

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO VERLY KLEINMAN

**PROPOSTAS DE ORÇAMENTOS PARA MEDIDAS CORRETIVAS NA PONTE DO
JAGUARÉ - MARGINAL PINHEIROS - E NA PONTE PRESIDENTE JÂNIO
QUADROS - MARGINAL TIETÊ**

SÃO PAULO

2024

EDUARDO VERLY KLEINMAN

**PROPOSTAS DE ORÇAMENTOS PARA MEDIDAS CORRETIVAS NA PONTE DO
JAGUARÉ - MARGINAL PINHEIROS - E NA PONTE PRESIDENTE JÂNIO
QUADROS - MARGINAL TIETÊ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Pontifícia Universidade Católica de São
Paulo, como exigência parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil sob a orientação da
prof.(a), Dr.(a) Karen Niccoli Ramirez

SÃO PAULO

2024

EDUARDO VERLY KLEINMAN

**PROPOSTAS DE ORÇAMENTOS PARA MEDIDAS CORRETIVAS NA PONTE DO
JAGUARÉ - MARGINAL PINHEIROS - E NA PONTE PRESIDENTE JÂNIO
QUADROS - MARGINAL TIETÊ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Pontifícia Universidade Católica de São
Paulo, como exigência parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil sob a orientação da
prof.(a), Dr.(a) Karen Niccoli Ramirez

Banca examinadora, (São Paulo - 2024)

Profa Dra. Karen Niccoli Ramirez

Profa Dra. Mariana Rezende

Prof. Dr. Francisco Xavier Sevegnani

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo geral, apresentar propostas de orçamentos para intervenções corretivas na ponte do Jaguaré localizada na Marginal Pinheiros e na ponte Presidente Jânio Quadros localizada na marginal Tietê, com fins de evidenciar o melhor custo-benefício, sem encargos trabalhistas, ou seja, considerando apenas os custos dos materiais, comparando esses orçamentos com os que o governo do estado de São Paulo realizou em 2018 e 2019. A metodologia baseou-se em conceitos e causas de fissuração, corrosão de armaduras de concreto armado e eflorescência; medidas preventivas e corretivas das manifestações patológicas citadas; estudos de caso das pontes da Marginal Pinheiros e Presidente Jânio Quadros, incluindo os métodos de correção das patologias com os devidos materiais utilizados e utilização da tabela da tabela SINAPI de custos desonerados de trabalho laboral, de maneira que a proposta de intervenção orçamentária gerasse um melhor custo-benefício do que foi realizado pelo governo do estado de São Paulo. Os resultados obtidos foram: redução do orçamento da ponte da Marginal Pinheiros em 12,5 %, redução do orçamento da ponte Presidente Jânio Quadros em 17,5 % e ampliação da vida útil das pontes em cerca de 30 anos. No geral foram utilizados os seguintes materiais para as medidas corretivas nas propostas de intervenção das pontes: revestimentos poliméricos, proteção catódica com ânodo de sacrifício, concreto de 60MPa, utilização de macacos hidráulicos, injeção de resinas epóxi ou poliuretano de baixa viscosidade e utilização de fibras de carbono para aumentar a protensão e resistência.

Palavras-Chave: Ponte do Jaguaré; Ponte Presidente Jânio Quadros; Medidas Corretivas; orçamentos; vida útil.

ABSTRACT

The general objective of this research is to present budget proposals for corrective interventions on the Jaguaré bridge located on Marginal Pinheiros and on the Presidente Jânio Quadros bridge located on Marginal Tietê, in order to highlight the best cost-benefit, without labor charges, that is, considering only the costs of materials, comparing these budgets with those carried out by the government of the state of São Paulo in 2018 and 2019. The methodology was based on concepts and causes of cracking, corrosion of reinforced concrete reinforcement and efflorescence; preventive and corrective measures of the pathological manifestations mentioned; case studies of the bridges of Marginal Pinheiros and Presidente Jânio Quadros, including the methods of correcting the pathologies with the appropriate materials used and use of the SINAPI table of exempted labor costs, so that the proposed budget intervention would generate a better cost-benefit than that carried out by the government of the state of São Paulo. The results obtained were: a 12.5% reduction in the budget for the Marginal Pinheiros bridge, a 17.5% reduction in the budget for the Presidente Jânio Quadros bridge and an increase in the useful life of the bridges by approximately 30 years. In general, the following materials were used for the corrective measures in the bridge intervention proposals: polymer coatings, cathodic protection with sacrificial anode, 60MPa concrete, use of hydraulic jacks, injection of low-viscosity epoxy or polyurethane resins and use of carbon fibers to increase prestressing and resistance.

Keywords: Jaguaré Bridge; President Jânio Quadros Bridge; Corrective Measures; budgets; useful life.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fissuração em obra de arte da pinacoteca	7
Figura 2 - Corrosão da armadura de um pilar	9
Figura 3 – Eflorescência em muro de tijolos.....	11
Figura 4 - Imagem frontal da ponte do Jaguaré	42
Figura 5 - Imagem aérea da ponte do Jaguaré	43
Figura 6 - Desnível na ponte do Jaguaré pós colapso	46
Figura 7 - Utilização de macacos hidráulicos para estabilizar a ponte do Jaguaré ...	46
Figura 8 - Vista em perspectiva da ponte Presidente Jânio Quadros.....	49
Figura 9 - Vista frontal da Ponte Presidente Jânio Quadros.....	50
Figura 10 - Corrosão, fissuração e eflorescência na ponte Presidente Jânio Quadros	52
Figura 11 - Eflorescência na ponte Presidente Jânio Quadros.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento do governo na ponte do Jaguaré	53
Tabela 2 - Orçamento do governo na ponte Presidente Jânio Quadros	55
Tabela 3 - Orçamento da proposta de intervenção para ponte do Jaguaré.....	59
Tabela 4 - Orçamento da proposta de intervenção para ponte Presidente Jânio Quadros	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Procedimentos metodológicos	2
1.4 Justificativa.....	3
1.5 Estrutura da pesquisa.....	4
2 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS DE CONCRETO ARMADO E CAUSAS	6
2.1 Fissuração	6
2.1.1 Causas de fissuração	7
2.2 Corrosão das Armaduras	8
2.2.1 Causas de corrosão das armaduras	10
2.3 Eflorescência	10
2.3.1 Causas de eflorescência	11
3 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA FISSURAÇÃO, CORROSÃO DAS ARMADURAS E EFLORESCÊNCIA	13
3.1 Medidas preventivas para fissuração.....	13
3.1.1 Seleção de materiais, controle da expansão térmica e armadura	13
3.1.2 Cura do concreto, controle de adições de água e controle de temperatura	13
3.1.3 Inspeções regulares, selagem de microfissuras e proteção das superfícies....	14
3.1.4 Controle de cargas externas e distribuição de cargas.....	14
3.1.5 Instrumentação, monitoramento e análise de dados	14
3.2 Medidas preventivas para corrosão das armaduras	15
3.2.1 Utilização de concreto de alta qualidade; adição de inibidores de corrosão e uso de aço galvanizado ou inoxidável.....	15
3.2.2 Espessura de cobrimento suficiente e controle da qualidade da cobertura ...	15

3.2.3 Cura e aplicação de revestimentos protetores	15
3.2.4 Instalação de sistemas de proteção catódica e monitoramento do sistema.....	16
3.2.5 Minimização da exposição a agentes agressivos e gestão de tráfego e impacto ambiental.....	16
3.2.6 Inspeções regulares e reparo preventivo de microfissuras	17
3.3 Medidas preventivas para eflorescência.....	17
3.3.1 Seleção de cimentos com baixo teor de sais e controle de agregados.....	17
3.3.2 Relação água/cimento e controle da quantidade de água na mistura.....	17
3.3.3 Cura controlada e uso de métodos de cura.....	18
3.3.4 Aplicação de revestimentos impermeabilizantes e uso de barreira de vapor ...	18
3.3.5 Gestão da drenagem e proteção contra chuvas.....	18
3.3.6 Uso de aditivos hidrofugantes e tecnologias de autocura	18
3.3.7 Limpeza, inspeção regular e tratamento de fissuras	19
4 MEDIDAS CORRETIVAS PARA FISSURAÇÃO, CORROSÃO DAS ARMADURAS E EFLORESCÊNCIA	20
4.1 Medidas corretivas para fissuração	20
4.1.1 Avaliação da causa e classificação das fissuras	20
4.1.2 Selagem com produtos flexíveis aplicação de revestimentos protetores	21
4.1.3 Injeção de epóxi injeção de resinas de poliuretano.....	21
4.1.4 Reparo com argamassa de reparação e técnica de "Grouting".....	22
4.1.5 Costura das Fissuras (Stitching)	23
4.1.6 Aplicação de compósitos de fibras	23
4.1.7 Aplicação de concreto projetado (Shotcrete).....	24
4.1.8 Monitoramento contínuo e manutenção regular	24
4.2 Medidas corretivas para corrosão das armaduras.....	25
4.2.1 Inspeção detalhada e identificação das causas	25
4.2.2 Remoção do concreto danificado e limpeza das armaduras	26
4.2.3 Aplicação de inibidores de corrosão e revestimento protetor das armaduras ..	27
4.2.4 Reparo com argamassa e compatibilidade dos materiais	28
4.2.5 Substituição ou reforço das armaduras e uso de fibras ou compósitos	29

4.2.6 Instalação de proteção catódica galvânica e proteção catódica por corrente impressa.....	30
4.2.7 Aplicação de revestimentos impermeabilizantes e barreiras de carbonatação	30
4.2.8 Monitoramento pós-reparo e manutenção preventiva	31
4.3 Medidas corretivas para eflorescência.....	32
4.3.1 Remoção física dos sais e lavagem com água	32
4.3.2 Aplicação de ácidos diluídos e produtos comerciais para remoção de eflorescência	34
4.3.3 Reparo de fissuras e melhoria da drenagem.....	35
4.3.4 Aplicação de selantes hidrofóbicos e revestimento superficial	36
4.3.5 Redução da umidade interna e isolamento de superfícies	37
4.3.6 Monitoramento regular e manutenção preventiva	38
5 ESTUDOS DE CASO: PONTE DA MARGINAL PINHEIROS - PONTE DO JAGUARÉ E PONTE DA MARGINAL TIETÊ - PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS	40
5.1 Estudo de caso sobre a ponte do Jaguaré	40
5.1.1 Importância da ponte no sistema viário de São Paulo	44
5.1.2 Problemas identificados e medidas corretivas	44
5.2 Estudo de caso sobre a ponte Presidente Jânio Quadros	47
5.2.1 Importância da ponte no sistema viário de São Paulo	50
5.2.2 Problemas identificados e medidas corretivas	51
6 ORÇAMENTOS DAS MEDIDAS CORRETIVAS DA PONTE DA MARGINAL PINHEIROS - PONTE DO JAGUARÉ E DA PONTE DA MARGINAL TIETÊ - PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS	53
6.1 Orçamento dos materiais já utilizados nas medidas corretivas na ponte do Jaguaré	53
6.2 Orçamento dos materiais já utilizados nas medidas corretivas na ponte Presidente Jânio Quadros	55
6.3 Orçamento desonerado de encargos trabalhistas para medida corretiva elaborada para ponte do Jaguaré	58
6.4 Orçamento desonerado de encargos trabalhistas para medida corretiva elaborada para ponte Presidente Jânio Quadros.....	61

6.5 Discussão de resultados	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8 REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

O capítulo introdutório engloba a contextualização geral sobre o tema de análise orçamentária de medidas corretivas na ponte do Jaguaré e na ponte Presidente Jânio Quadros, além de explanar sobre objetivo geral, objetivos específicos, procedimentos metodológicos, justificativa e estrutura da pesquisa.

1.1 Contextualização

A análise orçamentária para medidas corretivas em pontes, como as do Jaguaré e Presidente Jânio Quadros, é importante para a manutenção e segurança dessas importantes obras de arte. Conforme observado por Carvalho (2021), a análise adequada dos custos relacionados às medidas corretivas possibilitou uma gestão financeira eficiente, evitando assim desperdícios e má alocação de recursos destinados a preservar a integridade estrutural das pontes. Igualmente importante no planejamento de intervenções corretivas é a análise orçamentária detalhada, conforme destacado por Santos e Almeida (2019) em relação a um orçamento mal estruturado que compromete a execução das obras dentro de parâmetros pré-estabelecidos, levando a maiores dificuldades quanto a custos inesperados e falhas na execução.

A realização de análises minuciosas de orçamento é fundamental para a eficácia das intervenções corretivas em pontes urbanas, como as do Jaguaré e da Presidente Jânio Quadros, pois assegura que as medidas adotadas sejam compatíveis com as necessidades reais das estruturas. De acordo com Oliveira (2022), uma abordagem criteriosa na análise orçamentária contribui para a identificação precoce de problemas potenciais e facilita a implementação de soluções corretivas mais adequadas e econômicas. Além disso, Ribeiro e Lima (2020) enfatizam que a compreensão dos aspectos financeiros envolvidos é essencial para otimizar a execução das obras e garantir a durabilidade e segurança das pontes ao longo do tempo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa busca apresentar propostas de orçamentos para intervenções corretivas na ponte do Jaguaré localizada na Marginal Pinheiros e na ponte Presidente Jânio Quadros localizada na marginal Tietê, com fins de evidenciar o melhor custo-benefício, sem encargos trabalhistas, ou seja, considerando apenas os custos dos materiais, comparando esses orçamentos com os que o governo do estado de São Paulo realizou em 2018 e 2019.

1.2.2 Objetivos específicos

Apresentar conceitos, causas, medidas preventivas de fissuração, corrosão de armaduras e eflorescência

Identificar os principais problemas estruturais das pontes Presidente Jânio Quadros, localizada na Marginal Tietê, e na ponte do Jaguaré, localizada na Marginal Pinheiros, que demandaram medidas corretivas, fazendo análise das manifestações patológicas vigentes.

Comparar os orçamentos de soluções técnicas aprovadas pelo governo do estado de São Paulo com os orçamentos das propostas de intervenção desenvolvidos para a correção das manifestações patológicas das pontes.

1.3 Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida a partir da revisão da literatura a partir de teses, dissertações, artigos publicados em periódicos que tratam da temática de manifestações patológicas em estruturas de concreto e das principais medidas preventivas e corretivas.

O levantamento dos custos unitários de materiais foi realizado a partir de consulta à tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de custos desonerados de encargos trabalhistas, para realizar planilhas e a respectiva somatória dos custos parciais de cada medida corretiva utilizada nas pontes. As medidas corretivas realizadas pelo governo do estado de São

Paulo foram analisadas através de estudos de caso das pontes do Jaguaré e Presidentes Jânio Quadros. Com a análise dos materiais utilizados pelo governo, foi possível juntamente da tabela SINAPI, organizar planilhas orçamentárias, que o próprio executou e propostas orçamentárias para as medidas corretivas da ponte da Marginal Pinheiros e Presidente Jânio Quadros, de forma a evidenciar um melhor custo-benefício relativo às medidas propostas de intervenção orçamentária.

1.4 Justificativa

A análise orçamentária precisa garantir que os recursos sejam utilizados de forma eficiente, evitando desperdícios e garantindo a segurança da população. De acordo com Pereira (2021), a gestão financeira adequada em obras de infraestrutura é decisiva para o sucesso de intervenções em grandes pontes, uma vez que falhas no planejamento podem resultar em interrupções no tráfego e altos custos de manutenção a longo prazo. Em um cenário em que o fluxo diário de veículos depende da integridade das pontes do Jaguaré e Presidente Jânio Quadros, o estudo dos custos envolvidos nas ações corretivas torna-se ainda mais relevante para prevenir futuros colapsos e transtornos para a cidade.

Além disso, manifestações patológicas em pontes ao redor do mundo, como corrosão de armaduras e fissuras, têm mostrado a importância de uma abordagem proativa na manutenção dessas estruturas. Em casos emblemáticos, como a ponte de I-35W nos Estados Unidos, que colapsou em 2007 devido a falhas estruturais negligenciadas, ficou evidente o custo humano e financeiro de não se investir adequadamente em medidas corretivas (Silva, 2019). Portanto, a análise orçamentária para medidas corretivas é de extrema relevância.

A utilização da Tabela SINAPI com custo desonerado é essencial para a elaboração de orçamentos precisos em projetos de obras públicas, como nas intervenções corretivas nas pontes Presidente Jânio Quadros e Jaguaré. Essa tabela, desenvolvida pela Caixa Econômica Federal e pelo IBGE, oferece uma referência de preços atualizada e adequada às particularidades do setor da construção civil, considerando a isenção de encargos trabalhistas sobre a folha de pagamento (desoneração). Conforme destacado por Oliveira (2020), o uso de uma base de dados padronizada como a SINAPI garante maior transparência e controle nos gastos, além

de assegurar que o orçamento seja compatível com a realidade do mercado, o que é fundamental em projetos de grande porte como os de recuperação de pontes.

Além de garantir a precisão orçamentária, a utilização da Tabela SINAPI desonerada permite a análise comparativa de diferentes alternativas de materiais e serviços, o que é indispensável para a escolha de soluções corretivas eficazes e de melhor custo-benefício nas pontes do Jaguaré e Presidente Jânio Quadros. De acordo com Santos e Almeida (2019), o uso dessa ferramenta possibilita que engenheiros e gestores de obras comparem fornecedores de materiais e serviços com base em critérios objetivos, como preço e qualidade, o que contribui para a otimização dos recursos financeiros disponíveis. Dessa forma, a SINAPI desonerada não apenas garante conformidade com normas técnicas, mas também oferece subsídios importantes para uma tomada de decisão mais informada e assertiva.

A escolha dos melhores fornecedores de materiais de construção civil no Brasil, além de estar alinhada com os parâmetros da Tabela SINAPI, deve considerar fatores como a capacidade de fornecimento, prazos de entrega e histórico de qualidade dos produtos. Segundo Ribeiro (2021), a análise criteriosa dos fornecedores pode impactar diretamente no sucesso das intervenções corretivas, visto que a qualidade dos materiais influencia diretamente a durabilidade e segurança das obras. Portanto, a sinergia entre a análise orçamentária com base na SINAPI e a escolha de fornecedores confiáveis assegura que as medidas corretivas nas pontes Presidente Jânio Quadros e Jaguaré sejam executadas com eficiência e dentro dos custos planejados.

1.5 Estrutura da pesquisa

A estrutura da pesquisa baseia-se numa subdivisão de 8 capítulos. O capítulo 1 engloba a introdução com contextualização geral do tema, objetivo geral e objetivos específicos, além de procedimentos metodológicos para a execução dos orçamentos, justificativa da escolha do tema vigente e a subdivisão dos capítulos desenvolvidos.

O capítulo 2 relata sobre definições e causas da fissuração, corrosão das armaduras de concreto e eflorescência. Já o capítulo 3 abrange as medidas preventivas da fissuração, corrosão das armaduras de concreto e eflorescência. No capítulo 4, são apresentadas as medidas corretivas da fissuração, corrosão das armaduras de concreto e eflorescência.

O capítulo 5 engloba estudos de caso sobre a ponte do Jaguaré e da ponte Presidente Jânio Quadros, evidenciando contexto histórico, medidas corretivas já realizadas e importância das pontes no sistema viário de São Paulo.

O capítulo 6 engloba análises orçamentárias já realizadas nas pontes do Jaguaré e Presidente Jânio Quadros com custo desonerado de encargos trabalhistas, ou seja, apenas os custos dos materiais relativos às medidas corretivas serão levados em conta no custo global, além de análises elaboradas ainda não realizadas para a checagem do melhor custo-benefício possível. A tabela SINAPI e os melhores fornecedores do Brasil serão responsáveis por embasar às análises orçamentárias das medidas corretivas. Também é apresentada discussão de resultados obtidos das análises orçamentárias.

O capítulo 7 abrange as considerações finais e as propostas para futuras pesquisas e, finalmente, o capítulo 8 indica as referências utilizadas para desenvolvimento do tema.

