

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Curso de Especialização em Construção Civil

Jessica Maria Ferreira dos Reis

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS
ESTRUTURAS DE CONCRETO: ANÁLISE DAS
ANOMALIAS VISUAIS EM CINCO ESTAÇÕES DE METRÔ
DE BELO HORIZONTE**

**BELO HORIZONTE
2023**

JESSICA MARIA FERREIRA DOS REIS

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO: ANÁLISE DAS
ANOMALIAS VISUAIS EM CINCO ESTAÇÕES DE
METRÔ DE BELO HORIZONTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de especialização em Construção Civil do departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Certificado de Especialista.

Área: Construção Civil

Orientador: Antonio Neves de Carvalho Junior

**BELO HORIZONTE
2023**

R375e	<p>Reis, Jéssica Maria Ferreira dos. Estudos das manifestações patológicas nas estruturas de concreto [recurso eletrônico] : análise das anomalias visuais em cinco estações de metrô de Belo Horizonte / Jéssica Maria Ferreira dos Reis. – 2023. 1 recurso online (49 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.</p> <p>Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.</p> <p>Bibliografia: f. 49. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil. 2. Estrutura de concreto. 3. Patologia de construção. 4. Concreto armado. 5. Metrô – Belo Horizonte (MG). I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 69</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Marcio Anderson de Andrade Gomes CRB/6 2812
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: JÉSSICA MARIA FERREIRA DOS REIS

MATRÍCULA: 2020685625

RESULTADO

Aos 12 dias do mês de julho de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO: ANÁLISE DAS ANOMALIAS VISUAIS EM CINCO ESTAÇÕES DE METRÔ DE BELO HORIZONTE”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 80,0

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Assinatura

Antônio Neves de
Carvalho Júnior

Assinado de forma digital por
Antônio Neves de Carvalho Júnior
Dados: 2023.07.12 14:31:41 -03'00'

Nome

Prof. M.Sc. Agnus Rogério Rosa

Assinatura

AGNUS ROGERIO
ROSA:45630070649

Assinado de forma digital por AGNUS
ROGERIO ROSA:45630070649
Dados: 2023.07.12 14:45:21 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 12 de julho de 2023

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior

Assinado de forma digital
por Antônio Neves de
Carvalho Júnior
Dados: 2023.07.12
14:32:12 -03'00'

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por todas as oportunidades. Meus pais por todo apoio durante toda a minha jornada pessoal e profissional. Meus sinceros agradecimentos a todo corpo docente do Curso de Especialização em Construção Civil, aos professores, em especial ao professor Antonio junior, aos mestres e doutores por todos os ensinamentos, orientações e dicas ao longo desse tempo. Com certeza todo o aprendizado adquirido durante o curso contribuirá de forma efetiva para meu crescimento profissional.

RESUMO

As manifestações patológicas em estruturas de concreto não deixam de ser um tema muito discutido e vem ganhando importância no setor da construção nos últimos anos. Muitos estudos abordam a temática das patologias, como o da lei de Sitter, que mostra o aumento gradativo do custo do reparo quando as medidas de manutenção preventiva são negligenciadas, seja pelo poder público, seja pelos espólios privados. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas visíveis que acometem as estruturas de concreto armado em 5 (cinco) estações das 19 (dezenove) estações que compõem as linhas do trem elétrico (metrô) na cidade de Belo Horizonte. Para tanto, procurou conceituar por meio da literatura e normas técnicas vigentes e por meio de verificações e investigações *in-loco*, fazer uma ligação entre a literatura e as manifestações patológicas verificadas durante o estudo. As anomalias foram, portanto, examinadas, suas causas identificadas e sua gravidade atribuída, assim como os procedimentos de correção adequados aos apontamentos.

Palavras-chave: estrutura de concreto; manifestação patológica; manutenção; estação ferroviária elétrica.

ABSTRACT

Pathological manifestations in concrete structures are still a much discussed topic and have been gaining importance in the construction sector in recent years. Many studies address the issue of pathologies, such as Sitter's law, which shows the gradual increase in repair costs when preventive maintenance measures are neglected, either by the government or by private assets. Thus, this work aims to analyze the visible pathological manifestations that affect reinforced concrete structures in 5 (five) stations of the 19 (nineteen) stations that make up the electric train lines (subway) in the city of Belo Horizonte. To this end, it sought to conceptualize, through the literature and current technical standards and through verifications and investigations in loco, to make a connection between the literature and the pathological manifestations verified during the study. The anomalies were, therefore, examined, their causes identified and their severity attributed, as well as the appropriate correction procedures to the notes.

Keywords: concrete structure; pathological manifestation; maintenance; electric railway station.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Modelo de corrosão das armaduras no concreto.....	21
Figura 02: Projeto Metrô de Belo Horizonte.....	28

LISTA DE IMAGENS

Imagem 01:Fotografia Estação Minas Shopping.....	29
Imagem 02:Fotografia Estação Minas Shopping.....	29
Imagem 03:Fotografia Estação Minas Shopping.....	30
Imagem 04:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	30
Imagem 05:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	31
Imagem 06:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	31
Imagem 07:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	32
Imagem 08:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	32
Imagem 09:Fotografia Estação Jose Candido da Silveira.....	33
Imagem 10:Fotografia Estação Santa Inês.....	33
Imagem 11:Fotografia Estação Santa Inês.....	34
Imagem 12:Fotografia Estação Santa Inês.....	34
Imagem 13:Fotografia Estação Santa Inês.....	35
Imagem 14:Fotografia Estação Santa Inês.....	35
Imagem 15:Fotografia Estação Horto.....	36
Imagem 16:Fotografia Estação Horto.....	36
Imagem 17:Fotografia Estação Horto.....	37
Imagem 18:Fotografia Estação Horto.....	37
Imagem 19:Fotografia Estação Horto.....	38
Imagem 20:Fotografia Estação Horto.....	38
Imagem 21:Fotografia Estação Horto.....	39
Imagem 22:Fotografia Estação Horto.....	39
Imagem 23:Fotografia Estação Horto.....	40
Imagem 24:Fotografia Estação Santa Teresa.....	40
Imagem 25: Fotografia Estação Santa Teresa.....	41
Imagem 26: Fotografia Estação Santa Teresa.....	41
Imagem 27: Fotografia Estação Santa Teresa.....	42
Imagem 28: Fotografia Estação Santa Teresa.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Identificação das patologias observadas.....	43
Tabela 02 - Classificação das patologias observadas.....	44
Tabela 03 - Critérios para elaboração Matriz GUT.....	45
Tabela 04 - Classificação das Estações Inspeccionadas com base nos valores obtidos por meio da Matriz GUT.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 PATOLOGIAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E DEMAIS CONCEITOS	16
3.1.1 Durabilidade das Estruturas	17
3.1.2 Corrosão de Armaduras	20
3.1.3 Carbonatação	22
3.1.4 Lixiviação	23
3.1.5 Eflorescência	23
3.1.6 Inspeção	24
4. MÉTODO E PROCEDIMENTOS	26
4.1 METODOLOGIAS APLICADAS	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 HISTÓRICO METRÔ DE BELO HORIZONTE	27
5.2 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DAS ANOMALIAS VISUAIS EM CINCO ESTAÇÕES DE METRÔ DE BELO HORIZONTE	29
5.2.1 Estação Minas Shopping.....	29
5.2.2 Estação José Candido.....	30
5.2.3 Estação Santa Inês.....	33
5.2.3 Estação Horto.....	36
5.2.3 Estação Santa Teresa	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
7. SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

A NBR 6118:2014 é a norma técnica brasileira que estabelece os requisitos para projeto, dimensionamento, execução e controle de estruturas de concreto armado e protendido. Segundo esta norma, uma estrutura de concreto é entendida como um conjunto de elementos estruturais de concreto armado ou de concreto protendido, que, quando interligados, formam um sistema resistente capaz de suportar as cargas atuantes e trazidas ao solo.

Os elementos estruturais são lajes, vigas, colunas, fundações etc., e devem ser projetados e calculados levando em consideração fatores como cargas aplicadas, propriedades do material, condições de contorno e restrições estruturais. A norma também estabelece os critérios de controle de qualidade dos materiais aplicados na construção da estrutura bem como os técnicos de execução e as etapas do processo construtivo e manutenção que devem ser seguidas para garantir a segurança e durabilidade das obras.

