PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DO TRECHO NORTE DA LINHA 1 AZUL DO METRÔ DE SÃO PAULO

Ágatha Ariane de Oliveira Morais; Fernando Costa Abriz; Gustavo de Araujo Reis; Gustavo Rodrigues da Silva Sousa; Leonardo Pereira Rodrigues
Orientadora: Cláudia Lucia de Moura

RESUMO: A Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo, conhecida também como Linha Norte-Sul, teve suas obras iniciadas em 1968 e foi concluída e inaugurada em 14 de setembro de 1974.

Não diferente de outras edificações, o trecho da linha 1-Azul do Metro citado, tem sido afetado em sua estrutura diariamente agentes agressivos ou intempéries, que vão naturalmente gerar desgastes, degradação e danificar o bom funcionamento de uma estrutura de concreto e da mesma forma deixando exposto à corrosão.

Para garantir um bom desempenho e um bom tempo de vida útil de uma edificação é necessário estudar, conhecer e identificar as patologias, bem como estudar e identificar as possíveis causas para o aparecimento das mesmas.

Este trabalho tem como finalidade um estudo de caso, sobre as principais patologias observadas na extensão dos trilhos e estações na linha 1-Azul da companhia do Metrô de São Paulo, suas possíveis causas e tratamentos.

Ao nosso ver, responsáveis pela segurança dos usuários e pelo funcionamento da Linha deveriam tratar o caso com mais rigor e atenção, para precaver qualquer tipo de problema maior.

Palavras-chave: *Patologia, Causas, Tratamento, Metrô de São Paulo.*

PATHOLOGIES IN THE CONCRETE STRUCTURES OF THE NORTHERN SECTION OF BLUE LINE 1 OF THE SÃO PAULO SUBWAY

ABSTRACT: The São Paulo Subway Line 1-Blue, also known as the North-South Line, began work in 1968 and was completed and inaugurated on September 14, 1974.

Not unlike other buildings, the stretch of line 1-Blue of the Metro mentioned, has been affected in its structure daily by aggressive agents or bad weather, which will naturally generate wear and tear, degradation and damage the proper functioning of a concrete structure and in the same way leaving it exposed to corrosion.
To ensure a good performance and a good lifespan of a building, it is necessary to study, know and identify the pathologies, as well as study and identify the possible causes for their appearance.
This work has the purpose of a case study, on the main pathologies observed in the extension of the tracks and stations in the 1-Blue line of the São Paulo Metro company, its possible causes and treatments.
In our view, those responsible for the safety of users and the operation of the Line should treat the case with more rigor and attention, to prevent any type of major problem.
Keywords: Pathology, Causes, Treatment, São Paulo Metro.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho foram abordadas as principais e mais recorrentes patologias identificadas ao longo do trecho norte da Linha Azul do Metro de São Paulo, especialmente as localizadas na estação Armênia que concentra a maior quantidade delas facilmente identificadas pelas pessoas que frequentam a estação.

A primeira linha de Metrô do Brasil possui 23 estações em sua extensão, incluindo a Sé que se localiza no marco zero da cidade integrando as quatro regiões: norte, sul, leste e oeste. A obra foi realizada na década de 70, não atendendo completamente nos dias de hoje as necessidades dos usuários e colaboradores pois carece de tecnologia e adaptações para melhor atendê-los.

Com um olhar crítico e técnico foram observadas uma grande quantidade de estruturas degradadas, fomentando a busca por soluções desde intervenções pequenas a reformas estruturais de grande porte visando a continuidade da oferta do serviço de transporte e a confiança do usuário.

1.1. JUSTIFICATIVA

A motivação para a realização deste estudo está relacionada ao fato de que o concreto armado é a principal estrutura utilizada atualmente na construção civil brasileira, tendo inúmeras vantagens como a durabilidade e alta confiabilidade, entretanto, é imprescindível a manutenção delas, principalmente tratando de um sistema metro-ferroviário como o da

cidade de São Paulo que transporta diariamente milhões de pessoas e conecta regiões sendo inaceitável sua interrupção parcial ou total. Este trabalho visa identificar, classificar e propor soluções para as patologias encontradas principalmente no trecho norte e elevado da linha 1-azul: a mais antiga e uma das mais movimentadas do sistema estabelecendo um eixo de transporte vital para o funcionamento da cidade.

O METRÔ de São Paulo é referência mundial em transporte metro-ferroviário e conhecido como uns dos sistemas mais limpos e eficazes na relação usuário/KM de trilhos sendo imprescindível a continuidade deste serviço principalmente tratando-se de uma empresa com todo um histórico positivo no emprego da engenharia de ponta.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo localizar, diagnosticar, discutir e apresentar as patologias encontradas nas patologias de concreto armado e analisar os problemas recorrentes encontrados nas partes aparentes e subterrâneos das linhas de metrô de São Paulo visando trazer diagnósticos, identificação e técnicas e métodos a serem usados para a recuperação dos mesmos.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Definir a abrangência da pesquisa baseada no mapeamento e captura de imagens das patologias localizadas ao longo da linha azul;
- Classificar as patologias de acordo com suas possíveis causas e efeitos por meio da busca ativa em bibliografias e manuais técnicos.
- Propor soluções economicamente viáveis e satisfatórias ao problema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O QUE É CONCRETO?

Segundo Bastos (2019) o concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), também pode conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. Para a sua produção, é necessário dosar a quantidade de cada material de forma proporcional, o que proporcionará ao concreto diversas características desejadas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Ainda segundo Bastos (2019), ao ser construído elemento estrutural em Concreto Armado, as armaduras de aço são previamente posicionadas dentro da fôrma (molde), para depois ser acrescentado o concreto fresco de forma a preencher a fôrma e envolver as armaduras, e simultaneamente o adensamento vai acontecendo. Essa fôrma é retirada apenas após ocorrer a cura e o endurecimento do concreto, assim, estará pronta a peça de concreto.
Segundo Mathias e Leite (2022) as estruturas de concreto são mais utilizadas no Brasil, porém são conhecidas em todos os países do mundo, o motivo do seu uso ser tão visado no Brasil é praticamente o fato de que o material necessário para fazer o concreto é de fácil acesso e a sua aplicação é simples e pode ser utilizada em diversos tipos de construção (desde viadutos, barragens, paredes de contenção para edifícios, entre outros).

