46,93; Índice Esclerométrico Médio P2: 43,25; Índice Esclerométrico Efetivo P2: 41,08. Utilizando-se dos valores encontrados no ábaco do aparelho na posição "A" o ensaio conclui para as duas regiões estudadas os seguintes valores de resistência à compressão: P1: 529,4 kg/cm<sup>2</sup> ou 51,91 Mpa; P2: 428,4 kg/cm<sup>2</sup> ou 42,00 Mpa.

#### 4 CONCLUSÕES

Constatou-se na análise visual a necessidade de reabilitações, corroborado posteriormente com o que estabelece no boletim 162 do COMITE EURO INTERNATION DU BETON (1983). O resultado do ensaio esclerométrico foi positivo se comparado ao estado aparente que se encontra a estrutura, entretanto é

necessário levar em consideração que por se tratar de um viaduto muito antigo, o resultado do esclerometro pode ter sido mascarado por um possível elevado nível de carbonatação da estrutura. Martins (2014) da Universidade Federal de Viçosa – UFV, em seu estudo na Análise do Comportamento da Resistência a Compressão do Concreto carbonatado evidenciou que a carbonatação pode não influenciar na resistência a compressão, mas aumenta a sua resistência a compressão superficial. O que leva a crer que este processo pode levar a um falso diagnostica. A ausência de manutenção preventiva e corretiva levou a essa estrutura de concreto armado ocasionou patologias reversíveis, porém se não tratadas poderá acarretar na interdição do viaduto. Ressaltando de maneira categórica a importância de um plano de manutenção. Tal descaso transparece uma necessidade de intervenção do poder público nesta edificação.

#### REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. 1997. 139 f. Dissertação (Curso de pós-graduação em Engenharia Civil) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/122441/000215709.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 abr. 2021.

ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas nas Estruturas de Concreto Armado na Região Amazonica**. 1994. 114 f. Dissertação (Curso de pós-graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/189640>. Acesso em 05 abr. 2021

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

DNIT. Norma **DNIT 010/2004**: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido: procedimento. Rio de Janeiro: DNIT, 2004. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT\\_010\\_2004\\_PRO](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_010_2004_PRO). Acesso em: 10 abr. 2021.

CBTU. **Mapa da linha**. 2014b. Disponível em: <https://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/mapa-da-linha>. Acesso em: 10 abri. 2021.

CBTU. **Relatórios anuais**. 2014a. Disponível em: <https://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/desempenho/relatorios-anuais>. Acesso em: 10 abr. 2021.

COMITE EURO INTERNATION DU BETON. Assessment of concrete structures and design procedure for upgrading (redesign). **Bulletin D'Information nº. 162**, Paris, August, 1983.

COMITE EURO INTERNATION DU BETON. Durable concrete structures. **Bulletin D'Information nº. 183**, Suíça, 1982.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231 p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993. Disponível em: [www.php.eng.br/wp-content/ulopads/2014/07/TD1.pdf](http://www.php.eng.br/wp-content/ulopads/2014/07/TD1.pdf). Acesso em: 10 abr. 2021.

JOHN, V. M. **Avaliação da Durabilidade de Materiais, Componentes e Edificações**: Emprego do Índice de Degradação. 1987. 115 p. Dissertação (Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/189707>. Acesso em: 05 abr. 2021

KRÜGER, J. A.; MOREIRA, L. P.; BRIK, E. M. J. Estudo das patologias em estruturas de concreto provenientes de erros em ensaios e em procedimentos executivos. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 8., 2013, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: Secovi – PR, 2013.

MARTINS, R. O. G. Análise do comportamento da Resistência a compressão do concreto carbonatado. 2014. 05 p. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/206-014.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

PASSOS, T. **Metrô do Recife duplica o número de usuários e tem pior receita do país**. 2015. Disponível em: <https://blogs.diariodepernambuco.com.br/mobilidadeurbana/2015/02/metro-do-recife-duplica-o-numero-de-usuarios-e-tem-pior-receita-do-pais/>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

PASSOS, T. **Projetos de expansão do metrô do Recife nunca saíram do papel em 35 anos**. 2020. Disponível em:



<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2020/02/projetos-de-expansao-do-metro-do-recife-nunca-sairam-do-papel-em-35-an.html>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

REVISTA ALGOMAS. **14 fotos do Metrorec antigamente**. 2018. Disponível em: <http://revista.algomas.com/cultura/pernambuco-antigamente/14-fotos-do-metrorec-antigamente>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.