As manifestações patológicas em obras de concreto armado podem ser devidas a diversos fatores, como: problemas de construção, mão de obra, materiais aplicados, uso indevido ou falta de manutenção. Essas falhas podem afetar a segurança e a estabilidade da estrutura Além de afetar a durabilidade e o desempenho. Os sintomas patológicos mais comuns em estruturas de concreto armado são fissuras, deslocamentos. deformação excessiva, lascamento, etc. Esses problemas podem ocorrer por vários motivos, como sobrecargas, variações de temperatura, exposição a produtos químicos e agentes biológicos vibração, etc.

A manutenção adequada das estruturas de concreto armado é essencial para prevenir ou reduzir esses problemas. A falta de manutenção pode aumentar os custos de reparo, bem como a segurança dos usuários da estrutura.

O cuidado de estruturas de concreto armado consiste em inspeções regulares. reparando fissuras e rachaduras, reforçando a proteção contra corrosão do aço, reforços estruturais (quando necessário) e garantindo a limpeza e pintura de superfícies (quando existente) e outras atividades. É importante ressaltar que a manutenção deve ser realizada por profissionais qualificados e com experiência no

setor.

Em suma, a manutenção preventiva e corretiva de estruturas de concreto armado é necessária para a segurança, durabilidade e desempenho das construções.

É necessário que os proprietários e responsáveis pelas estruturas estejam cientes da necessidade de manutenção e tomar as medidas necessárias para prevenir ou corrigir os defeitos existentes, evitando assim prejuízos financeiros e riscos de segurança.

Relativamente à delimitação temática deste trabalho, foi abordada a vistoria preliminar, considerando os parâmetros de avaliação estrutural, funcional e de durabilidade das estruturas estudadas, fazendo-se uma comparação das anomalias que correspondem ou não aos referidos parâmetros, a partir de vistorias realizadas em 5 (cinco) estações do metrô de Belo Horizonte.

O Metrô de Belo Horizonte é o sistema de transporte metroviário operante na cidade de Belo Horizonte, operado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos, através da Superintendência de Trens Urbanos de Belo Horizonte (STU/BH). Possui atualmente 28,1km de extensão, com perspectivas de expansão graças aos recursos garantidos pelo Ministério das Cidades. Além de Belo Horizonte, o sistema também atende o município de Contagem, tendo uma das dezenove estações do sistema em seus limites, a Estação Eldorado. Diariamente, cerca de 215 mil pessoas utilizam o Metrô de Belo Horizonte, sendo atualmente o quarto maior sistema operante no Brasil.

O sistema começou a operar comercialmente em agosto de 1986, com base em um projeto atualizado que previa a implantação de uma rede de transporte sobre trilhos de 37km, divididos em dois ramais, Eldorado-São Gabriel e Barreiro-Calafate. Inicialmente, apenas o trecho Eldorado-Lagoinha foi implantado. Mais tarde, mais trechos foram entregues, porém fora do cronograma previsto. Somente em 2002, as atuais 19 estações do sistema foram entregues e apenas em 2005 que o Metrô de Belo Horizonte passou a operar em atividade plena. O ramal Barreiro-Calafate chegou a ser iniciado em 1998, mas nunca foi concluído.

Em 2011, a presidente Dilma Rousseff anunciou a liberação de 3,16 bilhões de reais em recursos para a modernização, ampliação e manutenção do sistema em Belo Horizonte. Tais recursos provenientes do PAC Transportes, sendo 1 bilhão vindos do governo federal, outros 1,1 bilhão da iniciativa privada e o restante vindos de financiamentos. Os investimentos foram destinados à modernização e ampliação do ramal existente (Eldorado-Vilarinho), a retomada do ramal Barreiro-Calafate e a implantação do ramal subterrâneo Savassi-Lagoinha.

Contudo, observa-se na prática uma carência e ineficiência de ações preventivas e corretivas em relação a aplicação dos recursos ao longo desses anos, no que diz respeito a manutenção das linhas existentes, onde diversas patologias foram detectadas nas estruturas de concreto armado de 5 (cinco) das 19 (dezenove) estações de metrô que estão em funcionamento e que serão abordadas ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

A reflexão acerca da efetividade da rotina das manutenções preventivas é confirmada pela lei de Sitter, onde há a demonstração financeira de evolução dos custos em cada etapa em que houver negligência, imperícia ou erro, seja em obras públicas ou privadas.

Ainda hoje, em 2023, centenas de obras públicas concebidas em concreto armado em todo o Brasil encontram-se em condições de degradação avançada, tornando-se cada vez mais comum notícias nos meios sociais que refletem a precariedade na rotina das inspeções, reparos e reforços. Esse cenário resulta em obras emergências e manutenções corretivas que elevam os custos, insuflando as verbas públicas que poderiam ser redirecionadas para saúde, educação e obras de melhoria urbana.

Com o objetivo de atrair atenção para esse tema, o trabalho apontará as manifestações patológicas que acometem as estruturas de concreto executadas no em uma amostragem das estações que abrangem o metrô da cidade de Belo

Horizonte e região metropolitana, de modo a direcionar os olhares do poder público para a manutenção, que embora não tenha grande destaque aos olhos da população para demonstrar avanço de um governo é essencial para a vida útil e o patrimônio das cidades.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar um estudo de caso das manifestações patológicas aferidas em 05 (cinco) das 19 estações que atendem os municípios de Belo Horizonte e Contagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral estruturou-se os objetivos específicos:

- ✓ Estudar bibliograficamente e normativamente as manifestações patológicas que acometem a estrutura de concreto exposta ao tempo e localizada dentro de uma metrópole;
- ✓ Elaborar um estudo de caso apontando a existência ou não de manifestações patológicas que coincidam com as apontadas no estudo bibliográfico;
- ✓ Registrar fotograficamente e analisar as manifestações patológicas e apresentar possíveis procedimentos de correção.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PATOLOGIAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E DEMAIS CONCEITOS

A norma técnica NBR 6118:2014 é um documento que estabelece os parâmetros para o projeto e execução de estruturas de concreto armado. Essa norma é essencial para garantir a segurança das construções e a durabilidade das estruturas. É de extrema importância que os profissionais envolvidos no projeto e execução de estruturas de concreto armado estejam atentos aos parâmetros definidos pela norma supracitada. Isso porque esses parâmetros garantem que a estrutura será segura e durável, e que não haverá riscos para os usuários da etapa de construção e uso.

O atendimento aos parâmetros definidos pela norma técnica deve ser feito em todas as etapas do projeto e execução da estrutura. Na etapa de projeto, os profissionais devem estar atentos às especificações da norma em relação aos materiais utilizados, às dimensões da estrutura, ao dimensionamento dos elementos estruturais, entre outros aspectos. Na etapa de execução, é fundamental que as orientações da norma sejam seguidas rigorosamente. Isso inclui a correta execução das armações, a utilização dos materiais especificados na norma, a verificação do nível de umidade e resistência do concreto, entre outras etapas.

O não atendimento aos parâmetros definidos pela norma técnica NBR 6118:2014 pode acarretar em sérios riscos para a segurança da construção e dos usuários, além de diminuir a durabilidade da estrutura. Portanto, é fundamental que os profissionais envolvidos no projeto e execução de estruturas de concreto armado estejam familiarizados com as especificações da norma e atentos à sua aplicação em todas as etapas do processo. Somente assim será possível garantir a segurança e a qualidade das construções.

Superada e atendida as especificações normativas na etapa de projeto e execução a manutenção que será aplicada a etapa de uso e operação é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade dessas construções ao longo do tempo. Como ressalta o professor e engenheiro Paulo Helene, renomado especialista na área, "a manutenção é uma questão de segurança, não de estética".

As estruturas de concreto armado são submetidas a diversas condições de agressividade durante sua vida útil, como ação da umidade, corrosão das armaduras, deformações estruturais, entre outras. Posto isso, é essencial que as manutenções preventivas sejam realizadas periodicamente para garantir que essas estruturas permaneçam seguras e funcionais.

O professor Paulo Helene destaca ainda que, a falta de manutenção pode levar a problemas graves, como desabamentos e acidentes. Ele enfatiza a importância da realização de inspeções visuais e instrumentais nas estruturas, bem como a aplicação de técnicas de reparo e proteção, quando necessário.