2.1.1. CONCEPÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DO CONCRETO

Segundo Souza e Ripper (1998), as possíveis causas de falhas acontecem durante a etapa da sua concepção, devido a um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados. As falhas que ocorrem no projeto final são aquelas que resultam em patologias graves. Patologias graves podem ocorrer por diversos fatores, como:

> - Projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico, etc.); - Falta de compatibilidade entre a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos civis; - Especificação inadequada de materiais; - Detalhamento insuficiente ou errado; - Detalhes construtivos inexequíveis; - Falta de padronização das convenções; - Erros de dimensionamento. (HERANI, 2012, p. 8).

Segundo Herani (2012), a etapa funcional e lógica do processo de construção civil, é que a execução do concreto se inicia após o término da concepção, com a conclusão de todos os seus estudos e projetos. Os problemas que podem acontecer nesta etapa são:

> - Falhas na armação (estribos, ancoragem, emendas, cobrimento, espaçamento); - Falhas na concretagem (lançamento, adensamento, cura, fôrmas, juntas de dilatação, desforma e descimbramento); - Diferença entre a planta de armação e a lista de ferro; - Quando a armadura desloca sua posição quando da concretagem. - Projetos inadequados, deficiência no cálculo da estrutura ou avaliação da resistência do solo. (HERANI, 2012, p. 8).

E por fim, de acordo com Souza e Ripper (1998), a manutenção adequada do concreto se faz necessária ainda que as primeiras etapas (concepção e execução) tenham alcançado a qualidade adequada, isso por que o mau uso e a falta de manutenção das estruturas de concreto podem desencadear problemas patológicos.

Segundo Herani (2012) os problemas patológicos devido a manutenção inadequada, ou falta da mesma, correlacionam-se ao desconhecimento técnico, na incompetência e em problemas econômicos. Uma boa manutenção feita periodicamente dificultará o aparecimento de problemas patológicos sérios e, até mesmo a destruição da estrutura.
Ainda segundo Herani (2012) são divididas em dois grupos as causas para o problema patológico através dos procedimentos são as ações previsíveis (carregamento excessivo, provocado pela falta de informação no projeto e/ou inexistência de manual de utilização) e ações acidentais (alterações das condições de exposição das estruturas, provocados por incêndios ou abalos acidentais causados por obras vizinhas).

2.1.2. EXECUÇÃO SEGUNDO A NORMA

2.1.2.1. NBR 6118 (2014)

Essa é uma norma muito ampla no qual aborda diversas situações de projetos, prescrições e ela vai desde a parte de lançamento, dimensionamento e até métodos de análises (ABNT, 2004). Dentro dela ainda podemos ver os termos técnicos e definições que são muito utilizados em monografias que abordam esse assunto. Essa norma é considerada uma das mais importantes quando se trata de elementos básicos que são exigidos para projetos estruturas de concreto armado, a norma tem como principal objetivo assegurar a durabilidade das estruturas, a qualidade e a capacidade da estrutura, ela é responsável por abordar por exemplo parâmetros mínimos para o concreto conforme a necessidade do ambiente para que se evite a deterioração, conforme visto na tabela da figura 1 as normas de acordo com a agressividade do ambiente.

Figura 1 - Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental

Tabela 6.1 - Classes de agressividade ambiental

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[1), 2)]	Pequeno
III	Forte	Marinha[1)]	Grande
		Industrial[1), 2)]	
IV	Muito forte	Industrial [1), 3)]	Elevado
		Respingos de maré	

[1)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

[2)] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

[3)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento (p.16)

A figura 2 abaixo mostra a relação classe de agressividade e qualidade do concreto.

Figura 2 - Classes de agressividade e qualidade de concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento (p.18)

A figura 3 mostra a relação classe de agressividade e cobrimento nominal.

Figura 3 - Classes de agressividade e cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV[3)]
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje[2)]	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido[1)]	Todos	30	35	45	55

[1)] Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

[2)] 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

[3)] Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento (p.19)

A NBR 6118 estabelece também outras determinações a fim de promover durabilidade na estrutura como um todo. Em resumo essa norma abrange todos requisitos básicos e gerais para estruturas de concretos simples, armado e protendido.

2.1.2.2. NBR 15575

Essa norma visa atender as exigências dos usuários e ao relacionarmos com o estudo ela visa prover segurança em diversas áreas como por exemplo, perca de estabilidade, impactos, vibrações, choques e qualquer outras situações decorrentes da utilização normal do edifício. Além de não provocar sensação de insegurança aos usuários por quaisquer

deformações de elementos da estrutura. Nessa norma é possível notar diversos ensaios que ligam a essa parte de segurança e desempenho (Cebic, 2013). Além disso tem em sua característica

7 principais requisitos para o usuário quanto a qualidade do uso da mesma sendo elas: estanqueidade da água, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropo dinâmico, que são imprescindíveis em para um local com fluxo grande de pessoas.

2.2. PATOLOGIAS

De acordo com Souza e Ripper (1998) o termo patologia das estruturas refere-se ao estudo das origens, anomalias, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas, além de designar-se à formação da concepção, formação e ao projeto estrutural de um engenheiro cívil.

O estudo em patologia tomou força pela necessidade de reabilitar e manter estruturas já existentes, além de proteger aquelas que ainda serão construídas ainda segundo Souza e Ripper (1998) os motivos para esse estudo se dá por razões diversas, desde fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, até o fato de garantir o desempenho futuro (segurança, funcionabilidade e vida útil) das estruturas de concreto. Assim, iniciaram os estudos de maneira científica para estudar o comportamento da estrutura ao longo do tempo, desde a concepção até a manutenção da estrutura, com o necessário enfoque sobre as etapas de projeto e construção.

Existe uma classificação para os problemas patológicos das estruturas, segundo Souza e Ripper (1998) essa classificação é denominada como patologia simples (cujo diagnóstico e profilaxia são evidentes e não necessitam de um conhecimento muito aprofundado para a investigação) e patologia complexa (cujo diagnóstico precisa de uma análise individual e minuciosa com profundos conhecimentos da patologia das estruturas).