2 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS DE CONCRETO ARMADO E CAUSAS

O capítulo 2 irá expor as definições e causas da fissuração, corrosão de armaduras de concreto armado e eflorescência.

2.1 Fissuração

A fissuração em estruturas de concreto é definida como o aparecimento de aberturas na superfície do material, resultantes de tensões que excedem a sua capacidade de resistência. Essas tensões podem ser causadas por diversos fatores, como sobrecargas, retração do concreto ou variações térmicas. De acordo com Lin e Tsai (2018), no contexto das construções no Japão, as fissuras são frequentemente observadas em estruturas expostas a altas variações de temperatura, o que provoca dilatações e contrações excessivas, comprometendo a integridade estrutural ao longo do tempo. Além disso, as fissuras podem ocorrer de forma precoce ou tardia, dependendo das condições de exposição e do processo de cura do concreto.

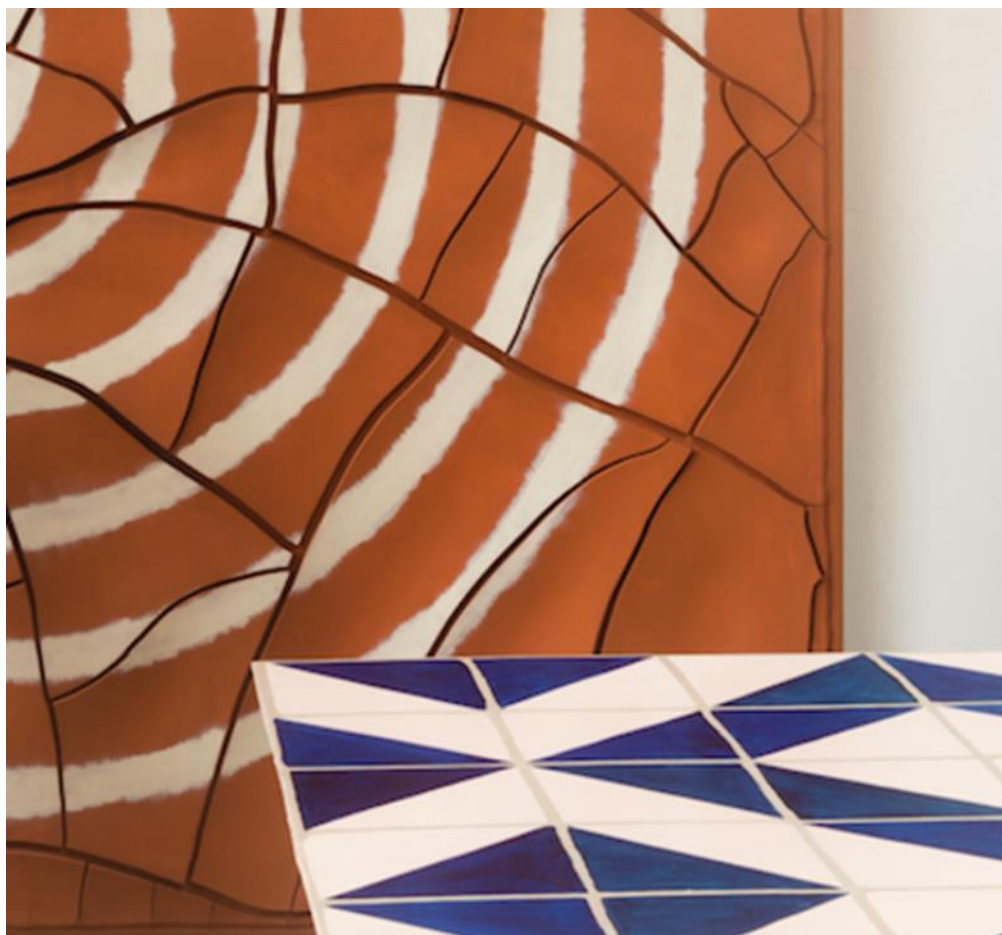
Na Itália, a preocupação com a fissuração em estruturas de concreto armado é discutida por Rossi (2017), que aponta para a corrosão das armaduras como uma das principais causas desse tipo de patologia. Quando o concreto fissura, ele deixa de proteger adequadamente as barras de aço embutidas, permitindo a penetração de agentes agressivos, como água e oxigênio, que aceleram a corrosão. Essa corrosão, por sua vez, expande as barras de aço, o que gera tensões adicionais no concreto, ampliando as fissuras. O estudo de Rossi também destaca a necessidade de monitoramento constante das fissuras em pontes e viadutos para garantir a durabilidade das estruturas ao longo do tempo.

Nos Estados Unidos, a pesquisa de Brown (2020) discute que a fissuração pode ser classificada em dois tipos principais: fissuras estruturais e não estruturais. As fissuras estruturais, segundo o autor, afetam diretamente a capacidade de carga da estrutura e são frequentemente associadas a problemas de projeto ou sobrecarga. Já as fissuras não estruturais, embora não comprometam imediatamente a segurança, podem se tornar pontos de entrada para agentes corrosivos e comprometer a durabilidade do concreto a longo prazo. Brown (2020) sugere que o monitoramento regular e o tratamento precoce das fissuras são essenciais para evitar danos mais

severos, especialmente em regiões com condições climáticas extremas, como é o caso de diversas áreas dos Estados Unidos.

A Figura 1 mostra em uma obra de arte na pinacoteca, um exemplo de fissuração.

Figura 1 – Fissuração em obra de arte da pinacoteca



Fonte: Carta- Campinas (2024)

É relevante destacar a fissuração em obras de arte, pois normalmente, esse tipo de manifestação patológica é recorrente em obras de construção civil.

2.1.1 Causas de fissuração

As causas da fissuração em estruturas de concreto podem ser atribuídas a uma variedade de fatores, tanto internos quanto externos. No Japão, estudos de Sato e Nakamura (2019) indicam que as fissuras são frequentemente provocadas por variações térmicas extremas, especialmente em áreas sujeitas a terremotos e

mudanças bruscas de temperatura. Essas variações térmicas induzem tensões internas no concreto, resultando em expansão e contração desiguais, o que, com o tempo, gera fissuras. Além disso, a qualidade dos materiais utilizados e o processo de cura inadequado também são causas identificadas para a formação de fissuras em estruturas expostas a condições ambientais adversas.

Na Itália, a principal causa de fissuração é a corrosão das armaduras internas devido à infiltração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, em estruturas de concreto expostas ao ambiente marinho. De acordo com o estudo de Romano (2018), a corrosão das armaduras provoca uma expansão do aço dentro do concreto, gerando tensões internas que resultam em fissuras longitudinais. Além disso, Romano (2018) enfatiza que a falta de manutenção preventiva e o envelhecimento das estruturas contribuem significativamente para a aceleração desse processo de degradação. Assim, em pontes e viadutos, como os encontrados ao longo das zonas costeiras italianas, a fissuração muitas vezes serve como um indicador de danos avançados no concreto armado.

As fissuras também podem ser causadas por sobrecargas ou erros de projeto, conforme observado por Collins (2020). O autor destaca que o subdimensionamento das seções estruturais e o uso inadequado de reforços são fatores que frequentemente levam à formação de fissuras, especialmente em pontes e viadutos. Collins também menciona a retração plástica e por secagem do concreto como outra causa comum, principalmente durante as primeiras semanas após a concretagem. Nesse estágio, o concreto ainda está em processo de cura, e a perda rápida de água pode criar tensões internas, resultando em fissuras superficiais. Essas fissuras, embora possam parecer inofensivas inicialmente, podem se transformar em pontos críticos para infiltração de água e agentes corrosivos, comprometendo a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

2.2 Corrosão das Armaduras

A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado representa um dos principais desafios para a durabilidade e segurança dessas edificações. Esse fenômeno, caracterizado pela deterioração do aço em contato com o meio ambiente, ocorre devido à perda de elétrons do metal, resultando na formação de óxidos e hidróxidos de ferro. A consequência direta é a perda de seção das barras de aço,

comprometendo a capacidade resistente da estrutura. Segundo Bianchi e Guadagnini (2015), a corrosão das armaduras é um processo eletroquímico complexo, influenciado por diversos fatores, como a composição do concreto, o nível de umidade, a presença de agentes agressivos e as condições ambientais.

A iniciação e a propagação da corrosão das armaduras são geralmente atribuídas a dois principais mecanismos: a carbonatação do concreto e a penetração de cloretos. A carbonatação consiste na reação entre o dióxido de carbono presente na atmosfera e os hidróxidos de cálcio do concreto, reduzindo o pH do meio e tornando-o mais agressivo para o aço. A penetração de cloretos, por sua vez, ocorre através dos poros do concreto e pode levar à corrosão ativa das armaduras, mesmo em pH alcalino. De acordo com Tomasi e Parrini (2018), a combinação desses dois mecanismos, juntamente com outros fatores, como a variação térmica e a ação de microrganismos, pode acelerar significativamente o processo corrosivo.

A Figura 2 evidencia um exemplo de corrosão de armadura em um pilar.

Figura 2- Corrosão da armadura de um pilar



Fonte: Epec - Engenharia (2024)

É possível notar que a corrosão de armadura do pilar está num grau avançado pela degradação exposta da estrutura.

2.2.1 Causas de corrosão das armaduras

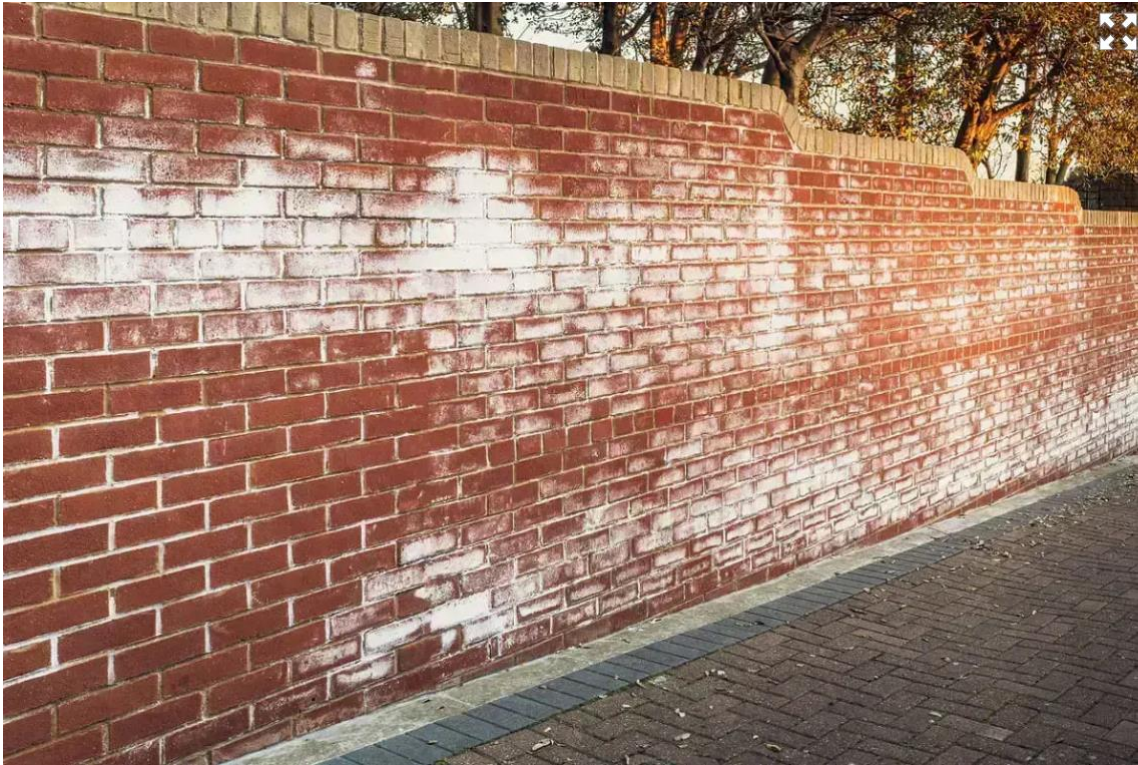
A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado é um fenômeno complexo, resultado da interação de diversos fatores. A carbonatação do concreto, um processo químico que reduz o pH do meio, é um dos principais mecanismos de iniciação da corrosão. A penetração de íons cloreto, provenientes de fontes como água do mar ou sais utilizados na desforma, também desempenha um papel crucial, ao migrar para a interface aço-concreto e quebrar a passividade do aço. Segundo Valente e Mazzotti (2017), a combinação desses dois processos, juntamente com fatores como a umidade relativa, a temperatura e a presença de agentes agressivos, pode acelerar significativamente a taxa de corrosão.

Além da carbonatação e da penetração de cloretos, outros fatores podem contribuir para a corrosão das armaduras. A presença de fissuras no concreto, por exemplo, facilita a penetração de água e agentes agressivos, acelerando o processo corrosivo. A variação térmica, que causa expansão e contração dos materiais, pode gerar microfissuras e facilitar a difusão de íons. De acordo com Guadagnini e Tomasi (2019), a interação entre os diferentes mecanismos de deterioração e a complexidade dos materiais de construção contribuem para a dificuldade em modelar e prever o comportamento a longo prazo das estruturas de concreto armado.

2.3 Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno comum na construção civil, caracterizado pelo aparecimento de manchas esbranquiçadas e salinas na superfície de materiais de construção, como tijolos, concretos e revestimentos cerâmicos. Essas manchas são compostas por sais solúveis que migram para a superfície do material, onde se cristalizam ao evaporar a água. A formação da eflorescência é um processo complexo influenciado por diversos fatores, como a composição dos materiais, a umidade relativa do ambiente e a temperatura. Segundo Müller (2015), a eflorescência é um dos principais problemas estéticos e funcionais em edificações, podendo afetar a durabilidade dos materiais e a estética das construções. A Figura 3 mostra um exemplo de eflorescência aparente em muro de tijolos.

Figura 3 – Eflorescência em muro de tijolos



Fonte: Viva Decora (2022)

É muito recorrente em revestimentos cerâmicos como tijolos, o aparecimento de casos de acúmulo de sais solúveis que causam eflorescência.

2.3.1 Causas de eflorescência

As causas da eflorescência são multifatoriais e envolvem a interação de diversos elementos, como a composição dos materiais, as condições climáticas e os processos construtivos. A presença de sais solúveis nos materiais de construção, como cloretos, sulfatos e carbonatos, é um dos principais fatores que contribuem para a formação da eflorescência. Quando a água entra em contato com esses sais, ela os dissolve e os transporta para a superfície do material, onde a água evapora e os sais se cristalizam, formando as típicas manchas brancas. Segundo Jones e Thomas (2018), a solubilidade dos sais, a permeabilidade dos materiais e as variações de temperatura e umidade influenciam diretamente a intensidade e a velocidade de formação da eflorescência.

Além da presença de sais, outros fatores podem contribuir para a ocorrência da eflorescência. O uso de água de má qualidade na mistura do concreto, a utilização

de agregados contaminados com sais e a presença de fissuras nos materiais podem facilitar a migração de sais para a superfície. A umidade relativa do ambiente também exerce um papel importante, pois a água é o veículo que transporta os sais para a superfície. Em regiões com alta umidade, a eflorescência é mais frequente e intensa. De acordo com Smith e Johnson (2021), a compreensão dos mecanismos de transporte de sais nos materiais de construção é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e tratamento da eflorescência.

3 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA FISSURAÇÃO, CORROSÃO DAS ARMADURAS E EFLORESCÊNCIA

Neste capítulo, são apresentadas algumas medidas preventivas para fissuração, corrosão de armaduras de concreto armado e eflorescência.

3.1 Medidas preventivas para fissuração

As medidas preventivas sobre fissuração são apresentadas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

3.1.1 Seleção de materiais, controle da expansão térmica e armadura

A seleção adequada dos materiais de construção é fundamental para garantir a durabilidade e segurança da obra. A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, que trata do projeto de estruturas de concreto, estabelece os critérios para a escolha de materiais como concreto, aço e agregados, considerando suas propriedades mecânicas e dimensionamento das armaduras. O controle da expansão térmica é crucial para evitar fissuras e danos à estrutura, sendo abordado na ABNT NBR 15210:2004 – Blocos de concreto para alvenaria, que trata de patologias em edificações. A ABNT NBR 7199: 1997 - Projeto e execução de estruturas de vidro na construção civil, por sua vez, aborda o projeto, execução e aplicação dos vidros na construção civil, material que possui alta sensibilidade à variação de temperatura.

3.1.2 Cura do concreto, controle de adições de água e controle de temperatura

A cura do concreto é um processo fundamental para o desenvolvimento das suas propriedades mecânicas e durabilidade. A ABNT NBR 9077:1989 - Saídas de emergência em edifícios, que trata da execução de estruturas de concreto, detalha os procedimentos para a cura do concreto, incluindo o controle da umidade e temperatura. O controle das adições de água é essencial para garantir a resistência e trabalhabilidade do concreto, sendo abordado na ABNT NBR 12654:1992 - Execução de estruturas de concreto simples e armado – Procedimento, que trata de dosagem e

propriedades do concreto. A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento também aborda o tema, estabelecendo os limites máximos de água em relação ao cimento.

3.1.3 Inspeções regulares, selagem de microfissuras e proteção das superfícies

A realização de inspeções regulares em estruturas de concreto é fundamental para identificar e corrigir patologias, como fissuras e deterioração do revestimento. A ABNT NBR 15210: 2004- Blocos de concreto para alvenaria, aborda as principais patologias em edificações e as medidas para sua correção. A selagem de microfissuras é uma medida importante para evitar a penetração de água e agentes agressivos no concreto, sendo abordada na ABNT NBR 15804:2010 - Sustentabilidade em edificações — Desempenho ambiental de edificações, que trata de revestimentos protetores para concreto. A proteção das superfícies do concreto, como a pintura e impermeabilização, é fundamental para aumentar a durabilidade da estrutura, sendo abordada em diversas normas, como a ABNT NBR 15804: 2010.

3.1.4 Controle de cargas externas e distribuição de cargas

O dimensionamento das estruturas de concreto deve considerar as cargas externas a que elas estarão sujeitas, como cargas vivas, ventos e sismos. A ABNT NBR 6118: 2014 estabelece os critérios para o cálculo das cargas e a distribuição das forças internas nas estruturas. A ABNT NBR 6123: 2019, que trata de ações e efeitos sobre estruturas, detalha os procedimentos para a determinação das cargas atuantes nas edificações.

3.1.5 Instrumentação, monitoramento e análise de dados

A instrumentação de estruturas permite acompanhar o seu comportamento ao longo do tempo e identificar possíveis problemas. A ABNT NBR 14021: 2003, que trata de monitoramento estrutural, estabelece os critérios para a escolha dos instrumentos de medição e a frequência das medições. A análise dos dados obtidos através do monitoramento permite avaliar a integridade da estrutura e a eficácia das medidas de reforço ou recuperação.

3.2 Medidas preventivas para corrosão das armaduras

As medidas preventivas sobre corrosão de armaduras são apresentadas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

3.2.1 Utilização de concreto de alta qualidade; adição de inibidores de corrosão e uso de aço galvanizado ou inoxidável

A durabilidade de uma estrutura de concreto está intrinsecamente ligada à qualidade dos materiais empregados. A ABNT NBR 6118: 2014, principal norma brasileira para projeto de estruturas de concreto, orienta sobre a dosagem e propriedades do concreto, incluindo a utilização de aditivos que podem melhorar a durabilidade, como os inibidores de corrosão. A ABNT NBR 12654: 1992, por sua vez, detalha os requisitos para a dosagem e propriedades do concreto, permitindo a seleção de materiais que garantam maior resistência a agentes agressivos. A utilização de aço galvanizado ou inoxidável nas armaduras, conforme previsto na ABNT NBR 6118, aumenta significativamente a vida útil da estrutura, ao retardar o processo de corrosão.