Além disso, as manutenções periódicas também são importantes para a preservação do patrimônio e para evitar gastos excessivos com reparos emergenciais. Como aponta o engenheiro Paulo Helene, "a manutenção é muito mais econômica do que um reparo emergencial".

A seguir, serão abordados os principais conceitos de temas que serão abordados no estudo de caso.

3.1.1 Durabilidade das Estruturas

A durabilidade do concreto armado é um dos aspectos mais importantes na construção de estruturas, uma vez que a falha prematura pode resultar em riscos à segurança, além de implicar em altos custos de manutenções e reparos. Por isso, é fundamental compreender os conceitos de durabilidade do concreto armado para garantir a longevidade e segurança das construções.

Souza e Ripper (1998), explicam que com o envelhecimento das estruturas e a observação de diferentes comportamentos de partes análogos, desde que submetidas a diferentes ambientes, surgiu a consequente possibilidade de coletar dados sobre seu comportamento ao longo dos anos. Além disso, existem muitos casos de falha ou do mesmo aspecto. Sucesso devido à necessidade de restauro / melhoria num tempo surpreendentemente curto ou a um custo elevado.

Assim, a engenharia de estruturas, principalmente na virada dos anos 60 e 70, atendeu à necessidade técnica, econômica e social de estudar não só a capacitância de resistência, mas também outros critérios para garantir o sucesso

da construção (SOUZA & RIPPER, 1998).

Atento a esse panorama, o meio acadêmico por meio da Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT), na NBR 6118:2014, dedica dois capítulos à sustentabilidade, nos quais os parâmetros de projeto são determinados, entre outras coisas, de acordo com a agressividade do meio ambiente em que se insere a estrutura e o seu tipo (temperado ou constrangido).

A durabilidade é definida como a capacidade de uma estrutura suportar os impactos previstos e descritos em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o empreiteiro (o empreiteiro ainda está em fase de planejamento) (ABNT, 2014).

A durabilidade é um conceito fundamental na engenharia civil, especialmente quando se trata de construções de concreto armado. Segundo o CEB (Comitê Euro-Internacional de Betão), em 1997, a durabilidade pode ser definida como a capacidade de uma estrutura em manter o desempenho esperado durante o período de vida útil desejado, mesmo sob a influência de fatores de degradação.

Esses fatores de degradação podem ser variados e incluem agentes químicos, físicos e biológicos. O contato com a água, a presença de cloretos, a exposição ao ar salino e à radiação solar, as variações de temperatura, a ação de microrganismos e a ação de cargas são exemplos de fatores que podem afetar a durabilidade de uma estrutura.

A durabilidade do concreto armado é uma preocupação importante, uma vez que a falha prematura pode resultar em riscos à segurança e implicar em altos custos de manutenções e reparos. Por isso, é essencial que sejam adotadas medidas para garantir a durabilidade da estrutura desde o projeto até a execução e manutenção.

Na literatura técnica, há antigas recomendações sobre os fatores que determinam a durabilidade das estruturas de concreto. Entre essas recomendações, destaca-se a "Regra dos 4C", identificada por Paulo Helene em 1993.

Segundo essa regra, a durabilidade do concreto é determinada por

quatro fatores: cobrimento, concreto, armadura e controle de qualidade. Vamos analisar cada um desses fatores em detalhes.

O primeiro fator é o cobrimento. O cobrimento é a distância entre a superfície do concreto e a armadura. Ele é essencial para proteger a armadura contra a corrosão causada por agentes externos, como água, cloretos e dióxido de carbono. Um cobrimento inadequado pode levar à corrosão prematura da armadura e, conseqüentemente, à redução da vida útil da estrutura.

O segundo fator é o concreto. A qualidade do concreto é determinante para a durabilidade da estrutura. É necessário utilizar materiais de qualidade, com dosagem adequada, e seguir as normas técnicas para a produção e o transporte do concreto. O uso de materiais de baixa qualidade ou a execução inadequada do concreto pode levar à fissuração e à permeabilidade, permitindo a entrada de agentes de degradação na estrutura.

O terceiro fator é a armadura. A armadura deve ser dimensionada corretamente e ter qualidade adequada. A corrosão da armadura é um dos principais fatores que podem reduzir a vida útil da estrutura, por isso é necessário adotar medidas de proteção, como o uso de cobrimentos adequados e a utilização de aço com tratamento adequado.

O quarto fator é o controle de qualidade. O controle de qualidade é essencial em todas as etapas da construção, desde o projeto até a execução e a manutenção da estrutura. É necessário adotar medidas para garantir a qualidade dos materiais, do projeto e da execução, bem como realizar inspeções e manutenções regulares para garantir a durabilidade da estrutura.

Em resumo, a "Regra dos 4C" identificada por Paulo Helene em 1993 destaca a importância do cobrimento, do concreto, da armadura e do controle de qualidade para garantir a durabilidade das estruturas de concreto. Esses fatores devem ser considerados em todas as etapas da construção e da manutenção da estrutura, a fim de garantir a resistência e a longevidade da construção.

Concordando com outros autores, Ribeiro (2014) destaca que a

durabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua capacidade de cumprir as funções que lhe são atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperadas ao longo de um período previsto.

Para que o concreto seja considerado durável, é necessário que ele apresente resistência mecânica, resistência à abrasão, resistência ao fogo, estabilidade dimensional e estabilidade química, além de ser capaz de suportar as cargas e condições ambientais a que estará exposto durante sua vida útil.

De acordo com a NBR 6118, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas de forma que permaneçam seguras, estáveis e úteis por um período correspondente à vida útil determinada pelos contratantes (ABNT, Ano 2014).

Ribeiro (2014) indica que das definições dadas, entende-se que a durabilidade de uma estrutura é função de alguns critérios básicos como: as propriedades construtivas, a agressividade ambiental, os parâmetros de desempenho solicitados e o tempo, ou seja, o tempo útil desejado vida de uma determinada estrutura. Em uma analogia simplificada, costuma-se dizer que a vida útil é tenacidade, assim como a resistência do concreto para o projeto estrutural

3.1.2 Corrosão de Armaduras

Segundo Helene (2014), o termo corrosão é utilizado para descrever a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações químicas ou eletroquímicas, que podem estar associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração. A corrosão das armaduras de concreto armado caracteriza-se por ser um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, denominados de produtos de corrosão. Esses produtos ocupam um volume significativamente superior ao volume original das barras metálicas, podendo ocasionar trincas e fissuras na estrutura de concreto e, conseqüentemente, reduzir a sua resistência e durabilidade.

A corrosão das armaduras é uma das principais causas de deterioração

das estruturas de concreto armado, e pode ser influenciada por diversos fatores, tais como a qualidade dos materiais utilizados na construção, a exposição da estrutura a agentes agressivos, como a umidade e os agentes químicos, e a falta de manutenção adequada. Por isso, é fundamental que sejam adotadas medidas preventivas para minimizar o processo de corrosão e prolongar a vida útil da estrutura.

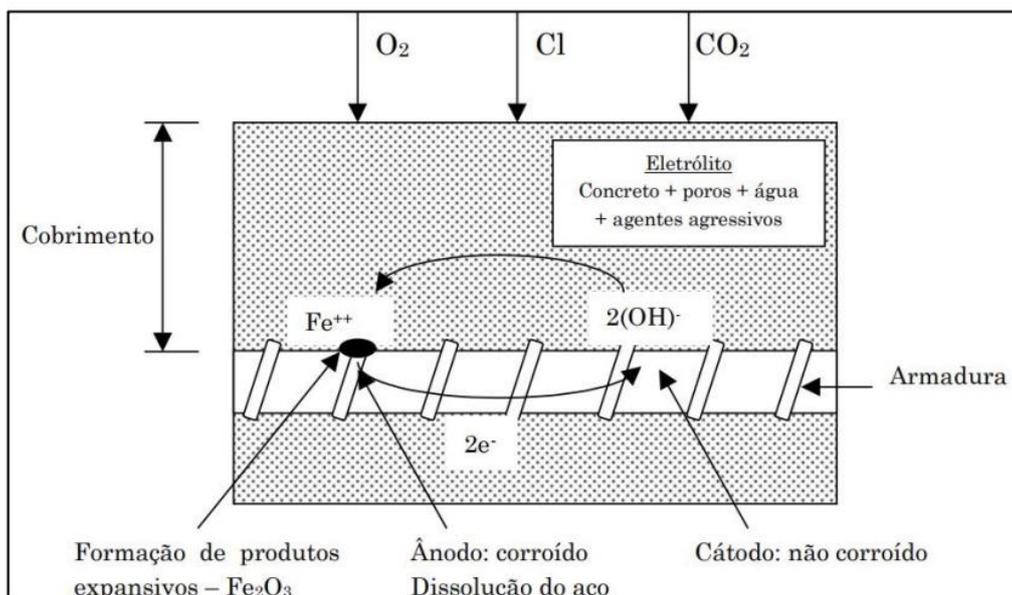
De acordo com Gentil (1996) a oxidação é um processo de corrosão química que ocorre na superfície dos metais, quando há uma reação do metal com o oxigênio presente na atmosfera ou em soluções líquidas, como a água. Nesse processo, os elétrons são perdidos pelo metal, sendo transferidos para o oxigênio, que se reduz.