O estudo das patologias das estruturas nas construções tem avançado, mas carece de mais atenção e desempenho. Ainda segundo Souza e Ripper (1998):

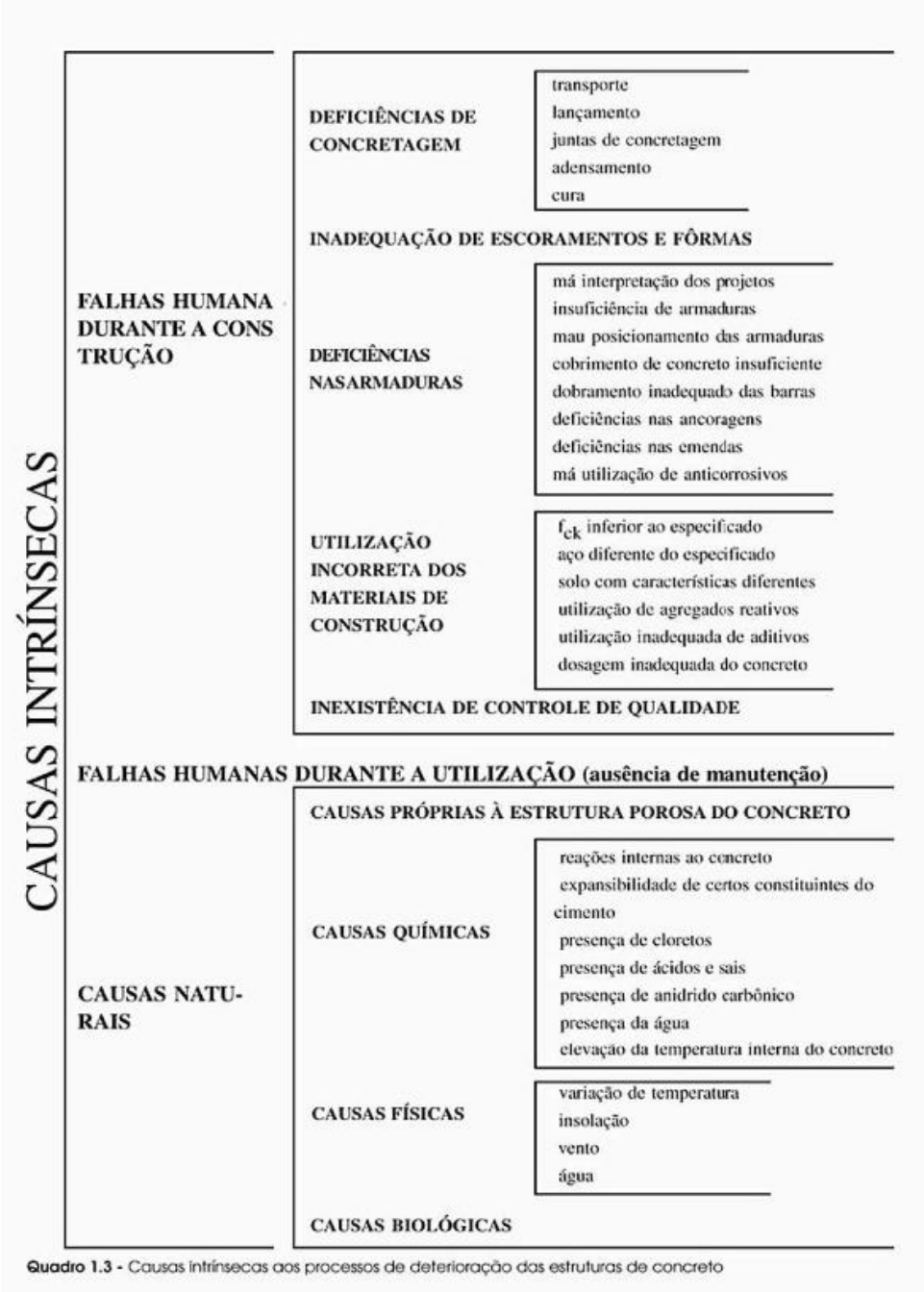
> os conceitos de qualidade da construção e de garantia desta qualidade são sérias questões a carecer de análise mais atualizada, assim como, e em especial, a segurança estrutural. Esta, em particular, por estar diretamente relacionada à pressão que a opinião pública exerce e aos riscos de enormes prejuízos humanos e materiais. (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 15).

Souza e Ripper (1998) citam duas causas principais da deterioração das estruturas de concreto, a primeira são as causas intrínsecas, esta costuma acontecer devido a erros no processo da concretagem como utilização errada de escoramentos, formas, materiais e

equipamentos de obra, erros de material e execução. A segunda são as causas extrínsecas, esta costuma acontecer por erros do profissional no momento da concepção do projeto da obra, erro nos dimensionamentos, cálculos, e um estudo muito superficial da modelagem do projeto estrutural, de forma clara, é uma má formação que acontece de "dentro para fora" da estrutura, com o passar dos dias.

A figura 4 mostra uma relação detalhada das causas intrínsecas e na figura 5 existe uma relação detalhada das causas extrínsecas.

Figura 4 - Causas Intrínsecas



Quadro 1.3 - Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

Fonte: SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.

Figura 5 – Causas Extrínsecas

Fonte: SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.

2.2.1. PRINCIPAIS PATOLOGIAS DE CONCRETO

As anomalias que levam a patologias do concreto, acontecem por vários fatores Olivari (2003), evidencia que as manifestações patológicas ser de caráter físico, químico ou mecânico, entre eles a sobrecargas, impactos, abrasão, movimentação térmica, concentração de armaduras, retração hidráulica e térmica, alta relação água/cimento, exposição a ambientes marinhos, ação da água, excesso de vibração, falhas de concretagem e falta de proteção superficial, entre outros. É necessário um estudo minucioso para identificar uma determinada e provável patologia da estrutura de concreto. Cada patologia é causada por um motivo em específico, e para descobri-la é necessário examinar a estrutura de concreto com muita cautela, levando em consideração os possíveis agentes causadores.

Segundo Grupo Fetz (2018) as principais patologias e seus agentes causadores são:

- Danos estruturais, o qual é responsável pela manifestação de fissuras ou trincas.

De acordo com Athanasopoulos e Pelekis (2000) apud Moreira (2002), é necessário ficar em alerta com os efeitos da vibração, pois pode afetar de forma negativa tanto à segurança das estruturas, quanto o conforto dos ocupantes. Nas últimas décadas a dinâmica do solo tem sido muito estudada, enfatizando as origens de vibrações e seus possíveis efeitos sobre estruturas. Dessa forma tem sido estudada a busca por materiais mais resistentes e sofisticados, segundo Rainer (1984) estes materiais resultarão em estruturas mais leves e esbeltas que serão mais propensas às vibrações do que as anteriormente mais pesadas.

- Ataques químicos, causados pela exposição a ambientes quimicamente agressivos, o qual muitas vezes é responsável pela carbonatação.
- Esboroamento, causado pelos desgastes térmicos (influenciado pela temperatura), é o responsável para que o concreto vire ou solte pó, tais como cristalização do sal e erosão.
- Corrosão de vergalhão, causado pela acidificação do concreto, é o responsável pelos danos que atacam o aço, pois o concreto deixa de protege-los.

Ainda segundo Grupo Fetz (2018), no momento da identificação da patologia e suas causas é necessário iniciar o seu reparo imediata e corretamente para evitar piora e até mesmo a perda da estrutura de concreto.