3.2.2 Espessura de cobrimento suficiente e controle da qualidade da cobertura

A espessura de cobrimento das armaduras é um fator crucial para a proteção destas contra a corrosão. A ABNT NBR 6118: 2014 estabelece os valores mínimos de cobrimento para diferentes tipos de estruturas e ambientes. O controle da qualidade da cobertura, que pode ser realizado por meio de ensaios não destrutivos, como o paquímetro ou o perfilômetro, é fundamental para garantir a durabilidade da estrutura. A ABNT NBR 12654: 1992 também aborda esse tema, complementando a ABNT NBR 6118: 2014.

3.2.3 Cura e aplicação de revestimentos protetores

A cura adequada do concreto é essencial para o desenvolvimento de suas propriedades e durabilidade. A ABNT NBR 9077: 1989 detalha os procedimentos para a cura do concreto, incluindo o controle da umidade e temperatura. A aplicação de

revestimentos protetores, como impermeabilizantes e pinturas, contribui para a proteção do concreto contra a penetração de água e outros agentes agressivos. A NBR 15804 trata dos revestimentos protetores para concreto, estabelecendo os requisitos para sua aplicação.

3.2.4 Instalação de sistemas de proteção catódica e monitoramento regular do sistema

Em casos de maior agressividade do ambiente, pode ser necessário a instalação de sistemas de proteção catódica para controlar a corrosão das armaduras. AABNT NBR 6118: 2014 menciona a possibilidade de utilização desses sistemas, mas não detalha os procedimentos de projeto e execução. O monitoramento regular do sistema de proteção catódica é fundamental para garantir sua eficiência.

A importância da proteção catódica na construção civil reside na sua eficácia em prevenir a corrosão das armaduras de aço, um dos principais problemas que afetam a durabilidade das estruturas de concreto. A corrosão das armaduras pode levar à fissuração do concreto, perda de aderência entre o aço e o concreto, e consequentemente, à redução da capacidade de carga da estrutura. Segundo Silva (2015), a proteção catódica é uma das medidas mais eficazes para controlar a corrosão das armaduras em estruturas de concreto, especialmente em ambientes agressivos. Além disso, estudos realizados por Souza (2018) demonstram que a implementação de sistemas de proteção catódica pode aumentar significativamente a vida útil das estruturas de concreto, reduzindo os custos de manutenção a longo prazo.

3.2.5 Minimização da exposição a agentes agressivos e gestão de tráfego e impacto ambiental

A durabilidade das estruturas de concreto pode ser comprometida pela ação de agentes agressivos, como sais, ácidos e ciclos de umidade. AABNT NBR 15210: 2004 trata das patologias em edificações, incluindo os danos causados por agentes agressivos. A gestão do tráfego e o controle do impacto ambiental também são importantes para a durabilidade das estruturas, pois o excesso de carga e vibrações podem acelerar o processo de degradação.

3.2.6 Inspeções regulares e reparo preventivo de microfissuras

A realização de inspeções regulares em estruturas de concreto permite identificar e corrigir problemas em estágio inicial, evitando danos mais severos. A ABNT NBR 15210: 2004 aborda as principais patologias em edificações e as medidas para sua correção. O reparo preventivo de microfissuras é fundamental para evitar a penetração de água e outros agentes agressivos no concreto, contribuindo para a durabilidade da estrutura.

3.3 Medidas preventivas para eflorescência

As medidas preventivas sobre eflorescência são apresentadas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

3.3.1 Seleção de cimentos com baixo teor de sais e controle de agregados

A durabilidade do concreto está diretamente ligada à qualidade dos materiais utilizados em sua produção. A ABNT NBR 12654: 1992, que trata da dosagem e propriedades do concreto, orienta sobre a seleção de cimentos com baixo teor de sais solúveis, que podem reagir com o aço das armaduras e acelerar o processo de corrosão. Além disso, a norma estabelece critérios para a seleção e controle dos agregados, que devem estar livres de impurezas e possuir propriedades físicas e químicas adequadas para garantir a durabilidade do concreto. A ABNT NBR 6118: 2014, por sua vez, complementa a ABNT NBR 12654: 1992, fornecendo diretrizes para o projeto de estruturas de concreto, incluindo a especificação dos materiais.

3.3.2 Relação água/cimento e controle da quantidade de água na mistura

A relação água/cimento (a/c) é um dos parâmetros mais importantes na produção do concreto, pois influencia diretamente a sua trabalhabilidade, resistência e durabilidade. A ABNT NBR 12654: 1992 estabelece os limites máximos para a relação água/cimento, a fim de garantir a produção de um concreto com as propriedades desejadas. O controle da quantidade de água na mistura é fundamental

para evitar a formação de poros e fissuras, que podem comprometer a durabilidade da estrutura.

3.3.3 Cura controlada e uso de métodos de cura

A cura do concreto é um processo fundamental para o desenvolvimento de suas propriedades e durabilidade. A ABNT NBR 9077: 1989, que trata da execução de estruturas de concreto, estabelece os procedimentos para a cura do concreto, incluindo o controle da umidade e temperatura. A cura adequada evita a retração do concreto e a formação de fissuras, além de contribuir para o aumento da resistência e da durabilidade da estrutura.

3.3.4 Aplicação de revestimentos impermeabilizantes e uso de barreira de vapor

A aplicação de revestimentos impermeabilizantes e o uso de barreiras de vapor são medidas importantes para proteger o concreto contra a penetração de água e umidade, que podem acelerar o processo de deterioração. A ABNT NBR 15804: 2010 trata dos revestimentos protetores para concreto, estabelecendo os requisitos para sua aplicação. A escolha do revestimento adequado depende das condições climáticas e do tipo de exposição da estrutura.

3.3.5 Gestão da drenagem e proteção contra chuvas

A gestão da drenagem e a proteção contra chuvas são essenciais para evitar a acumulação de água em contato com o concreto, o que pode levar ao desenvolvimento de patologias como eflorescências, manchas e fissuras. A ABNT NBR 15210: 2004, que trata das patologias em edificações, aborda a importância da drenagem e da proteção contra a umidade para a durabilidade das estruturas.

3.3.6 Uso de aditivos hidrofugantes e tecnologias de autocura

Os aditivos hidrofugantes são compostos químicos adicionados ao concreto com a finalidade de reduzir sua absorção de água, conferindo ao material propriedades hidrofóbicas. Esses aditivos atuam alterando a estrutura capilar do

concreto, formando uma barreira que impede a penetração de água, o que aumenta sua resistência ao intemperismo e à ação de agentes agressivos, como a água da chuva e a umidade (Lopes et al., 2016). A utilização de aditivos hidrofugantes é particularmente relevante em áreas expostas a condições climáticas severas, como em fachadas externas e estruturas submersas. Estudos têm demonstrado que a aplicação desses aditivos pode aumentar significativamente a durabilidade das construções, retardando o processo de deterioração causado pela infiltração de água e pela corrosão das armaduras (Silva & Santos, 2018). Além disso, seu uso tem se tornado cada vez mais comum em construções que exigem maior resistência à água, como em reservatórios e pisos de áreas industriais (Costa et al., 2020).

3.3.7 Limpeza, inspeção regular e tratamento de fissuras

A limpeza regular das estruturas de concreto, a inspeção visual e a realização de ensaios não destrutivos permitem identificar e tratar problemas em estágio inicial, evitando danos mais severos. A ABNT NBR 15210: 2004 trata das patologias em edificações e orienta sobre os procedimentos de inspeção e manutenção das estruturas. O tratamento de fissuras deve ser realizado de forma adequada para evitar a penetração de água e outros agentes agressivos no concreto.

4 MEDIDAS CORRETIVAS PARA FISSURAÇÃO, CORROSÃO DAS ARMADURAS E EFLORESCÊNCIA

Neste capítulo, são apresentadas algumas medidas corretivas para fissuração, corrosão de armaduras de concreto armado e eflorescência.

4.1 Medidas corretivas para fissuração

As medidas corretivas sobre fissuração são apresentadas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

4.1.1 Avaliação da causa e classificação das fissuras

A avaliação das fissuras em estruturas de concreto é um procedimento fundamental para identificar não apenas a extensão do problema, mas também suas causas subjacentes, o que permite uma abordagem de reparo mais eficiente. Como comentado no capítulo 2, as fissuras podem ser causadas por uma série de fatores, como sobrecargas, retração, variações térmicas e exposição a elementos corrosivos. Classificar as fissuras de acordo com sua origem — como fissuras estruturais ou não estruturais — auxilia na escolha da técnica de reparo mais apropriada, garantindo a durabilidade da estrutura e a minimização de futuros problemas (Carino, 1999).

A avaliação das fissuras em estruturas de concreto visa garantir a segurança e a durabilidade da construção. Segundo a ABNT NBR 9575:2010 - Impermeabilização - Seleção e Projeto, é importante identificar as causas das fissuras, sejam elas estruturais ou decorrentes de retração plástica, térmica ou corrosão das armaduras. O entendimento da origem da fissura auxilia na definição da melhor técnica de reparo e, conforme a ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, possibilita classificar a fissura em função de sua gravidade e impacto estrutural.

A classificação das fissuras deve considerar aspectos como largura, profundidade e localização, sendo recomendável o uso de técnicas de inspeção visual e ensaios de ultrassom, conforme especificado na ABNT NBR 15572:2008 - Inspeção de Estruturas de Concreto - Procedimento. Esta classificação permite ao engenheiro tomar decisões informadas sobre a urgência e o tipo de intervenção necessária,

evitando reparos excessivos ou subdimensionados que possam comprometer a vida útil da estrutura.

4.1.2 Selagem com produtos flexíveis aplicação de revestimentos protetores

O uso de produtos flexíveis para selagem de fissuras é uma técnica comum para prevenir a penetração de água e outros agentes agressivos, especialmente em estruturas que apresentam movimentação periódica. Materiais como silicones e polímeros à base de poliuretano são frequentemente utilizados, pois oferecem boa flexibilidade e aderência. Além disso, a aplicação de revestimentos protetores ajuda a reduzir a taxa de deterioração, prolongando a vida útil do concreto (McCarter, 2005).

A selagem de fissuras com produtos flexíveis visa impedir a penetração de agentes externos, como água e substâncias corrosivas, que podem agravar os danos estruturais. A ABNT NBR 9574:2008 - Execução de Impermeabilização recomenda o uso de produtos à base de polímeros flexíveis, como o poliuretano, para proteger áreas onde há movimentação natural da estrutura. A aplicação desses produtos evita que o concreto sofra degradações adicionais devido à exposição ambiental.

Além disso, revestimentos protetores, como especificado na NBR 9452:2016 - Revestimentos de Argamassas para Revestimento de Paredes Internas e Externas, contribuem para o aumento da resistência da superfície do concreto contra o desgaste e os ataques químicos. Esses revestimentos funcionam como uma camada de barreira adicional, proporcionando um efeito estético e prolongando a durabilidade da estrutura ao evitar a exposição direta do concreto às intempéries.

4.1.3 Injeção de epóxi injeção de resinas de poliuretano

As técnicas de injeção de epóxi e resinas de poliuretano são indicadas para o preenchimento de fissuras finas, com o objetivo de restaurar a integridade estrutural e impedir a infiltração de água. A injeção de epóxi, por exemplo, é comumente empregada em fissuras que exigem recuperação estrutural, enquanto as resinas de poliuretano são preferidas em aplicações onde o objetivo principal é a vedação contra a água (Emmons, 1993).

A injeção de epóxi é recomendada para o reparo de fissuras finas em estruturas de concreto que necessitam de recuperação estrutural, conforme a ABNT NBR

7682:2013 - Argamassa para Injeção - Requisitos e Métodos de Ensaio. Esse procedimento restaura a resistência e a coesão do material, preenchendo os vazios e promovendo a aderência entre as faces da fissura. O uso de epóxi é apropriado para fissuras secas, onde não há movimento significativo.

Para fissuras com necessidade de vedação e maior flexibilidade, a ABNT NBR 12142:2010 - Injeção de Poliuretano - Requisitos e Métodos de Ensaio recomenda o uso de resinas de poliuretano, especialmente em fissuras sujeitas à presença de umidade. Esse material é adequado para vedação contra a infiltração de água, sendo utilizado em estruturas que não exigem reforço estrutural significativo, mas sim uma proteção contra agentes externos.

4.1.4 Reparo com argamassa de reparação e técnica de *grouting*

A técnica de *grouting* e o uso de argamassa de reparação são métodos eficazes para restaurar a capacidade de carga de uma estrutura danificada, preenchendo vazios e fissuras maiores. Esses métodos são aplicados principalmente em reparos onde a estrutura foi comprometida por sobrecarga ou ataques químicos que causaram corrosão nas armaduras. O *grouting* é particularmente útil em estruturas de concreto sujeitas a ciclos de congelamento e descongelamento (Mayer, 2007).

O uso de argamassa de reparação é indicado para preenchimento de fissuras e recuperação de áreas de concreto deterioradas, como especificado na NBR 13281:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Requisitos. Este tipo de argamassa é formulado para oferecer alta resistência mecânica e durabilidade, sendo aplicada em locais onde há exposição direta a agentes agressivos.

A técnica de *grouting*, detalhada na ABNT NBR 12143:2013 - Injeção de Cimento - Requisitos e Procedimento, é frequentemente empregada para preencher vazios ou fissuras maiores, restabelecendo a integridade estrutural. Este método é ideal para estruturas que sofreram comprometimento por sobrecarga ou processos de corrosão, sendo uma solução eficaz para o preenchimento de falhas internas que não podem ser tratadas apenas com argamassas superficiais.

4.1.5 Costura das Fissuras ou *Stitching*

A técnica de *stitching* envolve o uso de pinos de aço ou tirantes metálicos para unir as bordas de fissuras em concreto, promovendo uma ligação mecânica entre as partes. Esta técnica é eficaz para evitar o alargamento de fissuras em estruturas onde o reforço é necessário para a estabilidade da construção. É uma solução prática para fissuras que não podem ser corrigidas com outros métodos convencionais, especialmente em estruturas com baixa deformação (Frangopol, 2003).

A técnica de costura de fissuras, conhecida como *stitching*, é abordada na ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, onde pinos de aço são inseridos ao longo da fissura para unir as faces da abertura, promovendo uma resistência adicional. Esse método é indicado para fissuras que podem comprometer a integridade estrutural, oferecendo uma solução de reforço.

A instalação de barras metálicas em fissuras previamente limpas e preenchidas ajuda a evitar o alargamento da fissura, restaurando a resistência do concreto. De acordo com a ABNT NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento, o uso de pinos metálicos auxilia na redistribuição de tensões e previne futuras aberturas no concreto em locais suscetíveis a cargas elevadas.

4.1.6 Aplicação de compósitos de fibras

A utilização de compósitos de fibras, como fibra de carbono, é uma técnica moderna que reforça as estruturas de concreto, aumentando sua capacidade de carga e resistência à tração. Esse método é amplamente utilizado em pontes e outras estruturas que requerem reforço adicional sem aumentar significativamente o peso. Os compósitos também melhoram a resistência à corrosão e ao desgaste, resultando em maior durabilidade (Mehta, 2002).

A aplicação de compósitos de fibras, como as fibras de carbono, é uma técnica moderna para o reforço de estruturas de concreto, especialmente em áreas sujeitas a altos esforços de tração. Conforme a ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho, o uso de compósitos aumenta a capacidade de carga da estrutura sem adicionar peso considerável. Esses materiais, ao serem aplicados em camadas finas, permitem que o concreto suporte maiores tensões sem comprometer sua durabilidade.

Além disso, a ABNT NBR 15421:2006 - Execução de Reforço de Estruturas de Concreto com Compósitos de Fibras de Carbono regulamenta a aplicação dos compósitos, destacando as condições de superfície e os métodos de fixação necessários para assegurar a aderência ideal. Com sua resistência à corrosão, os compósitos de fibras são especialmente recomendados para estruturas expostas a ambientes agressivos.

4.1.7 Aplicação de concreto projetado (Shotcrete)

O concreto projetado, ou *shotcrete*, é uma técnica eficaz para reparos superficiais e de grande área em estruturas de concreto, sendo aplicado sob pressão diretamente sobre superfícies deterioradas. Este método oferece alta adesão e resistência inicial, tornando-se ideal para obras em encostas, túneis e fundações. O *shotcrete* pode ser aplicado tanto em áreas secas quanto úmidas e permite uma rápida retomada do uso da estrutura (Cromwell, 2001).

O concreto projetado, ou *shotcrete*, é uma técnica indicada para o revestimento e reforço de superfícies de concreto, especialmente em locais de difícil acesso. De acordo com a NBR 16431:2015 - Execução de Revestimento com Concreto Projetado, o *shotcrete* é aplicado sob alta pressão, resultando em uma camada que adere fortemente ao substrato e confere resistência imediata. Essa técnica é amplamente utilizada em obras de contenção e reforço de encostas.

O uso de *shotcrete* permite uma aplicação rápida e uniforme em grandes áreas, contribuindo para o reforço estrutural em locais onde o acesso é limitado. Além disso, a aplicação sob pressão assegura uma compactação eficiente do material, aumentando a densidade e a resistência ao desgaste e à permeabilidade.

4.1.8 Monitoramento contínuo e manutenção regular

O monitoramento contínuo de estruturas de concreto permite a identificação precoce de problemas, antes que eles comprometam a integridade da estrutura. Técnicas de monitoramento, como sensores de corrosão e sistemas de alerta em tempo real, são cada vez mais aplicadas para assegurar a segurança e a durabilidade das construções. A manutenção regular, associada a esses métodos, é fundamental para evitar reparos custosos e danos severos (Pereira, 2015).

A manutenção regular de estruturas de concreto é fundamental para evitar problemas futuros e garantir sua durabilidade. A ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de Edificações - Requisitos para o Sistema de Gestão de Manutenção estabelece diretrizes para inspeção e monitoramento preventivo. Essas práticas permitem a detecção precoce de fissuras, infiltrações e outros sinais de deterioração que, caso ignorados, podem comprometer a integridade da construção.

A instalação de sistemas de monitoramento contínuo, como sensores de corrosão e dispositivos de medição de deslocamento, permite acompanhar o comportamento estrutural em tempo real. De acordo com a ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho, o uso de tecnologias de monitoramento facilita a intervenção imediata e reduz os custos de manutenção ao evitar reparos emergenciais.

4.2 Medidas corretivas para corrosão das armaduras

As medidas corretivas sobre corrosão de armaduras são descritas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

4.2.1 Inspeção detalhada e identificação das causas

A inspeção detalhada de estruturas de concreto visa identificar e quantificar danos, especialmente aqueles causados por corrosão, exposição a elementos agressivos ou falhas de projeto. Segundo Sanders (2010), a inspeção envolve tanto métodos visuais quanto ensaios não destrutivos, como ultrassom e esclerometria, que ajudam a avaliar o estado do concreto e das armaduras. Essas inspeções fornecem dados essenciais para determinar a extensão do problema e as áreas que requerem intervenções mais profundas.

Além disso, o processo de inspeção permite a identificação das causas principais dos danos, facilitando a escolha de técnicas de reparo e prevenção mais adequadas. Conforme Lopes (2013), compreender as origens dos problemas, sejam eles estruturais ou ambientais, é essencial para definir o tipo de intervenção e garantir a durabilidade da estrutura reparada. Esse diagnóstico ajuda a evitar intervenções desnecessárias e direciona os esforços para as áreas mais críticas.

A inspeção detalhada das estruturas de concreto é essencial para a identificação precoce de falhas e degradações que possam comprometer a segurança e a durabilidade da construção. A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto recomenda a realização de inspeções periódicas e detalhadas para avaliar o estado das estruturas e identificar as causas de possíveis fissuras e corrosão nas armaduras. A inspeção visual, em conjunto com métodos não destrutivos como ultrassom e esclerometria, facilita a detecção de danos ocultos que não são visíveis à simples observação, permitindo um diagnóstico preciso das condições estruturais.