O produto da reação de oxidação é um filme delgado de óxido metálico que se forma na superfície do metal, como uma camada protetora. Esse filme pode ser poroso, permitindo a penetração de agentes corrosivos, ou pode ser aderente e protetor, impedindo a progressão da corrosão.

Andrade (2001) explica a corrosão eletroquímica é um processo de deterioração que ocorre em metais quando eles são expostos a um eletrólito (solução aquosa contendo íons dissolvidos) e uma diferença de potencial elétrico é estabelecida entre as partes do metal em contato com o eletrólito. Esse desequilíbrio elétrico cria uma pilha de corrosão, também conhecida como célula de corrosão, que leva à corrosão das partes mais anódicas do metal.

A célula de corrosão é composta por um ânodo e um cátodo, que estão em contato elétrico através do metal. No caso de uma estrutura de concreto armado, o ânodo é representado pela armadura de aço, enquanto o cátodo é representado pelo concreto. O eletrólito é geralmente a água presente no ambiente (Figura 01)

Figura 01- Modelo de corrosão das armaduras no concreto



Fonte: ANDRADE, 2001

Entre as medidas preventivas mais comuns estão a utilização de concreto com elevada resistência à penetração de agentes agressivos, a utilização de aditivos especiais para aumentar a resistência química do concreto, a aplicação de revestimentos protetores nas superfícies da estrutura e a utilização de sistemas de proteção catódica para controlar o processo de corrosão das armaduras. Além disso, é importante que sejam realizadas inspeções periódicas e manutenções corretivas para identificar e corrigir problemas relacionados à corrosão das armaduras.

Em resumo, a corrosão das armaduras é um processo físico-químico que pode ocasionar trincas, fissuras e redução da resistência e durabilidade da estrutura de concreto armado. Para minimizar este processo, é necessário adotar medidas preventivas desde a fase de projeto até a manutenção da estrutura, considerando fatores como a qualidade dos materiais, a exposição da estrutura a agentes agressivos e a utilização de técnicas adequadas de proteção e manutenção.

3.1.3 Carbonatação

A carbonatação é um processo químico que afeta a durabilidade das estruturas de concreto. Esse processo ocorre quando o dióxido de carbono presente no ar reage com a água presente no concreto e com o hidróxido de cálcio, formando carbonato de cálcio.

Segundo Fusco (2008), o efeito da carbonatação é explicado quando o

cálcio existente nos silicatos que compõem os cimentos é superior a quantidade que possa ser mantida na forma de silicatos de cálcio hidratados, sendo este excesso liberado na forma de hidróxidos de cálcio Ca(OH)_2 , estes hidróxidos, após o endurecimento, podem ser encontrados em abundância no concreto em forma de cristais e em parte dissolvidos na água presente no poros capilares, sendo estes hidróxidos os principais responsáveis pela alcalinidade presente no concreto.

A reação química de carbonatação diminui o pH do concreto, tornando-o menos alcalino. Como resultado, a armadura de aço fica exposta à corrosão, uma vez que a camada protetora de passivação é reduzida. A redução da camada protetora é devida ao fato de que a armadura de aço precisa de um ambiente alcalino para se manter protegida.

A profundidade de carbonatação em uma estrutura de concreto depende da permeabilidade do material e do tempo de exposição à atmosfera. As fissuras e outros defeitos no concreto também podem aumentar a taxa de carbonatação, acelerando a penetração do dióxido de carbono.

3.1.4 Lixiviação

A lixiviação é um processo de degradação do concreto que ocorre quando os íons presentes na água percolam através do concreto e dissolvem compostos alcalinos, como o hidróxido de cálcio, deixando uma região pobre em alcalinidade no interior da matriz de concreto.

O professor e engenheiro Paulo Helene e Enio Pazini explicam que a lixiviação ocorre principalmente em regiões de alta pluviosidade, onde o contato frequente com água de chuva e umidade do ar pode acelerar o processo.

A lixiviação pode levar à perda de resistência e alteração das propriedades mecânicas do concreto, comprometendo a durabilidade e segurança da estrutura. Para evitar ou minimizar os efeitos da lixiviação, é importante utilizar concreto de qualidade, com relação água/cimento adequada, realizar a cura adequada do concreto e utilizar aditivos que aumentem a resistência e durabilidade do material. Além disso, é importante realizar manutenções periódicas nas estruturas, a fim de identificar e reparar possíveis danos causados pela lixiviação

3.1.5 Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno que ocorre em estruturas de concreto e pode causar danos significativos. Segundo a NBR 15577 (2008), a eflorescência é definida como o depósito superficial de sais solúveis em água, que se cristalizam após a evaporação da água contida no concreto.

Esse fenômeno pode ser causado por diversos fatores, como o excesso de água na mistura do concreto, a presença de cimentos com alto teor de aluminato tricálcico e a utilização de agregados que contêm sais solúveis. A eflorescência é mais comum em regiões de clima frio e úmido.

Os danos causados pela eflorescência podem ser estéticos, como o surgimento de manchas brancas na superfície do concreto, ou estruturais, como a deterioração das armaduras e a perda de resistência mecânica do concreto. Isso ocorre porque os sais solúveis, ao se cristalizarem, aumentam de volume e podem causar a desagregação do material.

Para evitar a eflorescência, é importante adotar medidas preventivas durante a mistura, como a utilização de cimentos com baixo teor de aluminato tricálcico e a escolha de agregados de boa qualidade. Também é possível aplicar produtos impermeabilizantes na superfície do concreto para evitar a entrada de água e, conseqüentemente, a formação de sais solúveis.

Em resumo, a eflorescência é um fenômeno que pode causar danos significativos em estruturas de concreto, tanto do ponto de vista estético quanto estrutural. Por isso, é importante adotar medidas preventivas durante a mistura e a aplicação do concreto, a fim de evitar a sua ocorrência e minimizar seus impactos.

3.1.6 Inspeção

A inspeção em estruturas de concreto é uma atividade fundamental para garantir a segurança e a durabilidade das edificações. Através da inspeção, é possível identificar precocemente eventuais problemas na estrutura, possibilitando a correção antes que se tornem mais graves e onerosos.

Segundo a NBR 5674 (Manutenção de edificações - Procedimentos), a inspeção de uma edificação deve ser realizada de forma periódica, com o objetivo de avaliar o estado de conservação e identificar necessidades de reparos ou intervenções. A frequência da inspeção varia de acordo com o tipo de edificação, sua idade, sua finalidade e a qualidade dos materiais e da construção.

A inspeção em estruturas de concreto pode ser realizada visualmente, através de equipamentos de medição ou por meio de ensaios específicos. A inspeção visual é a mais comum e deve ser realizada por um profissional capacitado, que analisará aspectos como trincas, fissuras, deslocamentos, deformações, eflorescência, lixiviação, entre outros. A inspeção visual pode ser complementada por equipamentos de medição, como o medidor de espessura de cobrimento, que permite verificar a espessura da camada de concreto que cobre a armadura.

Além da inspeção visual e de equipamentos, existem também ensaios específicos que podem ser realizados para avaliar o estado de conservação das estruturas de concreto, como o ensaio de ultrassom, que verifica a integridade e homogeneidade do concreto, e o ensaio de carbonatação, que identifica a profundidade da zona carbonatada.

A inspeção periódica é fundamental para garantir a durabilidade das estruturas de concreto. Através dela, é possível identificar precocemente eventuais problemas e corrigi-los antes que se tornem mais graves e onerosos. Além disso, a inspeção também permite a identificação de possíveis melhorias e ações preventivas, visando à manutenção da qualidade e segurança da estrutura.