Para um diagnóstico correto das patologias estruturais deve-se fazer o uso de técnicas de investigação no local onde a estrutura se encontra, e posteriormente o teste em laboratório. Assim, será possível obter um relatório técnico com resultados concretos para o tratamento da patologia.

2.3. COMPANHIA METROPOLITANO

De acordo com São Paulo governo do estado (2019), a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô foi fundada em 24 de abril de 1968, e é controlado pelo Governo de São Paulo sob gestão da Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos (STM). É responsável pela operação e expansão de rede metroviária e pelo planejamento de transporte metropolitano de passageiros da Região Metropolitana de São Paulo.

Composta por 6 linhas, totalizando 104,4 km de extensão e 91 estações, a rede metroviária da cidade de São Paulo transporta mais de 5 milhões de passageiros diariamente. Está integrada à CPTM nas estações Luz, Tamanduateí, Brás, Palmeiras-Barra Funda, Tatuapé,

Corinthians-Itaquera, Pinheiros e Santo Amaro e aos outros modais de transporte na cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 2019).

2.3.1. ESTAÇÃO ARMÊNIA

A Estação Armênia possui 136,69 m de extensão, localiza-se sobre o Rio Tamanduateí e sobre as duas vias da Av. do Estado. A Estação Armênia é elevada e sua estrutura básica é composta por duas vigas longitudinais em concreto armado, que se apoiam sobre pilares comuns a ambas. Estas vigas sustentam as vias metroviárias e as plataformas de embarque da estação se apoiam sobre quatro pilares em concreto armado e transpõe perpendicularmente cada uma das pistas da Av. do Estado e o Rio Tamanduateí.

Neste trecho da travessia sobre a Av. do Estado as vigas cobrem três vãos, pois não existem pilares intermediários sob as mesmas, ficando as larguras das pistas e do rio totalmente desimpedidas. Os pilares também suportam os quadros transversais, que, por sua vez suportam a cobertura. Para fechamento lateral do nível mais elevado, foram executados peitoris e pilaretes de travamento, acompanhando toda a extensão das plataformas. A entrada à estação é feita pelos acessos Norte e Sul, constituídos, cada um, por uma escada rolante e duas escadas fixas. As áreas de cobertura dos acessos apresentam vigas-calhas de concreto pré-fabricado, apoiadas nas paredes laterais. Estas paredes em concreto armado estão parcialmente cobertas, na face interna, por placas de fibrocimento. Todos os elementos são em concreto armado, excluindo as paredes internas e externas do nível da rua, que são em alvenaria. A caixa d'água elevada é em concreto armado e localiza-se próxima ao acesso Norte.

2.4. CARBONATAÇÃO

A carbonatação é um dos processos de alterações químicas do concreto que está relacionado à redução e/ou à perda da capacidade de proteger os aços. Segundo Eng. Tokodume (2009), esta alteração química afeta o pH do material do concreto, e leva a redução da durabilidade da estrutura.

Sua composição em água e hidróxido de cálcio ($H_2O + Ca(OH)_2$) e dióxido de carbono (CO_2), presente no meio ambiente, a medida em que esse dióxido de carbono entra no concreto ele reage com a água formando um ácido carbônico (H_2CO_3) que tem um pH baixo e também reage com o hidróxido de cálcio formando um carbonato de cálcio ($CaCO_3 + H_2O$) com pH neutro que é a carbonatação, ou seja, a alta alcalinidade de concreto protege a camada apassivadora do aço e assim quando esse pH é transformado em neutro

devido a carbonatação acontece a quebra dessa camada ocorrendo a degradação do concreto da superfície até contato com o aço em alguns casos dependendo do recobrimento e do tempo de exposição (Tokodume, 2009).

De acordo com Zampa (2022) pode-se medir a profundidade da carbonatação e um dos processos mais comuns é a aplicação de Fenolftaleina no qual através das cores da camada é possível ver e medir a profundidade da carbonatação no concreto, nesse processo quando surge a cor lilás significa que ainda não houve a carbonatação e onde estiver sem cor ou opaca a carbonatação já ocorreu e seu pH já mudou.

Segundo Herani (2012) após o processo de medição da profundidade é necessário atenção com os níveis onde possam ser sinais de alertas, são divididos em 3 sendo eles:

- Superficial: cuja profundidade média é menor do que 5mm;
- Média: carbonatação cuja profundidade média é menor do que a espessura de cobrimento da armadura, sem despassivação da mesma;
- Profunda: carbonatação cuja profundidade média é igual ou maior doque a espessura de cobrimento da armadura com despassivação da mesma.

2.4.1. PROBLEMAS CAUSADOS PELA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

A consequência mais evidente que surge derivada da carbonatação é corrosão da armadura e a diminuição da seção do concreto. Além disso o aço perde aderência com o concreto fazendo com que o mesmo de desprenda. Segundo Alonso (1986) a corrosão ocorre apenas em ocasiões de concreto úmido sendo que em ambientes internos seco mesmo se houver a carbonatação no cobrimento do concreto não haverá incidência de corrosão.

2.4.2. TRATANDO A CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Uma das técnicas de tratar o concreto carbonatado é a realcalinização do mesmo para restaurar sua alcalinidade aumentando seu pH e essa técnica ainda possui uma vantagem de não ser necessária a remoção do concreto carbonatado deixando viável o processo. Segundo Araujo (2009) existem três tipos de soluções mais utilizados para esse processo. Dois deles ocorrem com o uso de corrente elétrica formando um campo elétrico (realcalinização eletroquímica) sendo o primeiro através da produção de íons hidroxila, devido a reação catódica na superfície das armaduras e o segundo através de um fluxo eletro-osmótico que leva a solução alcalina para o dentro dos poros capilares do concreto. O último se trata da absorção e difusão de uma solução alcalina por ação capilar e de forças

hidráulicas (realcalinização química) que independem do campo elétrico e do fluxo de corrente aplicado (Araujo, 2009).

2.4.3. PREVENÇÃO

Existem diferentes maneiras de evitar a carbonatação, sendo algumas delas fazendo com que o concreto seja menos poroso, como cimentos com baixo teor de hidróxido de cálcio como o cimento tipo CP III e o cimento tipo CP IV que por ter alto teor de escoria e argila pozolânica reduzem a porosidade de concreto e a quantidade de hidróxido de cálcio. Outra alternativa é diminuir a relação água/cimento colocada na mistura do concreto, o que levará a produção de um concreto mais impermeável ou usar a micro sílica (sílica ativa) usada como aditivo e quando está presente garante uma grande permeabilidade além de aumentar a resistência mecânica do concreto.