Além disso, a identificação das causas é um passo fundamental para direcionar as intervenções corretivas. A ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho ressalta que a análise das condições ambientais, como umidade e exposição a agentes agressivos, deve ser realizada para entender a origem da deterioração. A combinação de inspeção detalhada e análise das causas permite a implementação de soluções adequadas, evitando reparos inadequados e promovendo a longevidade das estruturas.

4.2.2 Remoção do concreto danificado e limpeza das armaduras

A remoção do concreto deteriorado é um passo inicial e essencial para garantir que o reparo seja duradouro. Estudos realizados por Thomson (2011) mostram que a remoção adequada do concreto danificado permite o acesso completo às armaduras corroídas, facilitando o tratamento subsequente. Métodos como martelagem e hidrojateamento são comumente utilizados para evitar danos adicionais às áreas adjacentes.

Após a remoção do concreto, a limpeza das armaduras é crucial para garantir a aderência dos novos materiais de reparo. O trabalho de Perez (2012) aponta que, ao remover a corrosão das armaduras por meio de jateamento abrasivo ou produtos químicos, aumenta-se a eficácia da aplicação de inibidores e revestimentos, prevenindo a reincidência de corrosão e promovendo uma melhor durabilidade.

A remoção do concreto danificado é uma etapa crucial no processo de reparo de estruturas de concreto, sendo necessária para restaurar a integridade e a segurança da edificação. De acordo com a ABNT NBR 13281:2005 - Argamassa para Reparo e Revestimento de Superfícies de Concreto, a remoção do concreto deteriorado deve ser feita de maneira cuidadosa para não danificar as armaduras e

garantir que toda a área afetada seja limpa adequadamente. O processo de remoção pode ser realizado por técnicas manuais, como martelagem, ou por métodos mecânicos, como hidrojateamento, dependendo da extensão e do tipo de deterioração.

Após a remoção do concreto danificado, é necessário realizar a limpeza das armaduras, processo detalhado na ABNT NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento. A limpeza das armaduras visa remover toda a corrosão e detritos, garantindo que o metal fique livre para uma aderência eficaz com o material de reparo. A utilização de métodos como jateamento abrasivo ou escovação com produtos químicos especializados é recomendada para eliminar os produtos de corrosão, assegurando a durabilidade e a eficiência do reparo.

4.2.3 Aplicação de inibidores de corrosão e revestimento protetor das armaduras

A aplicação de inibidores de corrosão visa reduzir o processo corrosivo nas armaduras expostas a ambientes agressivos, aumentando a vida útil da estrutura. Segundo Ortega (2015), os inibidores podem ser aplicados diretamente nas armaduras ou incorporados à mistura de reparo, formando uma barreira que impede a progressão da corrosão. Essa técnica é eficaz para estruturas localizadas em áreas com alto teor de cloretos, como em ambientes marítimos.

Além disso, o revestimento protetor das armaduras com produtos epóxi ou outros polímeros ajuda a isolar as barras de aço do concreto, dificultando o contato com agentes agressivos. Pesquisas realizadas por Myers (2014) mostram que essa camada protetora reduz significativamente a taxa de corrosão, aumentando a durabilidade da estrutura. Esse revestimento é particularmente útil em estruturas sujeitas a umidade constante.

A aplicação de inibidores de corrosão nas armaduras é uma técnica essencial para prevenir a degradação do aço em estruturas de concreto expostas a ambientes agressivos. A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto orienta o uso de inibidores de corrosão em locais com alta concentração de cloretos, como obras perto do mar, para aumentar a resistência das armaduras à corrosão. Esses inibidores podem ser aplicados diretamente nas armaduras antes de realizar o reparo ou

incorporados à argamassa de reparo, formando uma barreira protetora contra a umidade e os agentes agressivos.

Além dos inibidores, o revestimento protetor das armaduras deve ser considerado para garantir uma proteção adicional. A NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento recomenda o uso de revestimentos epóxi ou de outros materiais impermeáveis para criar uma camada que isola as armaduras da umidade e da carbonatação. Esses revestimentos ajudam a prolongar a vida útil da estrutura ao proteger as armaduras contra o processo de corrosão, que é acelerado pela presença de água e gás carbônico.

4.2.4 Reparo com argamassa e compatibilidade dos materiais

O uso de argamassa de reparo compatível com o concreto original é um fator essencial para garantir a durabilidade da intervenção. De acordo com White (2013), a argamassa utilizada no reparo deve ter propriedades mecânicas e térmicas compatíveis com o concreto existente, para evitar tensões que possam resultar em novas fissuras ou descolamentos. A escolha da argamassa é crucial para assegurar a estabilidade e o desempenho a longo prazo do reparo.

Além da compatibilidade, é importante que a argamassa apresente aderência suficiente para assegurar a ligação com o concreto circundante. Estudos de Lewis (2016) indicam que a preparação da superfície e o uso de adesivos específicos contribuem para aumentar a aderência, reduzindo o risco de falhas no reparo. A aplicação de argamassas compatíveis também ajuda a manter a estética e a integridade do concreto.

O reparo de concreto danificado com argamassa deve ser feito utilizando materiais que possuam características compatíveis com as do concreto original para garantir a adesão e a resistência do reparo. A ABNT NBR 13281:2005 - Argamassa para Reparo e Revestimento de Superfícies de Concreto orienta a escolha de argamassas com propriedades mecânicas e térmicas semelhantes às do concreto original, evitando a formação de tensões internas que possam resultar em fissuras ou descolamentos. Além disso, as argamassas devem ser formuladas de forma a garantir boa trabalhabilidade e resistência a intempéries.

A compatibilidade dos materiais é essencial para que o reparo tenha sucesso a longo prazo. A NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto alerta para a

necessidade de garantir que a argamassa de reparo tenha aderência adequada ao concreto existente. A preparação da superfície, incluindo a limpeza e o tratamento das áreas danificadas, é fundamental para que os materiais se integrem de forma eficiente e proporcionem um reparo durável e funcional.

4.2.5 Substituição ou reforço das armaduras e uso de fibras ou compósitos

A substituição ou reforço das armaduras é recomendada quando a corrosão compromete a resistência estrutural, especialmente em áreas com cargas elevadas. Segundo Huang (2017), o reforço pode ser realizado com a adição de barras de aço ou com o uso de materiais compósitos, como fibra de carbono, que oferecem alta resistência com menor peso. Esses materiais são eficazes para reforçar estruturas antigas e aumentar a sua capacidade de carga.

O uso de fibras e compósitos, além de melhorar a resistência à tração, proporciona uma proteção extra contra a corrosão, aumentando a durabilidade da estrutura. Estudos de Martinez (2018) mostram que o uso de compósitos de fibras é uma técnica eficiente para reforço estrutural e manutenção de desempenho a longo prazo, especialmente em estruturas expostas a agentes corrosivos.

Quando a corrosão ou a deterioração das armaduras comprometerem a resistência estrutural, a substituição ou o reforço das armaduras se tornam necessários. A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto orienta o uso de técnicas como o reforço com barras de aço adicionais ou o uso de compósitos de fibras, como fibra de carbono ou fibra de vidro, que têm se mostrado eficazes na recuperação da capacidade de carga das estruturas. Esses materiais apresentam alta resistência à tração e durabilidade, além de serem leves, o que facilita a instalação.

A utilização de compósitos de fibras tem ganhado destaque devido à sua eficiência em reforçar a capacidade estrutural sem adicionar peso significativo. Segundo a ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho das Edificações Habitacionais, esses compósitos também oferecem resistência à corrosão, tornando-os ideais para estruturas expostas a ambientes agressivos. Sua aplicação proporciona um reforço significativo sem a necessidade de alterações estruturais complexas, sendo uma solução eficaz e econômica para prolongar a vida útil das edificações.

4.2.6 Instalação de proteção catódica galvânica e proteção catódica por corrente impressa

A proteção catódica galvânica é uma técnica eficiente para reduzir a corrosão nas armaduras de concreto, especialmente em ambientes altamente agressivos. Conforme Silva (2014), essa técnica utiliza ânodos sacrificiais que, ao se corroerem, protegem as armaduras, prolongando a vida útil da estrutura. É uma solução eficaz para estruturas em locais onde o teor de cloretos é elevado, como em áreas costeiras.

A proteção catódica por corrente impressa, por sua vez, é indicada para estruturas maiores ou com elevados níveis de corrosão. Segundo estudos de Robinson (2015), essa técnica permite o controle da intensidade da corrente, possibilitando uma proteção mais duradoura e eficiente. A escolha entre proteção catódica galvânica e por corrente impressa depende das características específicas da estrutura e das condições ambientais.

A proteção catódica galvânica é uma técnica utilizada para evitar a corrosão das armaduras de concreto, especialmente em estruturas expostas a ambientes marinhos ou industriais. De acordo com a ABNT NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento, o método consiste na instalação de ânodos de sacrifício que se corroem preferencialmente, protegendo as armaduras. Essa solução é eficaz para estruturas de concreto em condições de alta agressividade, garantindo uma proteção duradoura com custo relativamente baixo.

Por outro lado, a proteção catódica por corrente impressa, abordada pela ABNT NBR 15735:2010 - Proteção Catódica - Sistema de Corrente Impressa, é uma técnica mais avançada e controlada, que envolve a aplicação de uma corrente elétrica nas armaduras para inverter o processo de corrosão. Essa técnica é recomendada para estruturas grandes e altamente corroídas, como pontes e viadutos, proporcionando uma proteção contínua e eficaz. A escolha entre esses dois sistemas depende da gravidade da corrosão e das condições ambientais da estrutura.

4.2.7 Aplicação de revestimentos impermeabilizantes e barreiras de carbonatação

A aplicação de revestimentos impermeabilizantes é uma técnica preventiva que visa proteger o concreto da penetração de água e de agentes agressivos. Segundo

Brown (2016), esses revestimentos são especialmente úteis para estruturas expostas a intempéries, prevenindo a degradação e aumentando a vida útil do concreto. Produtos como epóxis e silicones são comumente utilizados, proporcionando uma barreira eficaz contra a umidade.

As barreiras de carbonatação, por outro lado, são aplicadas para evitar que o dióxido de carbono atinja as armaduras, acelerando o processo de corrosão. De acordo com Thompson (2017), esses revestimentos aumentam a resistência à carbonatação, que é uma das principais causas de deterioração em estruturas de concreto expostas ao ambiente urbano. A combinação dessas técnicas contribui significativamente para a preservação das características estruturais do concreto.

A aplicação de revestimentos impermeabilizantes é fundamental para proteger as estruturas de concreto da infiltração de água, que pode acelerar a deterioração das armaduras. A ABNT NBR 9574:2008 - Execução de Impermeabilização orienta a utilização de revestimentos impermeáveis, como epóxi, poliuretano e acrílicos, que formam uma barreira contra a umidade. Esses revestimentos são especialmente importantes em áreas sujeitas a altas taxas de precipitação ou ambientes subterrâneos.

Além de impermeabilizar, os revestimentos também atuam como barreiras contra a carbonatação, que pode enfraquecer a estrutura do concreto e desencadear a corrosão das armaduras. A ABNT NBR 15735:2010 - Proteção Catódica - Sistema de Corrente Impressa destaca a importância de barreiras de carbonatação para prolongar a vida útil das construções. Esses revestimentos evitam que o dióxido de carbono entre em contato com o concreto, prevenindo a redução do pH e a subsequente corrosão das armaduras.

4.2.8 Monitoramento pós-reparo e manutenção preventiva

O monitoramento pós-reparo é uma prática essencial para verificar a eficácia das intervenções e prevenir novos danos. Conforme estudos de Wilson (2015), a instalação de sensores de monitoramento contínuo permite acompanhar a evolução de fissuras, infiltrações e corrosão nas armaduras, facilitando a detecção precoce de problemas. Esse monitoramento é especialmente útil em estruturas críticas, como pontes e edifícios de grande porte.

A manutenção preventiva, associada ao monitoramento, ajuda a prolongar a vida útil da estrutura e a reduzir os custos de reparo. Johnson (2016) ressalta que intervenções preventivas, como limpeza e aplicação periódica de revestimentos protetores, são mais econômicas e menos invasivas do que reparos corretivos em estágio avançado de deterioração. Essa prática contribui para a preservação da estrutura e para a segurança dos usuários.

O monitoramento pós-reparo é essencial para garantir que as intervenções realizadas em uma estrutura de concreto sejam eficazes a longo prazo. A ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho das Edificações Habitacionais recomenda o uso de sistemas de monitoramento para acompanhar o desempenho das áreas reparadas, incluindo a instalação de sensores de umidade, temperatura e corrosão nas armaduras. Esses sistemas permitem a detecção precoce de falhas, o que facilita a realização de manutenções preventivas antes que os problemas se agravem.

A manutenção preventiva, conforme abordado pela ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de Edificações, deve ser realizada periodicamente para garantir a integridade das estruturas. O monitoramento contínuo e a manutenção regular contribuem para a preservação da qualidade do concreto e das armaduras, evitando reparos emergenciais e prolongando a vida útil da edificação. A realização de limpezas periódicas e a verificação de condições ambientais também fazem parte das boas práticas de manutenção preventiva.

4.3 Medidas corretivas para eflorescência

As medidas corretivas sobre corrosão de armaduras serão apresentadas conforme as prescrições das normas reguladoras brasileiras de construção civil.

4.3.1 Remoção física dos sais e lavagem com água

A remoção física dos sais solúveis presentes na superfície do concreto, frequentemente causados pela eflorescência, pode ser eficaz quando realizada com lavagem com água sob pressão. De acordo com a pesquisa de Souza (2020), o uso de jatos de água em alta pressão permite a dissolução dos sais e sua remoção sem prejudicar a integridade da estrutura do concreto. Este método é eficiente quando os depósitos de sais são recentes, pois a água ajuda a dissolver os cristais que se

formam na superfície do concreto devido à migração de sais solúveis através da porosidade do material. A lavagem deve ser feita de forma cuidadosa, com a remoção do excesso de água para evitar que o processo de eflorescência se repita. Após a lavagem, é fundamental que o concreto seja adequadamente seco para evitar a reabsorção de água, o que poderia induzir o reaparecimento da eflorescência.

No entanto, a lavagem com água pode ser insuficiente em casos de eflorescência mais persistente. Segundo pesquisa de Silva (2018), a remoção física pode ser complementada por outros métodos de limpeza mais intensivos, como a aplicação de soluções químicas específicas ou o uso de abrasivos. Em alguns casos, uma combinação de jatos de água e escovação pode ser mais eficaz para eliminar os depósitos mais difíceis. Além disso, a análise da causa da eflorescência, como a umidade excessiva ou problemas na mistura do concreto, deve ser realizada para evitar recorrências no futuro. Esses métodos podem ser melhorados com a incorporação de tecnologias de monitoramento para avaliar a efetividade dos processos de limpeza (Silva, 2018).

A remoção física de sais presentes nas superfícies de concreto, conhecida como eflorescência, pode ser eficazmente realizada com a lavagem com água. De acordo com a ABNT NBR 9781:2009, a eflorescência ocorre quando sais solúveis presentes no concreto migram para a superfície e se cristalizam ao entrar em contato com a água. A lavagem com água, especialmente utilizando jatos de alta pressão, ajuda a remover os cristais de sal, sem danificar o concreto. O processo deve ser seguido pela secagem da superfície para evitar a recristalização dos sais. A NBR 12655:2015 também sugere que a drenagem adequada das áreas afetadas é essencial para evitar a reumidificação e o retorno da eflorescência após a limpeza.

No entanto, é importante considerar a porosidade do concreto e a intensidade dos depósitos de sais, pois em alguns casos a lavagem com água sozinha pode não ser suficiente. A NBR 12655:2015 orienta a utilização de métodos mecânicos, como escovas duras, combinados com a lavagem para a remoção de eflorescência mais resistente. Essa abordagem garante a remoção eficaz dos sais, especialmente em concretos mais porosos, onde os cristais podem penetrar profundamente na superfície. Em casos extremos, o uso de métodos adicionais, como abrasivos ou detergentes especiais, pode ser recomendado (NBR 9781:2009).

4.3.2 Aplicação de ácidos diluídos e produtos comerciais para remoção de eflorescência

A utilização de ácidos diluídos, como o ácido muriático, é uma prática comum para a remoção de eflorescência de concreto. Segundo a pesquisa de Martins (2019), a aplicação de soluções de ácido diluído é eficaz para dissolver os cristais de sais presentes na superfície do concreto. O método envolve a aplicação cuidadosa de uma solução ácida diluída, seguida de uma lavagem intensiva com água para neutralizar os resíduos do ácido. A diluição do ácido é importante para evitar danos à superfície do concreto, especialmente quando se lida com acabamentos delicados ou superfícies expostas à abrasão. A pesquisa de Martins (2019) destaca que este processo deve ser realizado de forma controlada, com a supervisão de especialistas, para garantir que o efeito sobre o concreto não seja negativo.

Além disso, existem produtos comerciais desenvolvidos especificamente para a remoção de eflorescência que combinam ácidos com outros ingredientes para uma maior eficiência. Conforme estudo de Costa (2020), esses produtos comerciais são vantajosos pois já possuem formulações balanceadas que minimizam os riscos de danos ao concreto e oferecem facilidade de aplicação. A aplicação desses produtos deve ser feita com cuidado, pois eles podem alterar a textura superficial do concreto, como descrito na pesquisa de Costa (2020). O uso de ácidos diluídos ou produtos comerciais depende das condições da superfície e do tipo de eflorescência presente, sendo importante realizar testes preliminares antes da aplicação total para evitar danos irreversíveis.

A aplicação de ácidos diluídos, como o ácido muriático, é um método comumente utilizado para a remoção de eflorescência no concreto. A ABNT NBR 9781:2009 sugere que, quando a eflorescência está mais incrustada, o uso de ácidos diluídos pode ser necessário para dissolver os sais presentes na superfície do concreto. O ácido é aplicado com cuidado, de preferência em baixa concentração, para evitar danos à estrutura do concreto. A lavagem com água em abundância após a aplicação do ácido é crucial para neutralizar o produto e evitar qualquer reação negativa. A NBR 12655:2015 reforça que a aplicação de ácidos deve ser feita com precauções, utilizando equipamentos de proteção adequados.

Além dos ácidos diluídos, existem também produtos comerciais desenvolvidos para a remoção de eflorescência, que combinam ácidos com outros agentes para

aumentar sua eficácia e minimizar riscos. A ABNT NBR 9781:2009 orienta que esses produtos sejam escolhidos com base nas recomendações do fabricante e nas características específicas do concreto. Esses produtos comerciais podem ser mais eficazes quando utilizados de acordo com as instruções, uma vez que muitos deles já possuem formulações balanceadas, o que reduz o risco de danos ao concreto e melhora a eficácia na remoção de depósitos de eflorescência (ABNT NBR 9781:2009).

4.3.3 Reparo de fissuras e melhoria da drenagem

O reparo de fissuras em concreto pode ser realizado de diversas formas, dependendo da profundidade e da natureza da fissura. Segundo pesquisa de Almeida (2017), as fissuras superficiais podem ser tratadas com selantes ou argamassas específicas que garantem uma boa adesão e vedação da fenda, prevenindo a infiltração de água e a progressão do dano. Já fissuras mais profundas ou estruturais exigem materiais mais resistentes, como resinas epóxi, que penetram nas fissuras e garantem a coesão entre as superfícies danificadas. No entanto, a eficácia do reparo depende também da melhoria da drenagem nas áreas afetadas, pois a água acumulada pode acelerar a degradação do concreto, tornando os reparos temporários.