Portanto, é fundamental que as inspeções em estruturas de concreto sejam realizadas de forma periódica e por profissionais capacitados, visando garantir a durabilidade e segurança das edificações.

4. MÉTODO E PROCEDIMENTOS

4.1 METODOLOGIAS APLICADAS

Foi realizada uma pesquisa exploratória sobre os principais autores que estudam sobre o tema; realizando leitura de artigos, normas técnicas, publicações e análise de sites relacionados ao tema, leitura de pesquisas e informações públicas sobre a obra do Metrô de Belo Horizonte bem como foi realizada uma vistoria *in-loco* em 5 (cinco) estações de Metrô a fim de se obter dados reais para a realização do trabalho. Através da busca por meio de palavras chaves sobre o tema foi possível identificar mais de 10 autores que apresentam trabalhos de conteúdos significativos onde há correlação com as patologias em estruturas de concreto armado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 HISTÓRICO METRÔ DE BELO HORIZONTE

O Metrô de Belo Horizonte é um sistema de transporte metroviário em operação nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, no estado de Minas Gerais. É operado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), empresa pública de nível federal, subordinada ao Ministério das Cidades e responsável pela modernização, expansão e implantação de sistemas de transporte sobre trilhos no Brasil. A CBTU opera o serviço através da Superintendência de Trens Urbanos de Belo Horizonte (STU/BH), uma de suas unidades regionais. Cabe a CBTU, além da operação do sistema atual, o planejamento, gestão, administração e expansão dos serviços de transporte sobre trilhos implantados na Região Metropolitana de Belo Horizonte, além de fornecer subsídios a sua regionalização. Possui atualmente uma linha, entre Eldorado e Vilarinho, com 19 estações e 28,1 km de extensão, em superfície. Diariamente, aproximadamente 73 mil pessoas utilizam o Metrô de Belo Horizonte, sendo o sétimo maior sistema metroviário brasileiro em movimento de passageiros.

A operação comercial do Metrô de Belo Horizonte teve início em 1º agosto de 1986, contando com as primeiras seis estações ligando Eldorado a Lagoinha, com 10,8 km de linha e três trens. Em 1987, foi incorporada ao trecho a estação Central e, em 2001, completou-se a frota de 25 trens. Em 2002, foi concluída a atual Linha Eldorado – Vilarinho.

No contexto geral de deslocamentos em Belo Horizonte, o metrô transporta cerca de 60 milhões de pessoas/ano, o que equivale a quase 11% do número total de passageiros que utilizam o transporte público na Capital. A média mensal de usuários que utilizam o sistema a cada mês chega a 5 milhões de pessoas. Diariamente são cerca de 210 mil pessoas/dia.

Ao todo, cerca de 400 linhas estão distribuídas em seis terminais rodoviários anexos às estações Vilarinho, São Gabriel, José Cândido da Silveira, Central, Lagoinha e Eldorado. O Metrô liga as regiões Oeste e Norte da capital, margeando a área Central de Belo Horizonte e promovendo a mobilidade entre os diversos municípios da Região Metropolitana. A integração representa cerca de 35% do total de embarques operados pelo metrô, o equivalente a mais de 22 milhões de passageiros/ano.

Em 2011, a presidente Dilma Rousseff anunciou a liberação de 3,16 bilhões

de reais em recursos para a modernização e ampliação do sistema em Belo Horizonte. Tais recursos são provenientes do PAC Transportes, sendo 1 bilhão vindos do governo federal, outros 1,1 bilhão da iniciativa privada e o restante vindos de financiamentos. Os investimentos foram destinados à modernização e ampliação do ramal existente (Eldorado-Vilarinho), a retomada do ramal Barreiro-Calafate e a implantação do ramal subterrâneo Savassi-Lagoinha. Após essa modernização, a expectativa era de que o Metrô de Belo Horizonte devesse transportar cerca de 900 mil passageiros por dia. Conforme ilustra a Figura 02.

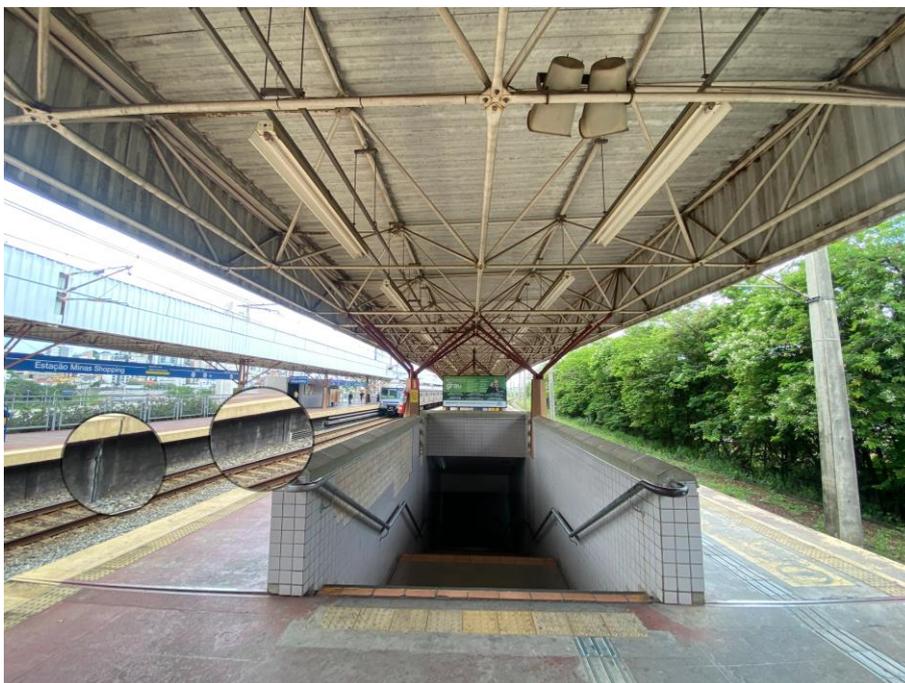
Figura 02 : Projeto Metrô de Belo Horizonte



Fonte: CBTU (2015)

5.2 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DAS ANOMALIAS VISUAIS EM CINCO ESTAÇÕES DE METRÔ DE BELO HORIZONTE

5.2.1 Estação Minas Shopping



Fonte: Autora (2022).

Imagem 01 – Causa: Ausência de Manutenção da Junta de Movimentação/Dilatação da plataforma em concreto armado; Anomalia: Lixiviação dos finos da pasta de cimento na superfície vertical da estrutura em concreto (Falha de Manutenção).



Fonte: Autora (2022).

Imagem 02 – Causa: Ausência de manutenção da camada de proteção superficial; Anomalia: Abrasão superficial do concreto armado (Falha de Manutenção).



Fonte: Autora (2022).

Imagem 03 – Causa: Choque mecânico ou falha no uso; Anomalia: Desagregação superficial da capa de cobertura do concreto (Falha de Manutenção).

5.2.2 Estação José Candido



Fonte: Autora (2022).

Imagem 04 – Causa: Ausência/falha de vedação na interface entre diferentes materiais e falha de preenchimento da junta de movimentação estrutural no piso; Anomalia: Esborcinamento das bordas da junta de movimentação;



Fonte: Autora (2022).

Imagem 05 – Causa: Ausência de rufo na parte superior da viga invertida permitindo o escoamento superficial de água (2) Falta/falha de manutenção na camada superficial de pintura do piso; Anomalia: (1) acúmulos de fungos na parte superficial da viga invertida (2) abrasão superficial do concreto.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 06 – Ausência de manutenção periódica das juntas de movimentação de piso; Anomalia: Lixiviação dos finos da pasta de cimento hidratada.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 07 – Causa: Detalhes arquitetônicos contribuem para o escoamento superficial da água na face externa da estrutura de concreto ; Anomalia: Acúmulo de fungos superficiais no concreto armado.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 08 – Causa: Ausência de rufo/vedação na interface entre estrutura metálica e viga de concreto armado; Anomalia: Acumulo de fungos e umidade na parte inferior da viga em concreto, risco de carbonatação precoce do concreto.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 09 – Causa: Ausência de vedação da junta de movimentação; Anomalia: Exposição a umidade e lixiviação dos finos da pasta de cimento hidratada.

5.2.3 Estação Santa Inês



Fonte: Autora (2022).