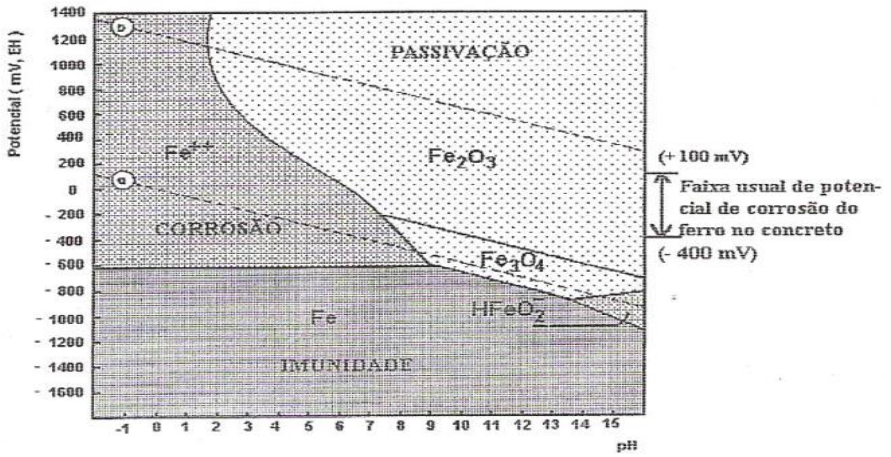
2.5. CORROSÃO

A corrosão é uma patologia que deteriora as propriedades do aço em estruturas de concreto.

Segundo Asope (2012), a corrosão das armaduras de aço em estruturas de concreto é causada por um fenômeno que só ocorre se as condições de proteção proporcionadas por esse revestimento de concreto forem insuficientes. Este fato torna a estrutura perigosa tanto em termos de aparência quanto de segurança. A falha na impermeabilização pode fazer com que o concreto seja “lavado”, expondo a estrutura de concreto. A situação é considerada preocupante, pois inicialmente corre alto risco de perder a resistência aos esforços solicitantes.

A corrosão de armaduras também depende do equilíbrio das reações de corrosão com o pH, e pode ser representado graficamente como mostrado na figura 6 abaixo.

Figura 6 - Diagrama de equilíbrio termodinâmico, onde mostra potencial x pH, para o sistema Fe-H2O a 25ºC, delimitando os domínios de corrosão, passivação e imunidade



Fonte: https://www.basalto.eng.br/wa_files/Corros_C3_A3o_20de_20Armaduras_20em_20Concreto-II.pdf

Segundo Helene (1986) para que a corrosão no interior do concreto se desenvolva, são necessárias algumas condições, como seguem:

- **Existência de Eletrólito:** O eletrólito, no concreto, é constituído pela solução intersticial aquosa que contém íons em solução, podendo ser fraca ou forte em função da quantidade de íons presentes
- **Existência de diferença de potencial:** deverá obrigatoriamente existir uma ddp entre dois pontos aleatórios, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão do concreto ou aço, impurezas no metal ou outras heterogeneidades características do concreto pela carbonatação ou pela presença de íons.
- **Existência de oxigênio:** será o oxigênio o regulador de todas as reações de corrosão, estando presente por dissolução nos poros do concreto.
- **Existência de agentes agressivos:** a ocorrência de agentes agressivos no eletrólito, influenciam fortemente o início e a velocidade da corrosão, como é o caso de íons sulfetos (S^{--}), íons cloretos (Cl^-), dióxido de carbono (CO_2), que atuam nas reações necessárias ao processo acentuando a ddp e facilitando a dissolução da camada de passivação.

A corrosão se desenvolve a partir das seguintes reações: Na zona anódica (zona de corrosão), ocorre a principal reação de dissolução do metal, a oxidação. Segundo Rogers (1967), o processo anódico ocorre na superfície do metal, conforme identificado na figura 7 abaixo.

Figura 7 - Reação química anódico

$$3\,Fe + 4\,H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 8\,H^+ + 8\,e^-$$

$$Fe \rightarrow Fe^+ + 2e^-$$

Fonte:https://www.basalto.eng.br/wa_files/Corros_C3_A3o_20de_20Armaduras_20em_20Concreto-II.pdf

Nas zonas catódicas (regiões não corroídas), ocorrem as reações de redução de oxigênio, que é o caso da armadura do concreto. Segundo Miranda e Basílio (1987) os processos catódicos se dão na interface entre o metal e o eletrólito e dependem da quantidade disponível de oxigênio em dissolução e do pH da interface metal-eletrólito, conforme indicado na figura 8 abaixo.

Figura 8 - Reação química catódicos

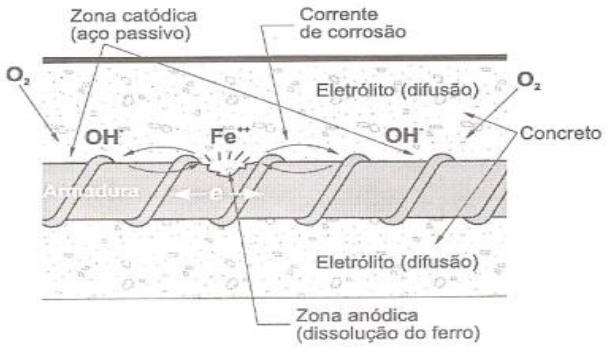
$$2\,H_2O + O_2 + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-$$

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

Fonte:https://www.basalto.eng.br/wa_files/Corros_C3_A3o_20de_20Armaduras_20em_20Concreto-II.pdf

Portanto, a principal causa da corrosão das armaduras é a permeabilidade e a porosidade do concreto que envolve a armação. Os produtos provindos da corrosão causam expansão nas armaduras, o que afeta o concreto e causa as fissuras na estrutura, conforme identificado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado



Fonte:
https://www.basalto.eng.br/wa_files/Corros_C3_A3o_20de_20Armaduras_20em_20Concreto-II.pdf

2.6. DESPLACAMENTO/ DESAGREGAÇÃO

O desplacamento ou desagregação do concreto, segundo Souza e Ripper (1998), é uma separação física das partículas no momento em que o concreto perde a sua propriedade aglomerante, isso faz com que a estrutura de concreto perca a sua capacidade de resistência no local aonde ocorreu essa desintegração.

De forma mais técnica, pode-se dizer que o problema de desagregação ocorre com a perda da função ligante do cimento, o que ocasionará no desplacamento de uma parte da camada de cobrimento, suas causas são diversas, sendo possível destacar a movimentação de fôrmas ou transporte inadequado do concreto, corrosão ou calcinação do concreto, ataques biológicos, carbonatação, perda de aderência e desgaste do concreto. A principal consequência da desagregação, é a perda de capacidade de resistir aos esforços solicitados (Souza e Ripper, 1998).