A melhoria da drenagem é uma das estratégias mais importantes para evitar que novas fissuras se formem devido ao acúmulo de água. Como aponta a pesquisa de Lima (2018), a instalação de sistemas de drenagem adequados, como drenos superficiais e sistemas de impermeabilização, pode prevenir a pressão hidrostática nas fundações, reduzindo o risco de novas fissuras. Além disso, o uso de materiais permeáveis nas áreas de fundação pode facilitar a drenagem da água, evitando que o concreto seja exposto à umidade excessiva, que é uma das principais causas de fissuração em longo prazo. A implementação dessas soluções em conjunto com os reparos pode garantir a longevidade das estruturas.

O reparo de fissuras no concreto é uma etapa fundamental para preservar a integridade das estruturas. A ABNT NBR 6118:2014 sugere o uso de materiais compatíveis, como argamassas e resinas epóxi, para reparar fissuras. O reparo deve ser realizado com materiais que possuam propriedades de aderência e resistência similares às do concreto original, evitando a introdução de novos pontos de falha. A NBR 5674:2012 destaca que a drenagem adequada é uma medida essencial para

impedir a infiltração de água nas fissuras e evitar o agravamento dos danos estruturais. A instalação de sistemas de drenagem, como drenos subterrâneos e coletores, ajuda a reduzir a pressão da água e a prevenir o alagamento das fundações.

Além dos reparos, a melhoria da drenagem é uma ação preventiva importante que deve ser considerada no contexto das fissuras. A ABNT NBR 12210:2015 aborda a importância da drenagem para evitar o acúmulo de água nas estruturas de concreto. A pressão hidrostática pode agravar as fissuras, tornando-as mais profundas e comprometendo a estabilidade do concreto. Para melhorar a drenagem, a ABNT NBR 12210:2015 recomenda o uso de sistemas de drenagem eficiente, como sistemas de tubos de drenagem e drenos de geotêxtil, que podem ser instalados em áreas sujeitas a acúmulo de água. A combinação de reparo de fissuras e drenagem adequada garante maior durabilidade e resistência das estruturas.

4.3.4 Aplicação de selantes hidrofóbicos e revestimento superficial

A aplicação de selantes hidrofóbicos é uma técnica eficaz para proteger o concreto contra a penetração de água, prevenindo danos como corrosão das armaduras e degradação do material. De acordo com Oliveira (2020), os selantes hidrofóbicos formam uma camada protetora que repele a água, mantendo a superfície seca e preservando a integridade do concreto. A pesquisa de Costa (2019) destaca que a escolha do tipo de selante deve ser feita com base na porosidade do concreto e nas condições ambientais da obra. O selante hidrofóbico é aplicado nas superfícies do concreto após a limpeza e secagem completas, e pode ser combinado com revestimentos impermeabilizantes para melhorar a proteção.

Além dos selantes, os revestimentos superficiais também desempenham um papel importante na impermeabilização das superfícies de concreto. Lima (2017) afirma que o uso de revestimentos à base de siloxano ou poliuretano oferece uma camada adicional de proteção contra a umidade e outros agentes agressivos. Esses revestimentos formam uma barreira que não só impede a penetração de água, mas também melhora a resistência do concreto a substâncias químicas e à abrasão. A combinação de selantes e revestimentos proporciona uma solução eficaz e duradoura para a proteção de estruturas de concreto em ambientes expostos à água e intempéries (Costa, 2019).

Os selantes hidrofóbicos são aplicados em concreto para melhorar a resistência da superfície à penetração de água. A NBR 11768:2019 descreve que esses produtos formam uma camada protetora que impede a infiltração de água, promovendo a impermeabilidade do concreto. A aplicação de selantes é particularmente importante em áreas expostas à chuva e à umidade, como fachadas e fundações. A NBR 11768:2019 também enfatiza que os selantes devem ser escolhidos com base nas características do concreto e nas condições ambientais, garantindo a aderência e durabilidade do produto. Os revestimentos de proteção também podem ser utilizados para aumentar a resistência do concreto a substâncias químicas agressivas.

Além dos selantes, os revestimentos superficiais, como os aplicados com base em silano e siloxano, são recomendados para conferir uma proteção extra ao concreto. A ABNT NBR 15575:2013 sugere que esses materiais proporcionem uma barreira eficaz contra a penetração de água e a deterioração do concreto por agentes externos. A combinação de selantes hidrofóbicos e revestimentos superficiais é particularmente útil em construções expostas a ambientes agressivos, como zonas costeiras ou áreas industriais, onde a resistência à água e a proteção contra produtos químicos são essenciais para a longevidade da estrutura (ABNT NBR 11768:2019).

4.3.5 Redução da umidade interna e isolamento de superfícies

A redução da umidade interna nas estruturas de concreto é crucial para garantir a durabilidade e evitar danos como eflorescência e corrosão das armaduras. Estudos de Silva (2020) indicam que o controle da umidade pode ser alcançado por meio de sistemas de ventilação e barreiras impermeáveis, como filmes de polietileno ou membranas de polímero, que formam uma camada protetora contra a penetração de água. A instalação de barreiras, juntamente com a utilização de sistemas de drenagem, ajuda a impedir que a umidade acumulada no solo atinja o concreto. A pesquisa de Souza (2019) complementa, afirmando que, além dessas medidas, o controle da temperatura também é fundamental em áreas propensas à umidade excessiva, como as fundações de edifícios e estruturas subterrâneas.

O isolamento de superfícies com materiais impermeabilizantes tem se mostrado uma solução eficiente para minimizar a umidade interna. De acordo com Costa (2020), o uso de revestimentos de poliuretano ou argamassas impermeabilizantes ajuda a criar uma barreira que impede a infiltração de água,

aumentando a resistência do concreto à umidade. Além disso, esses materiais são úteis para proteger as superfícies contra agentes agressivos que podem agravar a deterioração do concreto. A combinação de isolamento físico e monitoramento contínuo das condições de umidade é essencial para garantir a longevidade das estruturas de concreto e prevenir danos estruturais a longo prazo (Silva, 2020).

O controle da umidade interna em estruturas de concreto é essencial para evitar problemas como a corrosão das armaduras e a deterioração do material. A ABNT NBR 15575:2013 sugere que, para reduzir a umidade interna, é necessário o uso de sistemas de impermeabilização adequados, como mantas e revestimentos impermeáveis, que criam uma barreira contra a infiltração de água. O isolamento também pode ser realizado através da instalação de filmes de polietileno e sistemas de vedação, que evitam o contato direto da água com a superfície do concreto. A NBR 9574:2005 recomenda a realização de inspeções periódicas para garantir a eficácia desses sistemas e a detecção precoce de falhas que possam comprometer o desempenho da impermeabilização.

Além dos sistemas de impermeabilização, a ABNT NBR 10844:2015 orienta o uso de técnicas de ventilação adequadas para reduzir a umidade interna. A instalação de sistemas de ventilação natural ou forçada nas áreas suscetíveis à umidade, como subterrâneos e fundações, pode ajudar a controlar a temperatura e a umidade do ambiente, prevenindo a formação de condensação. A combinação de isolamento adequado e ventilação contribui para um controle eficaz da umidade, aumentando a vida útil das estruturas de concreto (ABNT NBR 9574:2005).

4.3.6 Monitoramento regular e manutenção preventiva

O monitoramento regular e a manutenção preventiva são fundamentais para garantir a durabilidade e o bom estado das estruturas de concreto. A pesquisa de Oliveira (2021) destaca que inspeções periódicas permitem a detecção precoce de danos, como fissuras e infiltrações, que podem comprometer a integridade estrutural ao longo do tempo. Segundo Costa (2020), a manutenção preventiva deve incluir a limpeza das superfícies, a avaliação do sistema de drenagem e a aplicação de tratamentos de impermeabilização sempre que necessário. Essas práticas ajudam a reduzir custos com reparos emergenciais, além de prolongar a vida útil da estrutura.

A implementação de programas de manutenção preventiva é essencial em ambientes expostos a condições climáticas adversas ou substâncias agressivas, que aceleram o processo de degradação do concreto. De acordo com Souza (2020), a combinação de monitoramento regular com ações corretivas oportunas pode evitar problemas mais graves, como a corrosão das armaduras ou a perda de resistência do concreto. A pesquisa também enfatiza a importância de registros detalhados de inspeções e intervenções realizadas, que permitem uma gestão eficiente da manutenção ao longo do tempo, garantindo a segurança e a estabilidade das construções (Costa, 2020).

O monitoramento regular e a manutenção preventiva são essenciais para controlar a eflorescência em estruturas de concreto. A ABNT NBR 9781:2009, que trata da determinação do grau de eflorescência no concreto, recomenda que inspeções periódicas sejam realizadas para identificar precocemente a presença de sais solúveis na superfície do concreto. O monitoramento contínuo permite que a origem da eflorescência seja analisada, seja por umidade excessiva, falhas na impermeabilização ou condições ambientais adversas. De acordo com a ABNT NBR 12655:2015, a manutenção preventiva deve incluir a revisão de sistemas de drenagem e impermeabilização para evitar que a água se infiltre no concreto, uma das principais causas da eflorescência. O controle da umidade é crucial para evitar a recristalização dos sais, que pode resultar em danos a longo prazo à estrutura.

Além disso, a ABNT NBR 15575:2013, que trata do desempenho das edificações habitacionais, sugere que, durante a manutenção preventiva, sejam aplicados tratamentos superficiais que protejam o concreto da umidade, como selantes hidrofóbicos e revestimentos impermeabilizantes. Esses produtos não apenas evitam o surgimento de eflorescência, mas também contribuem para aumentar a durabilidade do material, reduzindo a necessidade de reparos frequentes. A combinação de monitoramento regular, inspeção constante e a utilização de produtos adequados garante a integridade estrutural do concreto, prevenindo problemas mais graves, como a corrosão das armaduras, resultante da infiltração de água e da presença de sais solúveis (ABNT NBR 9781:2009; ABNT NBR 12655:2015).

5 ESTUDOS DE CASO: PONTE DA MARGINAL PINHEIROS - PONTE DO JAGUARÉ E PONTE DA MARGINAL TIETÊ - PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS

Este capítulo abrange os casos da ponte do Jaguaré e da ponte Presidente Jânio Quadros, importantes obras de arte para o sistema viário de São Paulo, destacando as ocorrências estruturais e as formas de correção aplicadas.

5.1 Estudo de caso sobre a ponte do Jaguaré

A construção da ponte do Jaguaré, localizada na cidade de São Paulo, surgiu da necessidade de melhorar a infraestrutura viária e facilitar a circulação entre as zonas oeste e sul da capital paulista, atravessando o Rio Pinheiros. Esse rio é um dos principais cursos d'água da cidade e historicamente delimitou regiões que se expandiram com o crescimento urbano e industrial de São Paulo ao longo do século XX. O desenvolvimento acelerado da cidade, especialmente a partir das décadas de 1960 e 1970, exigiu soluções de engenharia para o aumento do fluxo de veículos, principalmente devido à formação de grandes centros empresariais e residenciais ao longo da Marginal Pinheiros (Costa, 2018).

Durante o planejamento, a construção da ponte foi considerada uma obra fundamental para atender o crescimento demográfico e o aumento da frota de veículos. Segundo Andrade (2015), o projeto envolveu a criação de uma estrutura capaz de suportar tráfego intenso, e a ponte foi projetada para integrar diferentes vias importantes, promovendo maior fluidez na Marginal Pinheiros. As características estruturais da ponte, como seu vão central e as rampas de acesso, foram elaboradas com tecnologia de ponta para a época, incluindo o uso de concreto protendido e reforços metálicos que garantem durabilidade e resistência ao peso dos veículos e à exposição ambiental.

A construção foi realizada em etapas, e a estrutura foi gradualmente integrada à paisagem urbana ao lado do Rio Pinheiros. A obra teve também um impacto considerável no entorno, ajudando a transformar a região em um polo de desenvolvimento. De acordo com a Nunes (2020), a ponte foi um marco na engenharia civil da cidade, representando uma solução eficiente que responde aos desafios de mobilidade, sobretudo devido ao seu posicionamento estratégico entre centros

financeiros e industriais importantes de São Paulo, como a Avenida Engenheiro Luís Carlos Berrini e a Vila Olímpia.

Com o passar do tempo, a ponte sofreu modificações e melhorias para acompanhar o aumento de veículos e a demanda crescente por infraestrutura. Nos últimos anos, diversas manutenções foram realizadas para garantir a segurança e o bom estado da estrutura, devido à exposição à poluição, ao tráfego pesado e às variações climáticas de São Paulo. Estudos indicam que a manutenção periódica é crucial para a longevidade da ponte e para evitar desgastes acelerados, evidenciando a importância da obra para a mobilidade urbana e o desenvolvimento da cidade (Silva, 2022).

A Ponte do Jaguaré, localizada em São Paulo, é uma das estruturas viárias mais importantes da cidade, conectando regiões estratégicas e facilitando o fluxo entre os bairros das zonas oeste e sul. Construída para atender ao crescente volume de tráfego, sua extensão e design foram planejados para acomodar muitos veículos diariamente. Com um vão central que permite a passagem pelo Rio Pinheiros, a ponte possui aproximadamente 440 metros de extensão e largura média de 25 metros, sendo projetada para suportar cargas pesadas e garantir uma circulação eficiente (Costa, 2018; Andrade, 2015).

Além das suas metragens, a estrutura foi construída com materiais de alta resistência, como concreto protendido e reforços metálicos, para proporcionar durabilidade e segurança. De acordo com Nunes (2020), a ponte também apresenta rampas de acesso e saídas que integram a Marginal Pinheiros a importantes avenidas da cidade, como a Avenida Engenheiro Luís Carlos Berrini. Essas características tornam a ponte uma obra fundamental para a mobilidade de São Paulo, pois além de seu valor estrutural, ela desempenha um papel significativo na conexão entre áreas comerciais e residenciais da cidade, acomodando um tráfego intenso e ampliando a capacidade viária local.

Para a construção da ponte do Jaguaré, foram utilizados materiais robustos e de alta durabilidade, como concreto protendido e aço estrutural, que garantem a resistência necessária para suportar o intenso tráfego diário da cidade de São Paulo. O concreto protendido foi escolhido devido à sua capacidade de resistir a grandes cargas e ao seu desempenho em pontes de grandes extensões, enquanto o aço reforça a estrutura, proporcionando flexibilidade e maior capacidade de absorção de tensões (Costa, 2018; Andrade, 2015). Além disso, revestimentos específicos foram

aplicados para proteção contra os efeitos de poluição e variações climáticas, contribuindo para a longevidade da estrutura e reduzindo a necessidade de manutenções frequentes (Nunes, 2020).

As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, uma perspectiva frontal e aérea da ponte do Jaguaré.

Figura 4 - Imagem frontal da ponte do Jaguaré



Fonte: Metrôpoles (2018)

Figura 5 - Imagem aérea da ponte do Jaguaré



Fonte: Metrôpoles (2018)

As Figuras 4 e 5 evidenciam a importância da ponte do Jaguaré no sistema viário metropolitano de São Paulo. Segundo a CET - Companhia de Engenharia de Tráfego (2024), o volume de tráfego diário na Marginal Pinheiros, uma das vias mais importantes de São Paulo, é bastante significativo, com uma média de 450 mil veículos circulando diariamente. Durante os horários de pico, a pista expressa da Marginal registra aproximadamente 7.600 veículos por hora, enquanto a pista local tem cerca de 5.100 veículos por hora

. Esse grande fluxo de tráfego reflete a importância da via para o deslocamento de motoristas na cidade e sua conexão com outras importantes rodovias e áreas da capital paulista.

5.1.1 Importância da ponte no sistema viário de São Paulo

A Ponte do Jaguaré desempenha um papel fundamental no sistema viário de São Paulo, conectando importantes eixos comerciais e residenciais da cidade. Localizada na Marginal Pinheiros, uma das vias mais movimentadas de São Paulo, a ponte facilita o deslocamento entre as zonas oeste e sul, aliviando o trânsito em outros pontos críticos da cidade. Sua posição estratégica integra a infraestrutura viária local com bairros e centros empresariais, como os da Vila Olímpia e do Itaim Bibi, permitindo um fluxo mais rápido e eficiente para milhares de veículos diariamente (Costa, 2018; Nunes, 2020). Dessa forma, a ponte se tornou uma solução para o congestionamento e é essencial para a mobilidade em São Paulo.

Além de sua função no alívio do tráfego, a ponte do Jaguaré contribui para o desenvolvimento econômico local, proporcionando acesso facilitado a regiões industriais e comerciais da cidade. De acordo com Andrade (2015), a estrutura integra o sistema viário de forma que o transporte de cargas e o acesso a importantes áreas de negócios sejam otimizados, favorecendo o comércio e os serviços. Com isso, a ponte não apenas melhora o trânsito, mas também fortalece a economia da região, facilitando o trânsito de trabalhadores e de mercadorias e reduzindo o tempo de deslocamento, um aspecto essencial em uma cidade com o porte e o ritmo de São Paulo.

5.1.2 Problemas identificados e medidas corretivas

Em novembro de 2018, parte da estrutura da Ponte do Jaguaré apresentou um afundamento de aproximadamente dois metros, comprometendo a estabilidade da via e causando grandes transtornos no trânsito da cidade de São Paulo. A investigação inicial revelou problemas estruturais graves, principalmente devido ao desgaste e à falta de manutenção contínua, que levou à deterioração das juntas de dilatação e ao comprometimento do concreto armado. Segundo Silva (2020), a combinação de carga excessiva, vibrações e infiltrações de água nas estruturas enfraqueceu o concreto e as armaduras internas, resultando no deslocamento e rachaduras visíveis na estrutura. Esse evento expôs a urgência de políticas de manutenção mais rigorosas e inspeções frequentes para garantir a segurança das pontes urbanas. As principais

manifestações patológicas encontradas foram: fissuração, corrosão de armaduras e eflorescência.

Diante do problema, foram implementadas medidas corretivas de caráter emergencial e estrutural. A prefeitura de São Paulo, em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT -, realizou a instalação de escoras metálicas para estabilizar a ponte temporariamente, enquanto outras intervenções eram planejadas (Santos, 2019). Além disso, houve a necessidade de um reforço estrutural com concreto e a substituição de partes danificadas, incluindo as juntas de dilatação, para restabelecer a capacidade de carga da ponte. As autoridades municipais também instalaram sensores de monitoramento para acompanhar possíveis movimentações na estrutura, garantindo maior controle sobre a estabilidade da ponte e a segurança dos usuários.

Após essas medidas emergenciais, foi realizada uma reavaliação completa das condições da ponte, que incluiu a reparação das armaduras expostas e o recobrimento de concreto nas áreas danificadas. Segundo Andrade (2021), uma das estratégias preventivas recomendadas envolveu a adoção de um cronograma de manutenção periódica, com vistorias técnicas obrigatórias para evitar novos problemas semelhantes. Esse caso da ponte do Jaguaré ressaltou a importância de práticas de manutenção regular em infraestrutura urbana e serviu como alerta para outras estruturas da cidade, incentivando a revisão de políticas de manutenção e reforço estrutural nas pontes e viadutos de São Paulo.

As Figuras 6 e 7 mostram respectivamente o desnível da ponte causado depois do colapso e a estabilização da ponte por macacos hidráulicos.

Figura 6 - Desnível na ponte do Jaguaré pós colapso



Fonte: Metrôpoles (2018)

Figura 7 - Utilização de macacos hidráulicos para estabilizar a ponte do Jaguaré



Fonte: Metrôpoles (2018)

Os macacos hidráulicos são dispositivos essenciais em uma ampla gama de indústrias, devido à sua capacidade de elevar grandes cargas com segurança e eficiência. Em sua forma mais comum, os macacos hidráulicos funcionam com base no princípio de Pascal, que afirma que a pressão exercida em um fluido em repouso em um sistema fechado é transmitida igualmente em todas as direções. Esse princípio permite que os macacos hidráulicos gerem uma força de elevação significativa com o mínimo de esforço humano. Sua importância é particularmente notável na indústria automotiva, onde são utilizados para levantar veículos em oficinas e facilitar reparos, além de serem indispensáveis em operações de construção para posicionar e alinhar estruturas pesadas (Khurmi & Gupta, 2005).