Imagem 10 – Causa: Ausência de rufo na parte superior da viga em concreto; Anomalia: Acúmulo de fungos e exposição do concreto a umidade.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 11 – Causa: Ausência de pintura protetiva ; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 12 – Causa: Furos na telha de cobertura da estação; Anomalia: Acúmulo de fungos severa na superfície do concreto devido a percolação pontual de umidade sobre a face do concreto.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 13 – Causa: Ausência de pintura protetiva; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce e concentração de fungos devido a porosidade da pasta de cimento.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 14 – Causa: Falha de adensamento; Anomalia: Segregação pontual no pé do pilar

5.2.3 Estação Horto



Fonte: Autora (2022).

Imagem 15 – Causa: Ausência de manutenção da camada de proteção superficial ; Anomalia: Abrasão superficial do concreto armado (Falha de Manutenção).



Fonte: Autora (2022).

Imagem 16 – Causa: Ausência de pintura protetiva; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce e concentração de fungos devido a porosidade da pasta de cimento.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 17 – Causa: Ausência de pintura protetiva; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce.



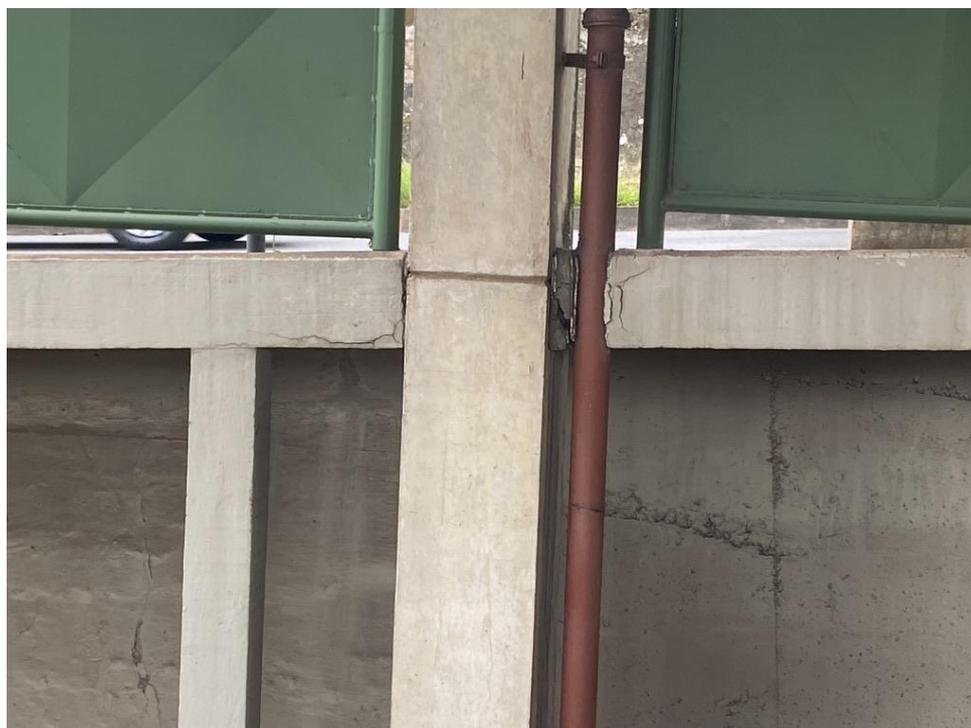
Fonte: Autora (2022).

Imagem 18 – Causa: Ausência de pintura protetiva; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce. (Local tem como agravante ponto de infiltração de água pelo tubo do sistema de incêndio).



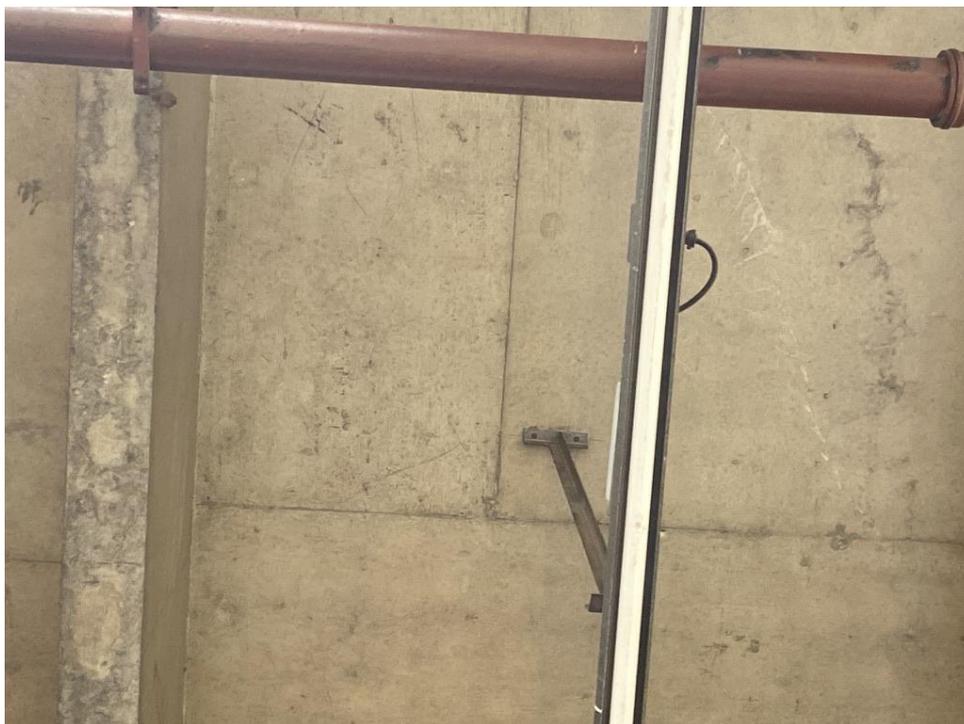
Fonte: Autora (2022).

Imagem 19 – Causa: Falha Executiva – adensamento ou fator água/cimento da pasta; Anomalia: segregação superficial sob a laje em concreto armado.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 20 – Causa: Falta de compatibilização entre as disciplinas que englobam a engenharia (hidráulica e estrutural) ; Anomalia: Ruptura pontual próximo ao ponto de apoio da viga em concreto.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 21 – Causa: Falha de estanqueidade; Anomalia: Lixiviação dos finos do concreto facilitado pela fissura existente.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 22 – Causa: Falha de adensamento ou fator água/cimento; Anomalia: Segregação da pasta do concreto na base do pilar.



Fonte: Autora (2022).

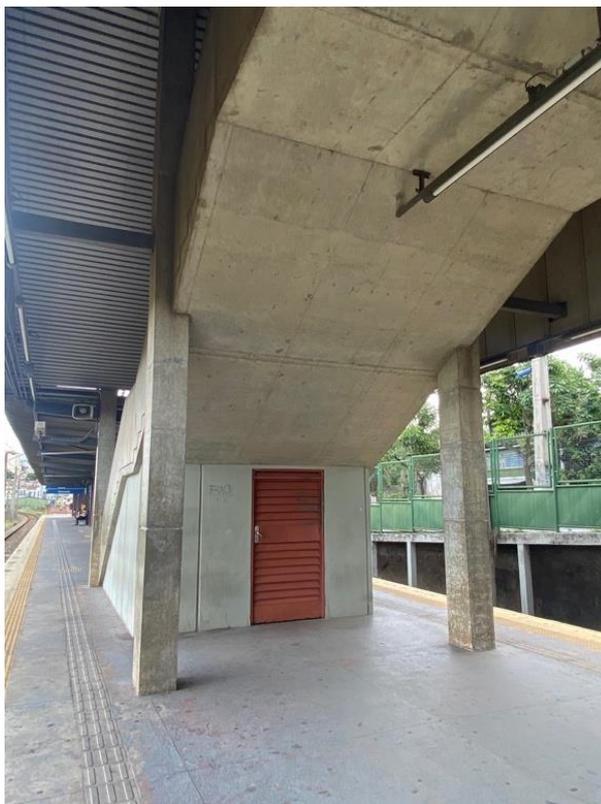
Imagem 23 – Causa: Falta de proteção superficial; Anomalia: Fissura paralela ao local das armaduras principais indicando corrosão da armadura.