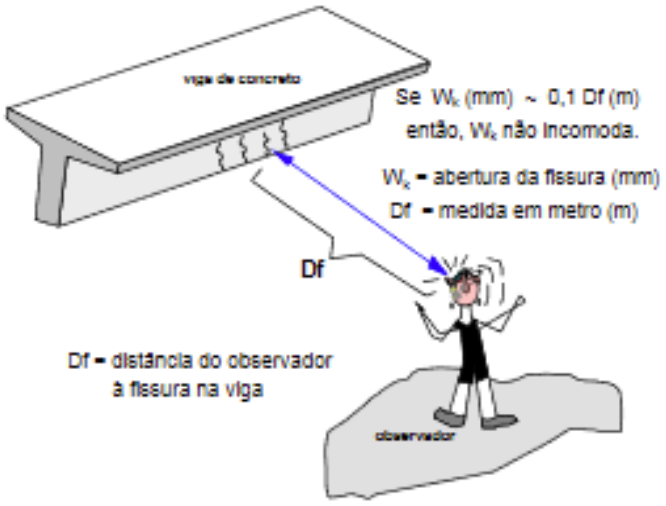
2.7. TRINCAS E FISSURAS

Segundo Angelo (2004) fissuras são sintomas patológicos de fácil percepção e o impacto visual delas gera descontentamento e pânico no usuário piorando a experiência do mesmo ao uso do serviço.

Padilha e Robles (1971 apud FAVRE, 1980) desenvolveram experiências para verificar os efeitos psicológicos das fissuras nos usuários de linhas de metrô na cidade do México, desenhando com crayon fissuras em vigas e paredes de diversos locais, com várias espessuras. Conforme indicado na figura 10, foi constatado que:

> Fissuras com aberturas menores que 0,3mm não causavam transtorno psicológico aos usuários; as fissuras finas e médias são mais percebidas em ambientes com maior luminosidade; e que o observador só percebe a presença de determinadas fissuras quando ele se posiciona a uma distância “Df” proporcional à espessura da fissura, sendo w[mm]=0,1 Df[m] (ANGELO, 2004, p. 70-71).

Figura 10 - Relação da distância do observador x abertura das fissuras



Fonte: ANGELO, V. Ana Margarida. Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto-MINEIRÃO

Durante muitos anos, acreditava-se que as fissuras eram fator preponderante para a degradação do elemento estrutural viabilizando a entrada de agentes agressores, entretanto, a principal patologia que viabiliza essa degradação é a permeabilidade do concreto de cobrimento e a porosidade dele.

Segundo Angelo (2004) através de experiências que ocorreram na França e Inglaterra, foi concluído que:

> Fissuras finas, na ordem de décimos de milímetro, não comprometem a durabilidade das estruturas de concreto, estando estas em ambientes de agressividade normais. (ANGELO, 2004, p. 72).
> Fissuras com aberturas entre 0,3mm a 0,5mm podem se constituir potencial perigo à durabilidade das estruturas, estando os elementos de concreto armado em ambientes de agressividade média. (ANGELO, 2004, p. 72).

Atualmente percebe-se uma escassez quanto a escritas bibliográficas que investigam sobre a fissuração dos elementos estruturais e sua relação com a durabilidade das estruturas, pois não interfere de forma significativa na variação da vida útil das estruturas. Ou seja, “a fissuração deixou de ser considerada como fator relevante na durabilidade das estruturas de concreto, ficando apenas como parte da análise dos esforços estruturais” (Vieira, 2004). Caso os esforços exigidos forem maiores que a resistência do material, a estrutura pode apresentar piora e chegar a algumas patologias como fissuras, trincas, rachaduras, fendas e até mesmo brechas. E com base nisso, montou-se a tabela indicada na figura 11 abaixo, classificando tais fissuras com base nas aberturas.

Figura 11 – Classificação da fissura quanto à abertura

Classificação da fissura quanto à abertura	
Tipo de Lesão	**Abertura**
Fissura	Até 0,5 mm
Trinca	De 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	De 1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	De 5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	Acima de 10,0 mm
Fonte: Oliveira (2012)	

Fonte: Valamiel de Oliveira et al., 2019

Ainda, segundo Angelo (2004) percebe-se a necessidade do acompanhamento e identificação da fissuração por causar alguns incômodos, como por exemplo o psicológico para usuários leigos e a possibilidade do aumento da deformação das estruturas de concreto armado, e a possibilidade da mesma apresentar perda de estanqueidade, e quando as fissuras estão em estado grave, com grandes aberturas passam a ser um fator potencial no processo de corrosão das armaduras, devido à facilidade de acesso dos agentes agressivos.

3. METODOLOGIA

O tipo de pesquisa utilizada no projeto foi descritivo e exploratório e os procedimentos de coleta dos dados contidos nessa pesquisa, foram através de pesquisas em apostilas, livros e artigos relacionados ao assunto de patologias, formas de tratamento, diagnósticos e recuperação total do concreto armado. Como também foi verificado as diretrizes técnicas seguindo as Normas Brasileiras NBR's para uso e manutenção apropriados, e para o fundamento técnico, pesquisa em manuais de procedimentos do metrô utilizados para tratamentos e reparos estruturais. Com isso tem se por objetivo descrever, exemplificar e diagnosticar as patologias encontradas durante o estudo e pontuar os materiais e formas encontradas para o tratamento das mesmas.

Para adentrar mais profundamente no tema foram analisados artigos referentes a manutenções elaborados por empresas especializadas em patologias que prestam serviços ao metro. Além disso foi feito um dossiê de imagens durante o primeiro semestre de 2022 com patologias aparentes ao usuário ao longo das estações e a classificação das mesmas por meio de artigos e livros diagnosticando-as e encontrando possíveis soluções, também ocorreram reuniões com engenheiros responsáveis pela área de manutenções do metrô,

estes encontros aconteceram sob sigilo de informações, ainda assim houve uma melhor compreensão e análise do tema devido ao auxílio deste especialista que diariamente enfrenta essas situações.
Assim foi possível analisar, estudar e discutir as possíveis causas e sintomas que foram apresentados.

3.1. ESTUDO DE CASO

A estação Armênia localizada no bairro do Bom Retiro construída sobre o rio Tamanduateí e avenida do Estado destaca-se pelo número de trincas, fissuras e rachaduras que possui. Inaugurada no ano de 1975, a estação é elevada, em curva, com estrutura em concreto aparente, cobertura pré-fabricada de concreto e duas plataformas laterais. Foi a primeira estação de Metro construída com um vão de 25 m entre os 4 pilares que a sustentam. Durante o percurso do trajeto da linha 1-Azul do metrô de São Paulo, foram identificados com maior destaque 4 tipos de patologias, entre elas Carbonatação, Corrosão, Rachaduras e Trincas.