Além disso, os macacos hidráulicos são fundamentais em processos industriais que exigem movimentação de máquinas pesadas, montagem de grandes componentes e até mesmo em operações de resgate. Em engenharia civil, eles desempenham um papel importante na construção e na manutenção de pontes e viadutos, onde são usados para suportar e estabilizar estruturas temporariamente. Em comparação com métodos de elevação manuais ou mecânicos, os macacos hidráulicos garantem uma maior precisão e segurança, reduzindo o risco de acidentes e aumentando a produtividade. A versatilidade dos macacos hidráulicos, com modelos portáteis e de alta capacidade, também os torna essenciais para atividades que variam de pequenos reparos a grandes projetos de infraestrutura (Shigley & Mischke, 2001).

5.2 Estudo de caso sobre a ponte Presidente Jânio Quadros

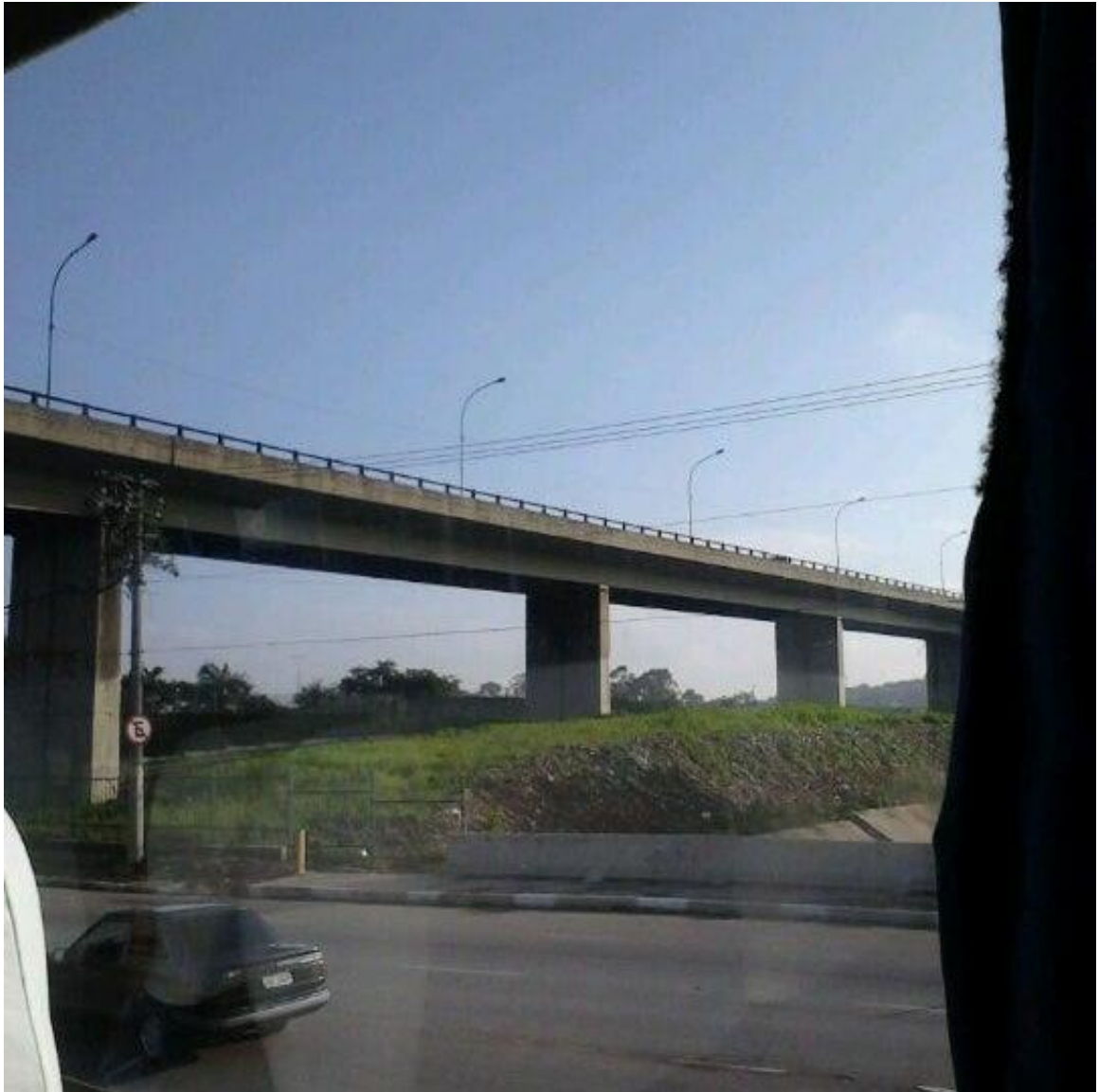
A Ponte Presidente Jânio Quadros, localizada em São Paulo, foi projetada para atravessar o rio Pinheiros, conectando regiões importantes da cidade e facilitando o fluxo de veículos entre as zonas leste e oeste. Sua construção foi concluída no final da década de 1970 e foi fundamental para ampliar a infraestrutura viária da cidade. Com uma extensão total de cerca de 440 metros e largura aproximada de 24 metros, a ponte possui duas faixas de trânsito em cada sentido, atendendo à alta demanda de veículos na região. Esse projeto visou não apenas a funcionalidade, mas também a durabilidade da estrutura, com cuidados especiais na escolha dos materiais e no dimensionamento da estrutura (Silva, 2015; Mendes, 2018).

Para garantir a resistência e a durabilidade necessárias, a construção da ponte Presidente Jânio Quadros utilizou concreto armado de alta resistência, que se mostrou adequado para suportar as cargas pesadas e o volume de tráfego intenso. Além disso, aço estrutural foi empregado nas vigas principais e nas armações, reforçando a ponte e garantindo estabilidade contra impactos e vibrações constantes, típicos de uma estrutura de trânsito intenso. Segundo Costa (2019), essa combinação de materiais, junto com a tecnologia de construção aplicada, proporcionou uma estrutura robusta, resistente às intempéries e às variações climáticas, fundamentais para a preservação da ponte ao longo dos anos.

A ponte também incorporou tecnologias que eram consideradas inovadoras para a época, como a utilização de juntas de dilatação que permitiam a expansão e a contração dos materiais devido às variações térmicas sem comprometer a estabilidade estrutural. Isso foi especialmente importante em um clima como o de São Paulo, onde as mudanças bruscas de temperatura podem comprometer a integridade de estruturas não flexíveis. As especificações técnicas e a escolha dos materiais foram cruciais para a longevidade da ponte, que continua desempenhando um papel essencial no sistema viário da cidade décadas após sua construção (ALMEIDA, 2020).

As Figuras 8 e 9 mostram a disposição da ponte vinculado ao tráfego da região metropolitana de São Paulo.

Figura 8: Vista em perspectiva da ponte Presidente Jânio Quadros



Fonte: Agência Brasil (2019)

Figura 9 - Vista frontal da Ponte Presidente Jânio Quadros



Fonte: Agência Brasil (2019)

A Ponte Presidente Jânio Quadros é uma estrutura essencial para o sistema viário de São Paulo, pois facilita a mobilidade entre zonas importantes da cidade, especialmente as regiões leste e oeste, que são conectadas diretamente pela ponte.

5.2.1 Importância da ponte no sistema viário de São Paulo

A Ponte Presidente Jânio Quadros desempenha um papel crucial no sistema viário de São Paulo, facilitando a conexão entre regiões estratégicas da cidade e descongestionando outras vias importantes. Localizada sobre o rio Pinheiros, a ponte permite um fluxo contínuo de veículos entre as zonas leste e oeste, contribuindo para a redução do tempo de deslocamento entre bairros residenciais e centros comerciais, como a Vila Olímpia e o Morumbi. Esse papel de integração é fundamental para a mobilidade urbana em São Paulo, especialmente em horários de pico, pois diminui o tráfego em outras pontes e marginais da cidade (Silva, 2015; Costa, 2019).

Além de reduzir o congestionamento em vias adjacentes, a ponte Presidente Jânio Quadros beneficia a economia local ao facilitar o transporte de cargas e a locomoção diária de trabalhadores e estudantes. Mendes (2018) destaca que a ponte atua como um elo essencial no sistema de transporte da capital paulista, promovendo

não só a circulação viária, mas também incentivando o desenvolvimento das áreas ao redor. A construção da ponte, assim, reforçou a infraestrutura da cidade ao permitir a rápida movimentação entre diferentes regiões, impactando diretamente a dinâmica de expansão urbana de São Paulo.

5.2.2 Problemas identificados e medidas corretivas

Em 2019, a Ponte Presidente Jânio Quadros apresentou sinais de desgaste estrutural, que foram identificados em uma vistoria técnica realizada após incidentes em outras pontes e viadutos de São Paulo. O diagnóstico apontou problemas relacionados ao envelhecimento dos materiais e ao impacto da falta de manutenção contínua, resultando em danos nas juntas de dilatação e em áreas com corrosão do concreto e das armaduras de aço (Silva, 2020; Mendes, 2019). De acordo com Costa (2021), o tráfego intenso e a exposição contínua às variações climáticas agravaram a deterioração, especialmente em elementos expostos à umidade e poluição, que aceleraram o processo de corrosão das estruturas internas da ponte.

Para contornar esses problemas e garantir a segurança dos usuários, medidas corretivas foram rapidamente implementadas pela Prefeitura de São Paulo. Inicialmente, foi realizado o escoramento da estrutura, utilizando vigas metálicas de suporte para reforçar as áreas afetadas e reduzir a carga nos pontos comprometidos. Em seguida, intervenções de recuperação estrutural foram executadas, incluindo a substituição das juntas de dilatação e o reforço com concreto e aço em partes danificadas (Almeida, 2019). Além disso, técnicos aplicaram revestimentos anticorrosivos nas armaduras expostas para proteger contra a umidade e aumentar a durabilidade dos materiais.

Como parte das ações corretivas, um sistema de monitoramento foi instalado para acompanhar a integridade estrutural da ponte em tempo real, permitindo uma análise contínua de possíveis movimentações ou novos desgastes. Esse monitoramento ajudou a identificar áreas que poderiam necessitar de reforço adicional e garantiu uma resposta mais ágil para evitar maiores complicações (Santos, 2020). Além das correções estruturais, essas medidas preventivas tornaram-se essenciais para o planejamento de manutenções futuras, reforçando a necessidade de inspeções regulares para evitar problemas semelhantes em outras pontes e viadutos da cidade.

As Figuras 10 e 11 mostram as manifestações patológicas da ponte, sendo essas: fissuração, corrosão de armaduras e eflorescência.

Figura 10 - Corrosão, fissuração e eflorescência na ponte Presidente Jânio Quadros



Fonte: Agência Brasil (2019)

Figura 11 - Eflorescência na ponte Presidente Jânio Quadros



Fonte: Agência Brasil (2019)

O tratamento de manifestações patológicas é de suma importância, principalmente onde o tráfego de automóveis e de pessoas atinge um contingente significativo.

6 ORÇAMENTOS DAS MEDIDAS CORRETIVAS DA PONTE DA MARGINAL PINHEIROS - PONTE DO JAGUARÉ E DA PONTE DA MARGINAL TIETÊ - PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS

6.1 Orçamento dos materiais já utilizados nas medidas corretivas na ponte do Jaguaré

A tabela 1 mostra a descrição dos materiais utilizados pelo governo, com a unidade de medida referencial, a quantidade envolvida, o preço unitário e total de cada material e o orçamento global para a realização da medida corretiva na ponte do Jaguaré. Os preços unitários são referentes à tabela SINAPI de custo desonerados do ano de 2024.

Tabela 1 - Orçamento do governo na ponte do Jaguaré

Descrição do Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Concreto de alta resistência (C50)	m³	4.000	700,00	2.800.000,00
Aço CA-50 para reforço estrutural	Tonelada	600	5.000,00	3.000.000,00
Resina epóxi para reparos	Litro	15.000	80,00	1.200.000,00
Fibras de carbono	m²	3.000	700,00	2.100.000,00
Aparelhos de apoio estrutural (substituição)	Unidade	25	50.000,00	1.250.000,00
Macacos hidráulicos	Unidade	10	100.000,00	1.000.000,00
Andaimes e escoramentos metálicos	Aluguel (30 dias)	10	200.000,00	2.000.000,00
Argamassa polimérica	Saco (25 kg)	20.000	50,00	1.000.000,00
Pintura anticorrosiva	Litro	10.000	30,00	300.000,00
Pavimentação asfáltica	m²	20.000	80,00	1.600.000,00
Reforço de drenagem e contenção lateral	Conjunto	1	3.000.000,00	3.000.000,00
ORÇAMENTO DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA PONTE DO JAGUARÉ				R\$30.000.000,00

Fonte: Tabela SINAPI de custos desonerados (2024) – adaptada

Durante as intervenções corretivas realizadas na ponte do Jaguaré em 2018, diversos materiais foram utilizados para restaurar a integridade estrutural da ponte e garantir sua segurança e durabilidade. Entre os principais materiais empregados, destacam-se o concreto de alta resistência (50MPa), que foi utilizado para reparar áreas danificadas e reforçar as fundações. Este tipo de concreto é ideal para suportar altas cargas e resistir ao desgaste causado pelo tráfego intenso e pelas condições ambientais adversas, como a poluição e a variação climática (Mendes, 2019).

Além disso, resinas epóxi foram aplicadas para reforçar as juntas de dilatação e as áreas onde o concreto estava deteriorado devido à ação de agentes corrosivos. O uso de aço galvanizado também foi essencial para o reforço das armaduras, proporcionando uma proteção adicional contra a corrosão. Essas medidas corretivas foram tomadas após uma série de inspeções que indicaram a necessidade de reparos no concreto e nos sistemas de drenagem da ponte, além do reforço estrutural para prolongar a vida útil da infraestrutura e prevenir novos danos (Silva, 2018; Costa, 2020).

O governo do estado de São Paulo, de forma geral, executou como medidas corretivas para a ponte do Jaguaré: inspeção detalhada - realizando uma inspeção minuciosa da estrutura para identificar a extensão dos danos, tipo de fissuras, grau de corrosão e presença de eflorescência; remoção de elementos danificados - removendo o concreto danificado, rebarbas e produtos de corrosão, expondo as armaduras para tratamento; tratamento das armaduras - limpando as armaduras com jato d'água e escova de aço, aplicando inibidor de ferrugem e, se necessário, realizando a proteção catódica; reparo das fissuras - abrindo as fissuras em "V", limpando e aplicando um adesivo estrutural para posterior preenchimento com argamassa polimérica; revestimento protetor - aplicando um revestimento protetor à base de resina epóxi ou outro material impermeável para evitar a penetração de água e agentes agressivos e monitoramento - implementando um sistema de monitoramento da estrutura para acompanhar o desempenho dos reparos e detectar possíveis novas patologias.

6.2 Orçamento dos materiais já utilizados nas medidas corretivas na ponte Presidente Jânio Quadros

A tabela 2 mostra a descrição dos materiais utilizados pelo governo, com a unidade de medida referencial, a quantidade envolvida, o preço unitário e total de cada material e o orçamento global para a realização da medida corretiva na ponte Presidente Jânio Quadros. Os preços unitários são referentes à tabela SINAPI de custo desonerados do ano de 2024.

Tabela 2 - Orçamento do governo na ponte Presidente Jânio Quadros

Descrição do Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Concreto de alta resistência (C50)	m³	300	700,00	210.000,00
Aço CA-50 para reforço estrutural	Tonelada	80	5.000,00	400.000,00
Resina epóxi para reparos	Litro	2.000	80,00	160.000,00
Fibras de carbono	m²	800	700,00	560.000,00
Aparelhos de apoio estrutural (substituição)	Unidade	8	50.000,00	400.000,00
Andaimos e escoramentos metálicos	Aluguel (30 dias)	5	200.000,00	1.000.000,00
Argamassa polimérica	Saco (25 kg)	4.000	50,00	200.000,00
Pintura anticorrosiva	Litro	6.000	30,00	180.000,00
ORÇAMENTO DO GOVERNO PARA A PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS: R\$3.000.000,00				

Fonte: Tabela SINAPI de custos desonerados (2024) - adaptada

Segundo a Prefeitura de São Paulo (2019), a ponte Presidente Jânio Quadros enfrentou sérios problemas estruturais, como rachaduras e desgaste em várias partes da sua estrutura, devido ao envelhecimento natural e à constante exposição ao tráfego intenso. A área danificada foi identificada principalmente nas vigas e nas fundações, que apresentavam sinais de degradação avançada. Para corrigir esses problemas, medidas corretivas foram implementadas, incluindo o reforço estrutural da ponte com

o uso de fibra de carbono, que ajuda a aumentar a resistência sem aumentar significativamente o peso da estrutura. Além disso, foi necessário o uso de injeção de resinas para restaurar fissuras e garantir a integridade dos elementos danificados.

De acordo com a Prefeitura de São Paulo (2019), as medidas corretivas também envolveram a remoção de concreto danificado, a substituição de componentes de apoio e o reparo das juntas de dilatação. Essas ações foram fundamentais para garantir a segurança da ponte, visto que o tráfego de veículos pesados havia comprometido várias de suas partes. O material utilizado para essas intervenções incluiu concreto de alta resistência, além de protensão para reforçar as áreas mais afetadas. Tais medidas não apenas estabilizaram a estrutura, mas também aumentaram a durabilidade da ponte a longo prazo, minimizando o risco de novos danos.

Segundo a Prefeitura de São Paulo (2019), como parte das medidas corretivas tomadas para a ponte Presidente Jânio Quadros, um foco significativo foi colocado na reabilitação de sua integridade estrutural. Os materiais primários usados incluíram concreto para remendar e reparar seções da ponte e resinas de injeção especializadas para tratar rachaduras e outros danos visíveis. Esses materiais ajudaram a restaurar a resistência original da estrutura. Além disso, folhas de polímero reforçado com fibra - FRP - foram aplicadas em áreas que exigiam maior durabilidade, particularmente nos vãos mais afetados. Essa combinação de materiais foi selecionada por sua capacidade de melhorar a capacidade de suporte de carga, mantendo a compatibilidade com a construção original da ponte. As folhas de FRP ofereceram uma alternativa leve, mas de alta resistência, contribuindo para o reforço geral da estrutura.

De acordo com a Prefeitura de São Paulo (2019), em relação à área afetada, os trechos mais críticos da ponte Presidente Jânio Quadros foram aqueles que sofreram com rachaduras nos pilares de sustentação, o que comprometeu a segurança da ponte. Essas áreas, especialmente próximas aos principais apoios e juntas de dilatação, foram alvos de inspeção detalhada e reparo. Após a conclusão dos reparos estruturais, a ponte também recebeu uma nova camada asfáltica para garantir a segurança e o conforto dos veículos que trafegam por ela.

O governo do estado de São Paulo, de forma geral, executou como medidas corretivas para a ponte Presidente Jânio Quadros: em 2019, o governo do Estado de São Paulo iniciou as medidas corretivas na Ponte Presidente Jânio Quadros,

localizada na zona sul da cidade, após a constatação de problemas estruturais significativos. O primeiro passo foi a realização de uma inspeção detalhada para avaliar as condições da estrutura. Para isso, foram seguidas as normas técnicas da NBR 9452/2018, que estabelece critérios para a inspeção de pontes e viadutos. A avaliação envolveu uma análise visual, além do uso de instrumentos para medir deformações e identificar falhas como fissuras, corrosão e desgaste no concreto e no aço. A inspeção foi fundamental para entender a extensão dos danos e determinar as medidas corretivas necessárias.