5.2.3 Estação Santa Teresa



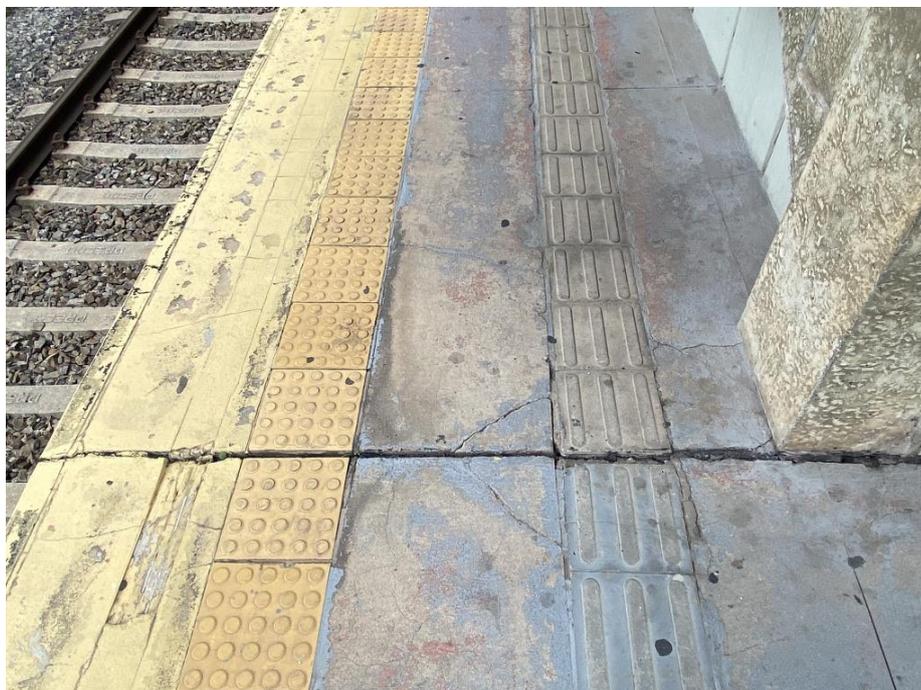
Fonte: Autora (2022).

Imagem 24 – Causa: Falha Executiva – adensamento ou fator água/cimento da pasta; Anomalia: segregação superficial da parede de concreto



Fonte: Autora (2022).

Imagem 25 – Causa: Ausência de pintura protetiva; Anomalia: Aumento da probabilidade de frente de carbonatação precoce.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 26 – Causa: Ausência de manutenção periódica das juntas de movimentação de piso; Anomalia: Lixiviação dos finos da pasta de cimento hidratada.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 27 – Causa: Ausência de manutenção periódica das juntas de movimentação de piso; Anomalia: Lixiviação dos finos da pasta de cimento hidratada.



Fonte: Autora (2022).

Imagem 28 – Causa: Furos na telha de cobertura da estação; Anomalia: Acúmulo de fungos severa na superfície do concreto devido a percolação pontual de umidade sobre a face do concreto.

5.3 ANÁLISES E RESULTADOS

Os fenômenos patológicos geralmente apresentam manifestações externas características, a partir das quais se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos (HELENE, 1992).

Após visitar as cinco estações de metrô e analisar as principais patologias observadas e registradas em suas estruturas, observamos a recorrência de determinadas patologias em diferentes estações (Tabela 01).

Tabela 01 – Identificação das patologias observadas

ANOMALIA / PATOLOGIA	OCORRÊNCIA / CAUSA	ESTAÇÃO MINAS SHOPPING	ESTAÇÃO JOSE CANDIDO	ESTAÇÃO SANTA INES	ESTAÇÃO HORTO	ESTAÇÃO SANTA TERESA	QTD
LIXIVIAÇÃO DOS FINOS DA PASTA DE CIMENTO	Qtidade Ocorrência Possível Causa	1 Ausência manutenção junta de movimentação Falha de Manutenção (IMG 1)	2 Ausência manutenção junta de movimentação Falha de Manutenção (IMG 6 / 9)		1 Falha de estanqueidade (IMG 21) Erro Execução / Manutenção	2 Ausência manutenção junta de movimentação Falha de Manutenção (IMG 26 / 27)	6
ACÚMULO DE FUNGOS NA SUPERFÍCIE	Qtidade Ocorrência Possível Causa		3 Ausência de Rufo na parte superior da viga invertida (IMG 5 e 8) Detalhe arquitetônico (IMG 7) Erro de Execução/Manutenção	2 Ausência de Rufo na parte superior da viga (IMG 10) Erro de Execução / Manutenção Furos nas telhas (IMG 12) Erro Execução / Manutenção		1 Ausência de vedação e percolação pontual de umidade sobre a face do concreto (IMG 28) Erro Execução / Manutenção	6
CARBONATAÇÃO PRECOCE	Qtidade Ocorrência Possível Causa			2 Ausência de pintura protetiva (IMG 11 / 13) Erro execução / Manutenção	3 Ausência de pintura protetiva (IMG 16 / 17) Erro execução / Manutenção Agravante ponto de infiltração de água pelo sistema de incêndio (IMG 18) Manutenção	1 Ausência de pintura protetiva (IMG 25) Erro execução / Manutenção	6
SEGREGAÇÃO ELEMENTO ESTRUTURAL	Qtidade Ocorrência Possível Causa			1 Falha adensamento do concreto (IMG 14) Erro Execução	2 Falha adensamento e/ou fator água/cimento da pasta (IMG 19 / 22) Erro Execução	1 Falha adensamento e/ou fator água/cimento da pasta (IMG 24) Erro Execução	4
ABRASÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO	Qtidade Ocorrência Possível Causa	1 Ausência de manutenção camada proteção superf. Falha de Manutenção (IMG 2)	1 Ausência de manutenção camada proteção superf. Falha de Manutenção (IMG 5)		1 Ausência de manutenção camada proteção superf. Falha de Manutenção (IMG 15)		3
RUPTURA PARCIAL / FISSURA ELEMENTO ESTRUTURAL	Qtidade Ocorrência Possível Causa				2 Falha de compatibilização de projetos de instalação com estrutural (IMG 20) Erro Execução Falta de proteção Superficial (IMG 23) Erro execução / Manutenção		2
DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DA CAPA DE COBRIMENTO CONCRETO	Qtidade Ocorrência Possível Causa	1 Choque mecânico ou falha no uso Falha de Manutenção (IMG 3)					1
ESBORCINAMENTO BORDAS DA JUNTA DE MOVIMENTAÇÃO	Qtidade Ocorrência Possível Causa		1 Ausência de vedação e falha no preenchimento junta Erro de execução (IMG 4)				1

Fonte: Autora (2023)

A partir das identificações das patologias observadas, com base nas

estações visitadas e a quantidade de ocorrências em cada uma delas, foi possível criar um ranking, conforme Tabela 02, a partir da contagem das principais ocorrências, onde cada ocorrência identificada representa 1 ponto.

Tabela 02 – Classificação das Patologias observadas

RANKING				
POSIÇÃO	PONTUAÇÃO	PATOLOGIA	OCORRENCIA	POSSIVEIS CAUSAS
1º	6	LIXIVIAÇÃO DOS FINOS DA PASTA DE CIMENTO	Em 4 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção / Erro Execução
2º	6	ACÚMULO DE FUNGOS NA SUPERFÍCIE	Em 3 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção / Erro Execução
3º	6	CARBONATAÇÃO PRECOCE	Em 3 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção / Erro Execução
4º	4	SEGREGAÇÃO ELEMENTO ESTRUTURAL	Em 3 das 5 estações visitadas	Erro Execução
5º	3	ABRASÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO	Em 3 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção
6º	2	RUPTURA PARCIAL / FISSURA ELEMENTO ESTRUTURAL	Em 1 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção / Erro Execução
7º	1	DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DA CAPA DE COBRIMENTO CONCRETO	Em 1 das 5 estações visitadas	Falha Manutenção
8º	1	ESBORCINAMENTO BORDAS DA JUNTA DE MOVIMENTAÇÃO	Em 1 das 5 estações visitadas	Erro Execução

Fonte: Autora (2023).