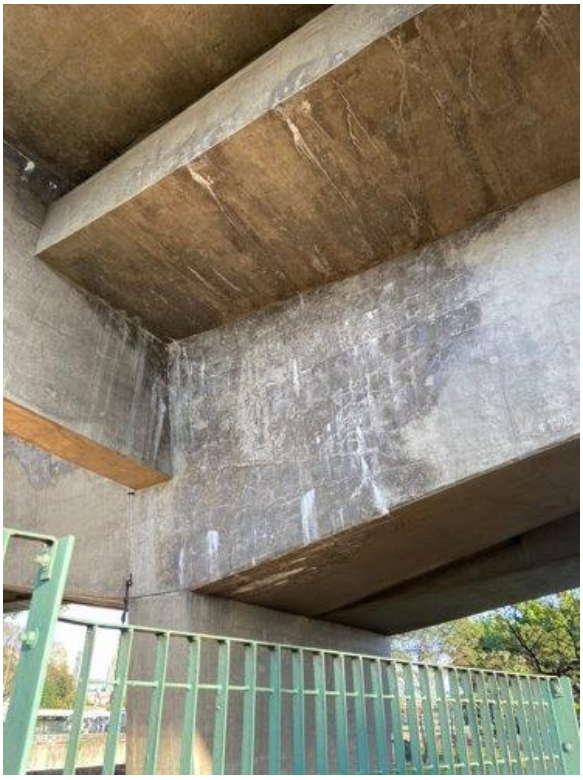
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou uma análise geral das estruturas de concreto e seus diferentes tipos de patologia aprimorando o conhecimento de tais anomalias que se fazem presentes nas estruturas estudadas, tendo em vista a detecção e as devidas formas de tratamento para as patologias em questão.
Visando mostrar a importância das inspeções periódicas e os devidos monitoramentos nas estruturas e problemas encontrados nelas, tais como fissuras, trincas e os demais tipos de patologias.
Com base nas imagens registradas, foi possível identificar diversos tipos de patologias encontradas nas estruturas de concreto das estações do metrô. As patologias em estruturas de concreto podem se dar por diversos fatores, desde a qualidade do material a até mesmo falta de manutenção preventiva durante o uso. Trincos, rachaduras e fissuras são os tipos mais comuns presentes em estruturas de concreto, podendo ser causadas por variação climática, sobrecarregamento de estruturas, esforços de tração, flexão, entre outros fatores. Nas figuras 12, 13 e 14 indicadas a seguir, é possível identificar problemas de Carbonatação.

Figura 12 - Carbonatação e umidade localizada na estação São Joaquim próximo ao elevador do acesso leste

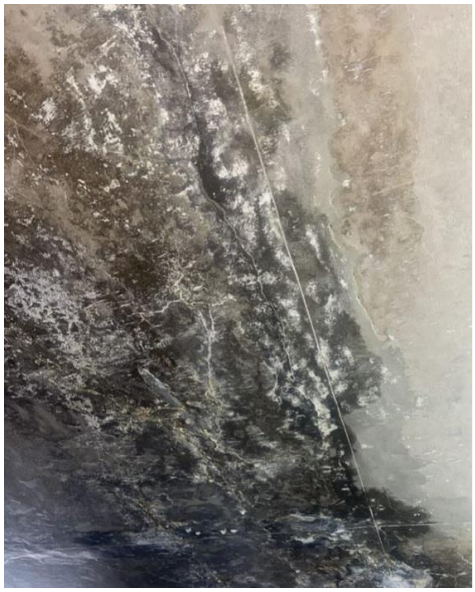
Fonte: Autor

Figura 13 - Carbonatação, umidade e rachaduras na viga longitudinal ao centro da estação Armênia



Fonte: Autor

Figura 14 - Carbonatação, umidade e mofo em laje da estação Santana área paga próximo a plataforma 2 sentido Jabaquara



Fonte: Autor

Para o tratamento dessas patologias, pode-se optar por três meios de reparo:

-Elementos estruturais visíveis ao usuário: Reparo com acabamento com pintura em verniz

-Elemento estrutural não visível ao usuário: Reparo sem acabamento

-Reparo de Infiltração: Reparo especificado para regiões que apresentam anomalias de umidade ou infiltração em níveis de alerta “Normal, Atenção e Crítico” para todas as causas, inclusive por superfície micro fissurada (causada por fissuras de aberturas inferiores a 0,3 mm); para fissuras com aberturas maiores que 0,3mm.

Na figura 15 indicada abaixo, é possível identificar problema de Corrosão.

Figura 15 - Corrosão aparente da armadura em viga longitudinal da plataforma 1 sentido Tucuruvi ao norte e desplacamento do cobrimento do elemento estrutural devido ao elevado grau de corrosão

Fonte: Autor

Para o tratamento dessa patologia, pode-se optar pelo reparo de armadura exposta: Reparo especificado para anomalias em níveis de alerta “Normal, Atenção e Crítico”, envolvendo serviços de lixamento manual ou mecânico das armaduras corroídas e medida do diâmetro efetivo das barras, feita após a limpeza das mesmas, para verificar a necessidade de substituição ou colocação de armadura adicional.

Nas figuras 16 e 17 indicadas abaixo, é possível identificar problema de Desplacamento.

Figura 16 - Desplacamento da cobertura da estação Armênia

Fonte: Autor

Figura 17 - Desplacamento, mofo e carbonatação devido à infiltração em cobertura da estação Armênia

Fonte: Autor

Para o tratamento dessa patologia, pode-se optar por dois meios de reparo:

-Reparo Profundo em Concreto: especificado para anomalias de concreto segregado, desagregado ou disgregado, em níveis críticos, que demandem recomposição profunda do substrato, isto é, recomposição atingindo região por detrás da armadura.

-Reparo Superficial do concreto: Reparo especificado para anomalias de concreto segregado, desagregado ou disgregado, em nível de alerta “Atenção”, que demandem recomposição superficial do substrato, isto é, recomposição de região que não atinge a totalidade do cobrimento da armadura.

Nas figuras 18 e 19 indicadas abaixo, é possível identificar problema de Fissuração.