Com base nos resultados da inspeção, foi elaborado um projeto de reforço estrutural, conforme as diretrizes das NBR 8800/2008 e NBR 6118/2014, que tratam do projeto de estruturas de aço e concreto. Este projeto envolveu a substituição de elementos danificados, o reforço de pilares e a melhoria da fundação da ponte. Também foi necessário realizar a recuperação do concreto utilizando técnicas como a projeção de concreto e a utilização de resinas para tratar a corrosão. Além disso, a drenagem da ponte foi revista para evitar infiltrações de água que pudessem acelerar o processo de degradação da estrutura, seguindo as orientações da NBR 10844/1989, que regula a drenagem de águas pluviais.

A execução das obras seguiu rigorosamente os projetos aprovados e as normas de segurança, como a NBR 5674/2012 (manutenção de edificações) e a NBR 15575/2013, que se aplica a edificações e orienta sobre o dimensionamento e as práticas de reparo. As intervenções foram realizadas em várias etapas, com destaque para o reforço dos pilares e a recuperação das juntas de dilatação, essenciais para garantir a flexibilidade da estrutura. Para a execução, foram empregados materiais de alta resistência e tecnologias avançadas para garantir a durabilidade e a segurança da ponte a longo prazo.

Após a finalização das obras, a ponte passou por um processo de monitoramento, conforme as normas da NBR 14199/2013 e NBR 13868/2019, que orientam sobre o monitoramento de estruturas. Sensores foram instalados para medir deformações, deslocamentos e tensões, assegurando que a estrutura estivesse estável e segura. Por fim, a ponte foi liberada para o tráfego após testes de carga e a verificação de todas as condições de segurança, conforme o Código de Trânsito Brasileiro e as normas do DER-SP. O governo também implementou um plano de manutenção preventiva, com inspeções regulares, para garantir a longevidade da estrutura e evitar novos problemas no futuro.

6.3 Orçamento desonerado de encargos trabalhistas para medida corretiva elaborada para ponte do Jaguaré

A tabela 3 mostra a proposta de orçamento alternativa considerando outra solução técnica corretiva quando comparada à proposta do governo de São Paulo, com a unidade de medida referencial, a quantidade envolvida, o preço unitário e total de cada material, assim como orçamento global para a realização da medida corretiva na ponte do Jaguaré. Os preços unitários são referentes à tabela SINAPI de custo desonerados do ano de 2024.

Na proposta de intervenção orçamentária para a correção de 120 metros lineares da ponte do Jaguaré em 2018, os materiais especificados, com suas quantidades e custos parciais, seriam: concreto C60 (4.000 m³, R\$ 3.600.000,00); aço CA-50 (600 toneladas, R\$ 3.600.000,00); resina epóxi (15.000 litros, R\$ 1.800.000,00); fibras de carbono (3.000 m², R\$ 3.000.000,00); aparelhos de apoio estrutural (25 unidades, R\$ 1.500.000,00); macacos hidráulicos (10 unidades, R\$ 1.200.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (10 alugueis, R\$ 2.500.000,00); argamassa polimérica (20.000 sacos de 25 kg, R\$ 1.500.000,00); pintura anticorrosiva (10.000 litros, R\$ 400.000,00); pavimentação asfáltica (20.000 m², R\$ 1.100.000,00); e reforço de drenagem e contenção lateral (1 conjunto, R\$ 4.000.000,00).

Tabela 3 - Orçamento da proposta de intervenção para ponte do Jaguaré

Descrição do Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Concreto de Alta Resistência (C60)	m³	4.000	900,00	3.600.000,00
Aço CA-50 para Reforço Estrutural (Com alta resistência à corrosão)	Tonelada	600	6.500,00	3.900.000,00
Resina Epóxi de Alta Durabilidade	Litro	15.000	120,00	1.800.000,00
Fibras de Carbono (superior para reforço estrutural)	m²	3.000	1.000,00	3.000.000,00
Aparelhos de Apoio Estrutural (Tecnologia Avançada)	Unidade	25	60.000,00	1.500.000,00
Macacos Hidráulicos de Alta Capacidade	Unidade	10	120.000,00	1.200.000,00
Andaimes e Escoramentos Metálicos (Alta qualidade)	Aluguel (30 dias)	10	250.000,00	2.500.000,00
Argamassa Polimérica de Alta Performance	Saco (25 kg)	20.000	75,00	1.500.000,00
Pintura Anticorrosiva Premium	Litro	10.000	40,00	400.000,00
Pavimentação Asfáltica de Alta Resistência (superior)	m²	20.000	55,00	1.100.000,00
Reforço de Drenagem e Contenção Lateral de Alta Durabilidade	Conjunto	1	4.000.000,00	4.000.000,00
ORÇAMENTO DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA PONTE DO JAGUARÉ				R\$26.250.000,00

Fonte: Tabela SINAPI de custos desonerados (2024) - adaptada

A proposta de intervenção orçamentária obteve uma redução no custo global quando comparado com o orçamento feito pelo governo do estado de São Paulo na relação de medidas corretivas da ponte do Jaguaré.

As obras corretivas realizadas na ponte do Jaguaré, após o incidente em 2018, incluíram reforços estruturais e escoramentos que visam garantir sua segurança e prolongar a vida útil da estrutura. Em geral, tais intervenções podem aumentar a vida útil de pontes e viadutos em pelo menos 20 a 30 anos, dependendo da qualidade dos materiais utilizados, a metodologia aplicada e a manutenção contínua subsequente.

Para corrigir os danos causados pela eflorescência, fissuração e corrosão de armaduras na ponte do Jaguaré de 2018, evidenciando uma proposta de intervenção, o uso de materiais de alta resistência e tecnologia avançada é essencial. O primeiro passo seria realizar a limpeza e preparação das superfícies afetadas, removendo os materiais deteriorados. O concreto de alta resistência (C60) seria utilizado para os reparos estruturais nas áreas danificadas, com ênfase na substituição do concreto degradado. Para a reparação das fissuras e buracos causados pela corrosão das armaduras, seria aplicada uma argamassa polimérica de alta performance, que oferece alta aderência ao substrato e resistência a cargas dinâmicas. O uso de resina epóxi de alta durabilidade é crucial para garantir a impermeabilização das fissuras e prevenir a infiltração de água, uma das principais causas da corrosão das armaduras.

A reconstrução das armaduras será feita com aço CA-50 com alta resistência à corrosão, garantindo a longevidade e resistência estrutural. O reforço adicional seria realizado com fibras de carbono, que são aplicadas para aumentar a capacidade de carga das áreas afetadas, garantindo maior segurança e eficiência. Para suportar o processo de reparo, seria necessário o uso de aparelhos de apoio estrutural, especialmente durante a elevação temporária de componentes danificados. O uso de macacos hidráulicos de alta capacidade permitiria o levantamento controlado das estruturas da ponte, sem comprometer sua estabilidade durante os reparos. Esses materiais serão aplicados em conformidade com as normas da NBR 6118:2014 (Projeto de Estruturas de Concreto) e NBR 14931:2004 (Execução de Obras de Concreto).

Após a execução dos reparos estruturais, será realizada a pintura anticorrosiva nas áreas expostas, utilizando um produto de alta performance para garantir a proteção das armaduras e prevenir a reiteração de danos por corrosão. A pavimentação asfáltica de alta resistência seria aplicada nas áreas de tráfego, assegurando uma superfície durável e adequada para o fluxo de veículos pesados. Por fim, o reforço de drenagem e contenção lateral seria feito para controlar o fluxo de água e evitar futuras infiltrações que possam comprometer a estrutura. O processo deve seguir rigorosamente as orientações da NBR 14039:2021 (Drenagem Urbana) e NBR 15116:2004 (Pavimentação Asfáltica). Essas intervenções garantirão a restauração eficiente e segura da ponte, prolongando sua vida útil e preservando a integridade estrutural.

6.4 Orçamento desonerado de encargos trabalhistas para medida corretiva elaborada para ponte Presidente Jânio Quadros

A tabela 4 mostra a descrição dos materiais utilizados na proposta de intervenção, com a unidade de medida referencial, a quantidade envolvida, o preço unitário e total de cada material e o orçamento global para a realização da medida corretiva na ponte Presidente Jânio Quadros. Os preços unitários são referentes à tabela SINAPI de custo desonerados do ano de 2024.

Na proposta de intervenção orçamentária para a correção de 120 metros lineares da ponte Presidente Jânio Quadros em 2019, os materiais especificados, com suas quantidades e custos parciais, seriam: concreto C60 (100 m³, R\$ 90.000,00); aço CA-50 (30 toneladas, R\$ 180.000,00); resina epóxi (1.000 litros, R\$ 100.000,00); fibras de carbono (200 m², R\$ 240.000,00); aparelhos de apoio estrutural (4 unidades, R\$ 240.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (3 alugueis, R\$ 750.000,00); argamassa polimérica (3.000 sacos de 25 kg, R\$ 225.000,00); pintura anticorrosiva (3.000 litros, R\$ 90.000,00).

Em 2019, para resolver os problemas de eflorescência, corrosão das armaduras e fissuras na ponte Presidente Jânio Quadros, poderia ser implementada uma estratégia técnica que incluísse a aplicação de sistemas avançados de impermeabilização, como membranas líquidas elastoméricas, projetadas para evitar a infiltração de água e reduzir a migração de sais solúveis responsáveis pela eflorescência. Para combater a corrosão das armaduras, seria indicada a aplicação de revestimentos com inibidores de corrosão de liberação controlada, além da recuperação das armaduras utilizando proteção passiva, como pinturas epóxi enriquecidas com inibidores de cloretos. As fissuras poderiam ser corrigidas com injeções de resinas epóxi de alto desempenho, assegurando o selamento adequado e a restauração das áreas danificadas. Posteriormente, seria realizado um reforço estrutural com o uso de lâminas de aço ou compósitos poliméricos reforçados com fibras de carbono (CFRP), materiais que ajudam a aliviar tensões e proporcionam maior durabilidade e segurança à estrutura.

Tabela 4 - Orçamento da proposta de intervenção para ponte Presidente Jânio Quadros

Descrição do Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Concreto de Alta Resistência (C60)	m³	100	900,00	90.000,00
Aço CA-50 para Reforço Estrutural (Tratado)	Tonelada	30	6.000,00	180.000,00
Resina Epóxi de Alta Durabilidade	Litro	1.000	100,00	100.000,00
Fibras de Carbono para Reforço Estrutural	m²	200	1.200,00	240.000,00
Aparelhos de Apoio Estrutural (Tecnologia)	Unidade	4	60.000,00	240.000,00
Andaimes e Escoramentos Metálicos	Aluguel (30 dias)	3	250.000,00	750.000,00
Argamassa Polimérica de Alta Performance	Saco (25 kg)	3.000	75,00	225.000,00
Pintura Anticorrosiva Premium	Litro	3.000	30,00	90.000,00

ORÇAMENTO DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA PONTE PRESIDENTE JÂNIO QUADROS				R\$2.475.000,00
--	--	--	--	-----------------

Fonte: Tabela SINAPI de custos desonerados (2024) - adaptada

A proposta de intervenção orçamentária obteve uma redução no custo global quando comparado com o orçamento feito pelo governo na relação de medidas corretivas da ponte Presidente Jânio Quadros. Em geral, intervenções corretivas bem executadas podem estender a vida útil de uma ponte por um período de 20 a 30 anos adicionais. Esse aumento varia conforme fatores como o tipo de deterioração corrigida, as cargas que a ponte suporta diariamente e as condições ambientais a que está exposta.

A utilização dos materiais propostos na tabela orçamentária para as medidas corretivas da ponte Presidente Jânio Quadros, em 2019, visa garantir a recuperação da estrutura com a máxima eficiência e durabilidade. O primeiro passo do processo de reparo envolve a limpeza e preparação das superfícies afetadas. Inicialmente, as áreas danificadas, como fissuras, eflorescência e corrosão de armaduras, são identificadas e preparadas para receber os reparos. Para isso, o concreto deteriorado é removido e as superfícies são limpas com escovas metálicas, jateamento de areia ou hidrojateamento. Após essa preparação, o concreto de alta resistência C60 é

aplicado nas áreas de reparo, garantindo que as superfícies recuperadas possuam resistência superior ao concreto original, conforme especificado na NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto.

Em seguida, é realizado o reforço das armaduras com aço CA-50 tratado contra corrosão. As armaduras afetadas pela corrosão são limpas e, se necessário, substituídas por barras de aço de CA-50 com proteção anticorrosiva. Esse procedimento é fundamental para restaurar a resistência da estrutura da ponte, prevenindo novos danos e garantindo a segurança a longo prazo. Após o reforço estrutural, áreas críticas, como as fissuras e os pontos de contato das armaduras, são tratadas com resina epóxi de alta durabilidade, que é aplicada para vedar as fissuras e prevenir a infiltração de água. Essa resina, conforme indicado na NBR 14931:2004 - Execução de Obras de Concreto, tem a função de impermeabilizar e proteger as armaduras contra futuros processos de corrosão.

Finalmente, o reforço estrutural com fibras de carbono é realizado para áreas com maior comprometimento estrutural. As fibras de carbono são aplicadas em camadas sobre a superfície do concreto, proporcionando um aumento significativo na resistência à tração e flexão, sem adicionar peso excessivo à estrutura. Este método de reforço segue as orientações da NBR 15116:2004 - Pavimentação Asfáltica, adaptadas para reforço estrutural com materiais compósitos. Para garantir que o trabalho seja realizado de maneira segura, andaimes e escoramentos metálicos são utilizados durante todo o processo de recuperação, conforme as normas de segurança estabelecidas pela NBR 14039:2021 - Drenagem Urbana. Após os reparos, a pintura anticorrosiva premium é aplicada nas armaduras expostas, proporcionando proteção adicional contra a corrosão. Este tratamento final segue as recomendações da NBR 6118:2014, completando o ciclo de reparo estrutural de forma eficiente e com alta durabilidade.

6.5 Discussão dos Resultados

Em virtude dos dados recolhidos, conclui-se que a medida corretiva relativa aos orçamentos do governo para a ponte do Jaguaré em 2018, gerou um custo global, envolvendo apenas materiais, de R\$30.000.000,00 em 120m lineares afetados e a medida corretiva elaborada para a relação de orçamento da ponte do Jaguaré gerou um custo global de R\$26.250.000,00 (economia de 12,5%), que evidenciou um melhor

custo-benefício. No orçamento global das medidas corretivas do governo de São Paulo na ponte Presidente Jânio Quadros, no ano de 2019, foi verificado um custo de R\$ 3.000.000,00 e no orçamento proposto para os reparos dos 120m lineares, foi obtido um gasto de R\$2.475.000,00 (economia de 17,5 %), evidenciando também um custo-benefício na operação.

As medidas corretivas na ponte do Jaguaré e na ponte Presidente Jânio Quadros permitiram, segundo a Prefeitura de São Paulo (2019), estender a vida útil das pontes em cerca de 20 a 30 anos.

Para solucionar o problema de eflorescência na ponte do Jaguaré em 2018, a intervenção incluiria a aplicação de barreiras químicas na superfície do concreto, precedida por uma limpeza com jato de água em baixa pressão para remover os sais cristalizados. Posteriormente, foram empregados inibidores de migração de cloretos, que penetram no concreto e reduzem a concentração de íons responsáveis por reações indesejadas. Também foi aplicado um revestimento de materiais poliméricos ou epóxi na superfície externa, evitando a entrada de água, principal agente transportador de sais solúveis que causam eflorescência. Para enfrentar problemas de corrosão nas armaduras e fissuras estruturais, previu-se o uso de macacos hidráulicos para estabilizar a estrutura. Entre as medidas corretivas, adotaram-se técnicas de proteção catódica, como ânodos de sacrifício e sistemas de corrente impressa, que desaceleram o processo de corrosão. Áreas de concreto contaminado seriam removidas e substituídas por concreto de alta resistência, complementando a mitigação da corrosão. As fissuras seriam reparadas por injeções de resinas epóxi ou poliuretano de baixa viscosidade, garantindo o selamento e prevenindo a entrada de umidade e agentes agressivos. Por fim, o reforço estrutural seria realizado com fibras de carbono ou protensão externa, aumentando a capacidade de carga e prolongando a durabilidade da ponte.

Em 2019, para tratar problemas de eflorescência, corrosão das armaduras e fissuras na ponte Presidente Jânio Quadros, poderia ser adotada uma abordagem técnica envolvendo a aplicação de sistemas avançados de impermeabilização, como membranas líquidas elastoméricas, capazes de impedir a penetração de água e minimizar a migração de sais solúveis responsáveis pela eflorescência. Para mitigar a corrosão das armaduras, seria recomendada a utilização de revestimentos com inibidores de corrosão de liberação controlada, complementados pela recuperação das armaduras com proteção passiva, como pinturas epóxi modificadas com

inibidores de cloretos. As fissuras poderiam ser reparadas com injeções de resinas epóxi de alto desempenho, garantindo o selamento e a restauração das fendas. Em seguida, seria realizado um reforço estrutural utilizando lâminas de aço ou compósitos poliméricos reforçados com fibras de carbono (CFRP), tecnologias que ajudam a reduzir tensões e aumentam a durabilidade e segurança da estrutura.

Na proposta orçamentária para a correção de 120 metros lineares da ponte do Jaguaré em 2018, os materiais especificados, com suas quantidades e custos parciais, seriam: concreto C60 (4.000 m³, R\$ 3.600.000,00); aço CA-50 (600 toneladas, R\$ 3.600.000,00); resina epóxi (15.000 litros, R\$ 1.800.000,00); fibras de carbono (3.000 m², R\$ 3.000.000,00); aparelhos de apoio estrutural (25 unidades, R\$ 1.500.000,00); macacos hidráulicos (10 unidades, R\$ 1.200.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (10 alugueis, R\$ 2.500.000,00); argamassa polimérica (20.000 sacos de 25 kg, R\$ 1.500.000,00); pintura anticorrosiva (10.000 litros, R\$ 400.000,00); pavimentação asfáltica (20.000 m², R\$ 1.100.000,00); e reforço de drenagem e contenção lateral (1 conjunto, R\$ 4.000.000,00).

Na proposta de intervenção orçamentária para a recuperação de 120 metros lineares da ponte Presidente Jânio Quadros em 2019, os materiais especificados, com suas respectivas quantidades e custos parciais, incluiriam: concreto C60 (100 m³, R\$ 90.000,00); aço CA-50 (30 toneladas, R\$ 180.000,00); resina epóxi (1.000 litros, R\$ 100.000,00); fibras de carbono (200 m², R\$ 240.000,00); aparelhos de apoio estrutural (4 unidades, R\$ 240.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (3 alugueis, R\$ 750.000,00); e argamassa polimérica (3.000 sacos de 25 kg, R\$ 225.000,00) e pintura anticorrosiva (3.000 litros, R\$ 90.000,00).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das planilhas orçamentárias do governo do estado de São Paulo e as que foram propostas, notou-se que analisando os mesmos materiais, mas com custos menores, foi possível economizar R\$3.750.000,00, ou seja, 12,5% de economia na operação de medidas corretivas na ponte do Jaguaré e foi possível economizar R\$525.000,00, ou seja, 17,5% de economia na operação de medidas corretivas da Ponte Presidente Jânio Quadros.

O objetivo principal está relacionado à elaboração de orçamentos para intervenções corretivas nas pontes do Jaguaré na Marginal Pinheiros e na Presidente Jânio Quadros na Marginal Tietê. O foco é identificar a melhor relação custo-benefício, excluindo encargos trabalhistas e considerando apenas os custos dos materiais. Essa abordagem visa assegurar a integridade estrutural, a segurança dessas estruturas e a ampliação de sua vida útil. Assim, pode-se afirmar que o objetivo geral do trabalho foi alcançado.

Os objetivos específicos incluem identificar os principais problemas estruturais das pontes Presidente Jânio Quadros e do Jaguaré que justificaram a necessidade de intervenções corretivas, analisando as manifestações patológicas existentes; elaborar orçamentos para essas intervenções, comparando as soluções corretivas propostas para determinar a alternativa com melhor custo-benefício; e avaliar o impacto dessas medidas no aumento da vida útil das pontes, considerando como as ações podem contribuir para a durabilidade e a segurança das estruturas a longo prazo. As principais manifestações encontradas foram: fissuração, corrosão de armaduras e eflorescência.