Conforme Tabela 02, pôde-se observar que a principal patologia encontrada em 4 (quatro) das 5 (cinco) estações visitadas, foi o processo de lixiviação, advindo principalmente da falta de manutenção e falhas de execução dos serviços, seguido pela ocorrência de acúmulo de fungos nas superfícies em 3 (três) das 5 (cinco) estações, devido a falta de manutenção e erros de execução, processos de carbonatação precoce em 3 (três) das 5 (cinco) estações, também advindos de falta de manutenção e erros de execução, segregação de elementos estruturais em 3 (três) das 5 (cinco) estações, devido a falhas de execução, abrasão superficial do concreto em 3 (três) das 5 (cinco) estações devido a falta de manutenção dos locais, ruptura parcial e/ou fissuras em elementos estruturais identificada em 1 (uma) das 5 (cinco) estações devido a falta de manutenção e falhas na execução, degradação superficial da capa de cobrimento do concreto em 1 (uma) das 5 (cinco), devido a falta de manutenção e processo de esborcinamento de bordas em juntas de movimentação devido a falhas na execução, identificado em 1 (uma)

A fim de obter resultados consistentes sobre qual das estações apresenta um grau de risco maior, foi desenvolvido um quadro, com base em uma Matriz GUT, que é um método de calcular e priorizar riscos e problemas com base em 3 (tres) critérios básicos: gravidade, urgencia e tendência.

Conforme Manuel Meireles (2001), a ferramenta GUT deve ser usada para definir prioridades, guiando o usuário para diversas alternativas de ação, traçando um caminho a ser seguido para alcançar seus objetivos (MEIRELES, 2001).

Para a utilização da ferramenta GUT é necessário que seja feito a listagem dos problemas, atribuindo uma nota para cada um de acordo com os três aspectos da ferramenta, sendo eles: Gravidade, que considera o impacto que o problema pode causar caso não seja resolvido; Urgência, que considera o tempo para o aparecimento de danos caso o problema não seja resolvido; e Tendência, que considera o desenvolvimento que o problema terá caso não seja resolvido (MEIRELES, 2001).

Esta atribuição de notas foi desenvolvida com base em uma escala que vai de 1 (um) a 5 (cinco), sendo estes valores obtidos conforme critérios definidos (ver Tabela 03).

Tabela 03 – Critérios para elaboração Matriz GUT

MATRIZ GUT			
	G	U	T
Pontos	Gravidade Consequências se nada for feito	Urgência Prazo para tomada de decisão	Tendência Proporção do problema no futuro
5	Os prejuízos ou dificuldades são extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato
4	Muito graves	Com alguma urgência	Vai piorar em curto prazo
3	Graves	O mais cedo possível	Vai piorar em médio prazo
2	Pouco graves	Pode esperar um pouco	Vai piorar em longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar ou pode até melhorar

Fonte: Adaptado de Daychoum (2012, p. 90).

Com base nos critérios descritos na Tabela 03, foi desenvolvido uma planilha com base nas ocorrências identificadas nas 5 (cinco estações) de metrô, onde a partir do somatório dos pontos com base na gravidade, urgência e

tendência, chegamos aos números (ver tabela 04).

Tabela 04 – Classificação das Estações Inspeccionadas com base nos valores obtidos por meio da Matriz GUT.

ANOMALIA / PATOLOGIA	MATRIZ DE GUT																			
	ESTAÇÃO MINAS SHOPPING				ESTAÇÃO JOSÉ CÂNDIDO				ESTAÇÃO SANTA INÊS				ESTAÇÃO HORTO				ESTAÇÃO SANTA TERESA			
	G	U	T	TOTAL	G	U	T	TOTAL	G	U	T	TOTAL	G	U	T	TOTAL	G	U	T	TOTAL
LIXIVIAÇÃO DOS FINOS DA PASTA DE CIMENTO	3	5	2	30	3	5	2	30					2	5	2	20	3	5	2	30
ACUMULO DE FUNGOS NA SUPERFÍCIE					3	5	2	30	3	5	2	30					3	5	2	30
CARBONATAÇÃO PRECOCE									3	5	2	30	3	5	2	30	3	5	2	30
SEGREGAÇÃO ELEMENTO ESTRUTURAL									3	5	3	45	3	5	3	45	3	5	3	45
ABRASÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO	4	5	2	40	4	5	2	40					4	5	2	40				
RUPTURA PARCIAL / FISSURA ELEMENTO ESTRUTURAL													3	5	2	30				
DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DA CAPA DE COBRIMENTO CONCRETO	4	5	3	60																
ESBORCINAMENTO BORDAS DA JUNTA DE MOVIMENTAÇÃO					3	5	3	45												
	Total			130	Total			145	Total			105	Total			165	Total			135
CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES INSPECCIONADAS COM BASE NOS VALORES OBTIDOS POR MEIO DA MATRIZ DE G.U.T	3°				2°				5°				1°				4°			

Fonte: Autora (2023).

Após somatório dos pontos e com base nos critérios adotados na Tabela 03, chegamos ao Ranking das estações inspeccionadas com um maior grau de urgência e priorização. É possível concluir com base na observância da Tabela 04, que, das 5 (cinco) estações inspeccionadas, a estação Horto, necessita de priorização em relação as demandas e ações imediatas de manutenção e correção a fim de sanar as patologias identificadas e evitar o agravamento de danos e riscos as vidas humanas e patrimônio, o ranking de priorizações vem seguido das estações José Candido da Silveira, Minas Shopping, Santa Teresa e Santa Inês.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todas as informações contidas nesse trabalho e após análises e estudos feitos com base nas visitas técnicas realizadas, conclui-se que, existem diversas patologias presentes em 5 (cinco) das 18 (estações) de metrô de Belo Horizonte. O principal fator identificado para o aparecimento dessas patologias é a falta de manutenção preventiva dos locais inspecionados. A falta de manutenções preventivas dessas estruturas, propiciam diversos riscos que vão desde riscos à integridade das estruturas físicas, como também riscos as vidas humanas. A melhor maneira de evitar a depreciação precoce das edificações é mantendo uma rotina de manutenção preventiva e corretiva quando necessário, sempre assegurando o cumprimento de exigências técnicas e normativas e também da correta utilização dos locais por parte dos seus usuários. Além de promover a mitigação de riscos à integridade física das pessoas e das estruturas físicas, a manutenção preventiva também pode reduzir de forma significativa custos e gastos com maiores reparos futuros, visto que, conforme o passar do tempo a tendência é de que as patologias e os riscos vão se agravando caso nenhuma intervenção seja feita.

Faz-se necessárias ações imediatas de reparação nas patologias identificadas, principalmente em relação as estações Horto e José Cândido da Silveira, onde a classificação de riscos das patologias identificadas atingiram um grau maior de danos e conseqüentemente necessitam de urgência na realização dos reparos.

Durante muitos anos, o metrô de Belo Horizonte caiu no “esquecimento” do poder público, onde, conforme relatos feitos por funcionários das estações vistas, raramente elas passaram por melhorias e reparos ao longo dos anos, o que explica o agravamento de algumas patologias identificadas nesse trabalho.

Existe uma expectativa grande de investimentos e melhorias nas estruturas a serem feitas a partir da nova concessão das estações, onde em dezembro de 2022 uma empresa venceu o leilão para aquisição do Metrô de Belo Horizonte com uma proposta de R\$25,7 milhões. Essa concessão prevê, além de ampliação da linha 1, a construção de novas estações, reformas e melhorias nas estações existentes.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO

Tendo em vista os assuntos expostos ao longo do desenvolvimento desse trabalho, sugere-se, para a realização de trabalhos futuros, a análise comparativa das patologias identificadas a fim da comprovação de que ações e medidas corretivas e preventivas estão sendo efetuadas com base nas propostas apresentadas a partir da nova concessão da linha de metrô, que, além de ampliações, prevê a melhorias das estações existentes, visando com esses estudos futuros a mitigação do agravamento das patologias existentes e até mesmo o surgimento de novas, que possam comprometer tanto o patrimônio como também a integridade física das pessoas que utilizam diariamente o metrô como meio de transporte

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Maria Margarida de. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 158 p.

_____. NBR 5674: Plano de Manutenção. São Paulo, 2010.

_____. NBR 15577: Agregados Reatividade. São Paulo, 2018.

HELENE, Paulo R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e IV Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, 1997. v. 1. p. 1 – 30. 55.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1992.

HELENE, Paulo R. L. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª . Edição. São Paulo: Pini, 1986. 48 p.

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo, 1993, 271 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil.

SOUZA, Vicente C. de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Editora Pini, 1998, 255 p.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.

MEIRELES, Manuel. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. São Paulo: Arte & ciência, 2001.

DAYCHOUM, Merhi. **40+8 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.