Figura 18 - Fissura em elemento estrutural ao sul de Tietê devido a expansão que ocorre na reação química resultante da corrosão

Fonte: Autor

Figura 19 - Rachaduras no apoio da viga ao norte da estação Armênia

Fonte: Autor

Para o tratamento dessa patologia, pode-se optar por dois meios de reparo:

-Injeção de Fissuras: Reparo especificado para anomalias de fissuras que necessitem recomposição da seção de concreto. O material apropriado para execução deste serviço será em função das condições de umidade/infiltração determinadas no relatório de inspeção, porém, deverá ser efetuada pesquisa no local para confirmar as atuais condições da região (úmida ou seca) junto a cada fissura, previamente à execução do reparo.

-Selagem de Fissuras: Reparo especificado para anomalias de fissuras que necessitem simples vedação para proteção contra penetração de agentes agressivos na estrutura de concreto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES

O trabalho teve como objetivo diagnosticar essas patologias e trazer de forma coesa e sucinta como evitar, tratar e identificá-las. Como observado deve se fazer uma seleção de materiais de qualidade na hora da execução e mão de obra especializadas para os tratamentos.

Pode-se perceber com as pesquisas e informações junto aos engenheiros do metrô que a empresa está atualizada nas técnicas e atentos com as patologias que foram apresentadas (entre outras) e estão em todo o trecho do metrô. A empresa conta com um corpo técnico vasto e com um ótimo plano de manutenção para as mesmas, fazendo um estudo aprimorado para a melhor solução, mostrando-se empenhados em trazer um serviço de qualidade e fazer com que os usuários tenham boas experiências e total segurança no uso das estações e redondezas.

A análise desse estudo possibilita uma visão ampla em estruturas de concreto, nos possibilitando adquirir conhecimentos e nos aprofundar no tema, juntamente com a experiência de trazer uma investigação e até mesmo o diagnóstico que são sempre necessários na jornada um engenheiro. Além disso através das reuniões com os funcionários da empresa e discussões, é possível observar as relações interpessoais e networking na área, o que se entende como um ponto primordial pois traz incentivo na busca de maior conhecimento estrutural de uma das obras mais utilizadas diariamente pelos cidadãos paulistas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 2004. Disponível em:< chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento> Acesso em: 20 de nov. de 2022.

ALONSO, C. Estudio de la corrosion de armaduras em hormigón carbonatado. 1986. Tesis (Doctoral). Facultad de Ciências, Universidad Complutense de Madrid. Madrid – España. 360p.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

ANGELO, V. Ana Margarida. Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto-MINEIRÃO. Universidade Federal de Minas Gerais. Brasil.

ARAUJO, Fernanda Wanderley Correa de. Estudo de repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASOPE, 2012. Corrosão de armadura: o que causa e como amenizar esse dano?. Disponível em:< https://www.asope.com.br/single-post/2018/10/09/corrosao-de-armadura> Acesso em: 07 de set. de 2022.

BASTOS, S. Paulo. Fundamentos do Concreto Armado. 2019. Universidade Estadual Paulista. Bauru.

CEBIC, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_da_Norma_de_Desempenho_2013.pdf> Acesso em: 19 de nov. de 2022.

ECIVIL, 2015. Lixiviação. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.html> Acesso em: 10 de set. de 2022.

ENG MAT COM, 2021.Carbonatação do Concreto: causas, consequências e tratamento. Disponível em <https://eventos.congresse.me/engmatcon/resumos/11181.pdf?version=original#:~:text=Para%20tratar%20a%20carbonata%C3%A7%C3%A3o%20do,da%20eleva%C3%A7%C3%A3o%20do%20seu%20pH> Acesso em: 15 de set. de 2022.

Engª TOKUDOME, Naguisa. 2009. Carbonatação de concreto. Disponível em:< https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/carbonatacao-do-concreto/> Acesso em: 05 de set. de 2022

GRUPO FETZ, 2018. Patologias do concreto: o que são e como evita-las. Disponível em: <https://fetz.com.br/patologias-do-concreto-o-que-sao-e-como-evita-las/>Acesso em: 08 de set. de 2022.

HELENE, P.R.L. Corrosão das Armaduras para Concreto Armado.São Paulo-SP, IPT, PINI, 1986

HERANI, T.S.A.G. Patologias e tratamentos estruturais no metro de São Paulo. 2012. Universidade Presbiteriana Mackezie.

INOVA CIVIL, 2022. Manifestações patológicas nas estruturas de concreto. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.html> Acesso em: 11 de set. de 2022

KERKOFF, M. Manifestações Patológicas em edificação: Lixiviação. Vilha Velha, ES. 2017. Disponível em:<https://guideengenharia.com.br/lixiviacao-em-edificacoes> Acesso em: 10 de set. de 2022.

TOTAL CONSTRUÇÃO, 2020. Lixiviação de concreto – O que é? Como evitar?. Disponível em: https://www.totalconstrucao.com.br/lixiviacao-do-concreto/ Acesso em: 08 de out. de 2022.

MATHIAS, P. G., LEITE, A. R. 2022. Estudo Comparativo entre Métodos Construtivos com o uso do BIM. São Paulo: Universidade Mackenzie.

MIRANDA, T.R.V.; BASÍLIO, F.A. Alguns aspectos eletroquímicos da corrosão de armaduras em concretos. Informativo INT , v.19, n.39, p.21-4, maio/ago. 1987.

MOREIRA, T. do V. Análise da Sensibilidade Dinâmica de Edifícios com Estruturas Esbeltas. 260 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

OLIVARI, Giorgio. Patologia em Edificações. Defesa – trabalho de conclusão de curso, graduação em engenharia civil, dissertação. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi.2003. 95p.

PADILHA, J.D., ROBLES, F. Human response to cracking en concrete slabs, IN AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, special publication SP-30. Detroit: AC1, 1971.

RAINER, J. H. Vibrations in Buildings. National Research Council Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest 232, Maio 1984.

ROGERS, T.H. Marine corrosion. London, s.ed., 1967.

SANTOS, M. R. G. Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso. 2012. 122f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012. Disponível em: http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/88.pdf. Acesso: 13 de out. de 2022.

SÃO PAULO governo do estado, 2019. Disponível em: < https://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/quem-somos/index.aspx> Acesso em: 11 de nov. de 2022

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.

VIEIRA, Ana M. A.. Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto-Mineirão. Belo Horizonte, 2004.

VIEIRA, S. Patologias de estruturas de concreto: identificação e tratamento. São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causadospela-lixiviacao-do-concreto/. Acesso: 08 de set. de 2022.

ZAMPA, Gustavo. 2022. Ensaio de Fenolftaleína para detectar carbonatação de concreto. Disponível em: < https://www.engenheirocivillondrina.com.br/ensaio-fenolftaleina-carbonatacao-concreto/> Acesso em: 16 de set. de 2022.