Para combater a eflorescência na ponte do Jaguaré, seria utilizada como medida corretiva relativa à proposta de intervenção, a aplicação de barreiras químicas na superfície do concreto, precedida por uma limpeza cuidadosa com jato de água de baixa pressão para remover os sais cristalizados. Em seguida, seriam utilizados inibidores de migração de cloretos, que penetram no concreto e reduzem a presença de íons que promovem reações químicas indesejadas. Além disso, a aplicação de revestimentos poliméricos ou epóxi na estrutura externa auxiliou na prevenção da penetração de água, um dos principais agentes que transportam os sais solúveis responsáveis pela eflorescência. Para lidar com a corrosão das armaduras e as fissuras estruturais na ponte do Jaguaré, seriam utilizados macacos hidráulicos para

a estabilização da ponte e seriam utilizadas como medidas corretivas relativas às propostas de intervenção, técnicas de proteção catódica com ânodos de sacrifício e sistemas de corrente impressa para minimizar a progressão do processo corrosivo. Isso combinado com a remoção das áreas de concreto contaminado e a substituição por um concreto de alta resistência, inibem a corrosão. A reparação das fissuras, por sua vez, seria realizada com injeções de resina epóxi ou poliuretano de baixa viscosidade para assegurar o selamento completo e evitar a entrada de umidade e agentes agressivos. Além disso, seria imprescindível realizar um reforço estrutural utilizando fibras de carbono ou a aplicação de protensão externa para aumentar a capacidade de carga e prolongar a vida útil da ponte.

No caso da ponte Presidente Jânio Quadros, em 2019, uma abordagem técnica para correção de eflorescência, corrosão de armadura e fissuração poderia envolver a aplicação de um sistema de impermeabilização avançada, como membranas líquidas elastoméricas, para evitar a penetração de água e reduzir a migração de sais solúveis que causam a eflorescência. Para combater a corrosão das armaduras, seria indicada a utilização de técnicas de revestimento com inibidores de corrosão de liberação controlada, aliados à recuperação das armaduras com aplicação de proteção passiva, como pinturas epóxi modificadas com inibidores de cloretos. As fissuras poderiam ser tratadas com injeções de resinas epóxi de alto desempenho para restauração e vedação das fendas, seguidas de reforço estrutural por lâmina de aço ou compósitos poliméricos reforçados com fibras de carbono (CFRP), que são mais eficientes na redução de tensões, promovendo maior durabilidade e segurança à estrutura. A vida útil, das pontes da Marginal Pinheiros e Presidente Jânio Quadros corrigidas, aumentou para mais 30 anos de utilização. Assim, conclui-se que os objetivos específicos foram atingidos.

Os materiais utilizados, com custos parciais e suas respectivas quantidades, pelo governo do estado de São Paulo para a correção dos 120m lineares acometidos na ponte do Jaguaré em 2018 foram: concreto C50(4000 m³ e custo parcial de R\$2.800.000,00); aço CA-50(600 toneladas e custo parcial de R\$3.000.000,00);resina epóxi(15.000 litros e custo parcial de R\$1.200.000,00);fibras de carbono(3.000m² e custo parcial de R\$2.100.000,00);aparelhos de apoio estrutural(25 unidades e custo parcial de R\$1.250.000,00);macacos hidráulicos(10 unidades e custo parcial de R\$1.000.000,00);andaimes e escoramentos metálicos(10 alugueis e custo parcial de R\$2.000.000,00);argamassa polimérica(20.000 sacos de 25kg e custo parcial de

R\$1.000.000,00); pintura anticorrosiva(10.000 litros e custo parcial de R\$300.000,00); pavimentação asfáltica(20.000 m² e custo parcial de R\$1.600.000,00) e reforço de drenagem e contenção lateral(1 conjunto e custo parcial de R\$3.000.000,00).

Os materiais utilizados, com custos parciais e suas respectivas quantidades, na proposta de intervenção orçamentária para a correção dos 120m lineares acometidos na ponte da do Jaguaré em 2018 seriam: concreto C60 (4.000 m³, R\$ 3.600.000,00); aço CA-50 (600 toneladas, R\$ 3.600.000,00); resina epóxi (15.000 litros, R\$ 1.800.000,00); fibras de carbono (3.000 m², R\$ 3.000.000,00); aparelhos de apoio estrutural (25 unidades, R\$ 1.500.000,00); macacos hidráulicos (10 unidades, R\$ 1.200.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (10 alugueis, R\$ 2.500.000,00); argamassa polimérica (20.000 sacos de 25 kg, R\$ 1.500.000,00); pintura anticorrosiva (10.000 litros, R\$ 400.000,00); pavimentação asfáltica (20.000 m², R\$ 1.100.000,00); e reforço de drenagem e contenção lateral (1 conjunto, R\$ 4.000.000,00).

Os materiais utilizados, com custos parciais e suas respectivas quantidades, pelo governo do estado de São Paulo para a correção dos 120m lineares acometidos na ponte Presidente Jânio Quadros em 2019 foram: concreto C50(300 m³ e custo parcial de R\$210.000,00); aço CA-50(80 toneladas e custo parcial de R\$400.000,00); resina epóxi(2.000 litros e custo parcial de R\$160.000,00); fibras de carbono(800m² e custo parcial de R\$560.000,00); aparelhos de apoio estrutural(8 unidades e custo parcial de R\$400.000,00); andaimes e escoramentos metálicos(5 alugueis e custo parcial de R\$1.000.000,00); argamassa polimérica(4.000 sacos de 25kg e custo parcial de R\$200.000,00) e pintura anticorrosiva(6.000 litros e custo parcial de R\$180.000,00).

Os materiais utilizados, com custos parciais e suas respectivas quantidades, na proposta de intervenção orçamentária para a correção dos 120m lineares acometidos na ponte Presidente Jânio Quadros em 2019 seriam: concreto C60 (100 m³, R\$ 90.000,00); aço CA-50 (30 toneladas, R\$ 180.000,00); resina epóxi (1.000 litros, R\$ 100.000,00); fibras de carbono (200 m², R\$ 240.000,00); aparelhos de apoio estrutural (4 unidades, R\$ 240.000,00); andaimes e escoramentos metálicos (3 alugueis, R\$ 750.000,00); e argamassa polimérica (3.000 sacos de 25 kg, R\$ 225.000,00) e pintura anticorrosiva(3.000 litros, R\$90.000,00).

Para futuras pesquisas, sugere-se a utilização da tabela SINAPI 2024 sem custos de desoneração de encargos trabalhistas e/ou laborais para averiguar o custo das medidas corretivas englobando o custo de materiais e o custo por hora dos profissionais neoliberais atuantes.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. *Fotografia da Ponte do Jaguaré*. São Paulo, 2019. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/prefeitura-de-sao-paulo-inicia-testes-para-reerguer-viaduto>. Acesso em: 5 nov. 2024.

AGÊNCIA BRASIL. *Fotografia da Ponte Presidente Jânio Quadros*. São Paulo, 2019. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-05/prefeitura-libera-trafego-de-veiculos-na-ponte-da-casa-verde-em-sp>. Acesso em: 5 nov. 2024.

AGÊNCIA BRASIL. *Fotografia de macacos hidráulicos*. São Paulo, 2024. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/macacos-hidraulicos-levantam-viaduto-que-cedeu-em-sao-paulo>. Acesso em: 5 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655: Execução de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14881: Proteção de estruturas de concreto armado e protendido contra a corrosão das armaduras**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: Materiais hidrofóbicos para proteção de concreto**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12210: Sistemas de drenagem de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654: Dosagem e propriedades do concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, [2015.].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto - Procedimento para controle da umidade no concreto**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:2005 - Argamassa para Reparo e Revestimento de Superfícies de Concreto**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13531: Elaboração de projetos de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, [1995].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14021: Monitoramento estrutural**. Rio de Janeiro: ABNT, [2005].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039:2021 - Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14881: Proteção de estruturas de concreto armado e protendido contra a corrosão das armaduras**. Rio de Janeiro, 2011. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2004 - Execução de Obras de Concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116:2004 - Pavimentação Asfáltica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15210: Patologias em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, [2019].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15572:2008 - Inspeção de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15735:2010 - Proteção Catódica - Sistema de Corrente Impressa**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15804: Revestimentos protetores para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, [2010].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Ações e efeitos sobre estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, [2023].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, [2011].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto e estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, [1997].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7199: Projeto, execução e aplicação dos vidros na construção civil**. Rio de Janeiro: ABNT, [2016].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço**. Rio de Janeiro, 2008. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077: Execução de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, [2002].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452:2016 - Revestimentos de Argamassas para Revestimento de Paredes Internas e Externas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574:2008 - Execução de Impermeabilização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575:2010 - Impermeabilização - Seleção e Projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Concreto - Determinação do grau de eflorescência**. Rio de Janeiro, 2009.

ALMEIDA, Rodrigo Ferreira. **Reparação de fissuras em concreto: métodos e técnicas**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ALMEIDA, Roberto. **Desafios de infraestrutura e clima nas construções urbanas**. São Paulo: IPT, 2020.

ALMEIDA, Roberto. **Reforço estrutural e manutenção de pontes em áreas urbanas**. São Paulo: IPT, 2019.

ANDRADE, João. **Engenharia viária e desenvolvimento urbano em São Paulo**. São Paulo: USP, 2015.

BIANCHI, Luca, & GUADAGNINI, Alberto. **Durability of reinforced concrete structures: State of the art and perspectives. Materials and Structures**. 48(5), 2015, p. 1013-1032.

BRANDÃO, Ana Maria da Silva. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 1998.

BROWN, John. **Concrete cracking: structural and non-structural causes and remedies**. Journal of Civil Engineering, v. 52, n. 1, 2020, p. 45-60.

BROWN, Linda Marie. **Waterproofing coatings and carbonation barriers in concrete structures**. (Ph.D.) – University of Texas, Austin, 2016.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Tabela SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: custos desonerados**. 2024.

Disponível em:

<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CARTA-CAMPINAS. **Figura de fissuração em obra de arte da pinacoteca.** Disponível em: <https://cartacampinas.com.br/2022/02/pinacoteca-apresenta-adriana-varejao-suturas-fissuras-ruinas-a-mais-abrangente-mostra-sobre-a-obra-multipla-e-experimental-da-artista/> . Acesso em:25 nov.2024.

CARINO, Nicholas Joseph. **Evaluation of concrete cracks and classifications.** Dissertation (Master's) – University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, 1999.

CARVALHO, João. **Gestão Financeira de Obras de Infraestrutura: Abordagens e Desafios.** São Paulo: Editora Infraestrutura, 2021.

CET. **Companhia de Engenharia de Tráfego. Tráfego na Marginal Pinheiros.** Disponível em: <https://www.cetesp.com.br/transito-agora/transito-nas-principais-vias.aspx> . Acesso em: 26 nov. 2024.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO (CTB) - **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.** Estabelece as normas para o trânsito no Brasil, incluindo os requisitos de segurança para pontes e viadutos.

COLLINS, Richard. **Cracking in concrete: causes related to design and load.** Concrete Research Journal. v. 38, n. 1, 2020, p. 33-48.

COSTA, Marcos Lima; OLIVEIRA, João Pedro, & SOUZA, Paulo Daniel. (2020). **Aditivos hidrofugantes em concreto: Avanços e perspectivas.** Engenharia e Tecnologia, 56(1), 45-55.

COSTA, Maria. **A influência dos materiais na durabilidade das pontes de concreto armado.** São Paulo: PUC-SP, 2019.

COSTA, Maria. **Expansão urbana e infraestrutura viária: o caso da Marginal Pinheiros.** São Paulo: Mackenzie, 2018.

COSTA, Maria. **Impactos da falta de manutenção na durabilidade das pontes de concreto armado.** São Paulo: PUC-SP, 2021.

COSTA, Maria. **Tecnologias de reparo e reforço em estruturas urbanas:** um estudo sobre a Ponte da Marginal Pinheiros. São Paulo: PUC-SP, 2020.

COSTA, Rodrigo Batista. **Efeitos dos produtos comerciais para remoção de eflorescência em concreto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

COSTA, Rodrigo Batista. **Estudo de selantes hidrofóbicos e revestimentos superficiais em concreto.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

COSTA, Rodrigo Batista. **Manutenção preventiva e monitoramento em construções de concreto.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

COSTA, Rodrigo Batista. **Soluções para impermeabilização e controle de umidade em concreto**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

CROMWELL, James Edward. **Shotcrete application in structural concrete repairs**. 2001. Thesis (Master's) – University of Colorado Boulder, Colorado, 2001.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER-SP) - **Normas e regulamentos técnicos utilizados pelo DER-SP, órgão responsável pela manutenção e operação de rodovias e pontes no estado de São Paulo**.

EMMONS, Peter Howard. **Epoxy and polyurethane injection techniques for crack repair**. (Ph.D.) – University of California, Berkeley, 1993.

EPEC – ENGENHARIA. **Figura de corrosão da armadura de um pilar**. Disponível em: <https://epec-ufsc.com.br/fissuras/como-uma-rachadura-pode-causar-a-corrosao-de-armadura/> . Acesso em: 25 nov.2024.

FRANGOPOL, Dan Mihail. **Structural crack stitching: applications and effectiveness**. 2003. (Ph.D.) – Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2003.

GUADAGNINI, Alberto, & TOMASI, Giorgio. **Modeling the corrosion of reinforced concrete: a review**. Cement and Concrete Research, 117, 2019, p. 1-17.

HUANG, Wen Chun. **Structural reinforcement with fibers and composites for concrete durability**. 2017. (Ph.D.) – Stanford University, Stanford, 2017.

JOHNSON, Eric Lee. **Preventive maintenance and post-repair monitoring in concrete structures**. 2016. (Ph.D.) – University of Michigan, Ann Arbor, 2016.

JONES, Richard, & THOMAS, Michael. (2018). **Concrete deterioration and repair**. CRC Press.

KHURMI, Rata Singh; GUPTA, Jagdish Kumar. **A Textbook of Machine Design**. New Delhi: S. Chand, 2005.

LIMA, João Duarte. **Estratégias de drenagem e prevenção de fissuras em concreto**. 2018. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LIMA, João Duarte. **Revestimentos impermeabilizantes para proteção de superfícies de concreto**. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

LIN, Wei; TSAI, Yoshi. **Thermal Effects on Concrete Structures in Japan**. Journal of Structural Engineering, v. 45, n. 3, p. 122-134, 2018.

LOPES, Carlos Alberto. **Detailed inspection and root cause identification in concrete degradation**. 2013. (Ph.D.) – University of California, Berkeley, 2013.

LOPES, João Ferreira; SILVA, Tatiane Rodrigues, & Almeida, Fernando Pereira. (2016). **Aditivos hidrofugantes para concreto: Propriedades e aplicações**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, 44(2), 153-161.

MARTINEZ, Rafael Daniel. **Fiber-reinforced composites for structural reinforcement of aging infrastructure**. 2018. Dissertation (Ph.D.). University of Southern California, Los Angeles, 2018.

MARTINS, Teresa Sofia. **Técnicas de remoção de eflorescência em estruturas de concreto**. Tese de doutorado, Universidade de Porto, Portugal, 2019.

MAYER, Gerald Andrew. **Repair mortars and grouting techniques for structural rehabilitation**. Thesis (Master's) – University of Texas at Austin, Texas, 2007.

MCCARTER, William John. **Flexible sealants and protective coatings in concrete maintenance**. (Ph.D.) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2005.

MEHTA, Paul Kumar. **Fiber-reinforced composites for concrete strengthening**. 2002. (Ph.D.) – University of Southern California, Los Angeles, 2002.

MENDES, Carlos. **História e engenharia das grandes pontes de São Paulo**. São Paulo: Mackenzie, 2018.

MENDES, Carlos. **Patologias em pontes e viadutos: um estudo de caso na capital paulista**. São Paulo: Mackenzie, 2019.

METRÓPOLES. **Fotografia da Ponte do Jaguaré**. [S.l.]: Metrôpoles, 2018. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/viaduto-cede-e-interdita-marginal-pinheiros-em-sp-veja-fotos>. Acesso em: 5 nov. 2024.

MÜLLER, Hans. **BauwerksPathologie: ursachen, diagnostik und sanierung**. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Bauingenieurwesen, 2015.

MYERS, Rachel Susan. **Protective coatings and corrosion inhibitors for concrete reinforcement**. Thesis (Master's) – Columbia University, New York, 2014.

NUNES, Carlos. **Impacto das pontes sobre o Rio Pinheiros na mobilidade urbana**. São Paulo: PUC-SP, 2020.

OLIVEIRA, Fernando. **Análise econômica de intervenções em infraestruturas urbanas**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2022.

OLIVEIRA, José. **Orçamento de Obras Públicas: um estudo sobre o uso da tabela Sinapi**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

OLIVEIRA, Sérgio Rodrigues. **A importância da manutenção preventiva em estruturas de concreto**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

OLIVEIRA, Sérgio Rodrigues. ***Aplicação de selantes hidrofóbicos para proteção de concreto***. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

ORTGA, José Manuel. ***Corrosion inhibitors in marine-exposed concrete structures***. Thesis (Master's). Florida State University, Tallahassee, 2015.

PEREIRA, João. ***Gestão de Infraestruturas Viárias: Custos e Benefícios em Obras de Grande Porte***. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2021.

PEREIRA, Lisa Alexandra. ***Continuous monitoring and regular maintenance of concrete structures***. 2015. Thesis (Master's) – University of Michigan, Ann Arbor, 2015.

PEREZ, Miguel Ángel. ***Concrete removal and rebar cleaning in corrosion-damaged structures***. (Ph.D.). University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, 2012.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. ***Manutenção e obras corretivas da Ponte Presidente Jânio Quadros***. São Paulo, 2019.

Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/obras/w/noticias/282019>.

Acesso em: 5 nov. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. ***Programa de recuperação de pontes e viadutos***. São Paulo, 2019.

Disponível em:

https://capital.sp.gov.br/web/obras/w/sp_obras/noticias/311239.

Acesso em: 18 nov. 2024.

RIBEIRO, Ana. ***Gestão de fornecedores na construção civil: estratégias para garantir qualidade e redução de custos***. São Paulo: Editora Construção Moderna, 2021.

RIBEIRO, Ana; LIMA, Carlos. ***Estratégias de Intervenção e Orçamento em Pontes Urbanas***. Journal of Structural Engineering, v. 36, n. 2, 2020, p. 123-135.

ROBINSON, Paul John. ***Galvanic and impressed current cathodic protection in reinforced concrete***. (Ph.D.). Massachusetts, 2015.

ROMANO, Luigi. ***Corrosione delle armature e fessurazioni nelle strutture in cemento armato: studi nel contesto costiero italiano***. Tese de Doutorado, Università degli Studi di Napoli, 2018.

ROSSI, Andrea. ***Le Patologie delle strutture in cemento armato: un'analisi Comparativa***. Tese de Doutorado. Università di Roma, 2017.

SANTOS, Maria. ***Análise das falhas estruturais e medidas emergenciais na Ponte do Jaguaré***. São Paulo: PUC-SP, 2019.

SANTOS, Maria; ALMEIDA, Pedro. **Análise Comparativa de Materiais e Serviços na Construção Civil**. Revista Brasileira de Engenharia Civil. v. 28, n. 4, 2019, p. 67-79.

SANTOS, Maria; ALMEIDA, Pedro. **Planejamento e Execução de Medidas Corretivas em Infraestruturas**. Revista Brasileira de Engenharia Civil. v. 24, n. 3, 2019, p. 45-56.

SANTOS, Teresa. **Monitoramento e segurança de pontes em grandes cidades**. São Paulo: Mackenzie, 2020.

SATO, Hiroshi; NAKAMURA, Kenji. **Thermal Cracking in Concrete Structures: A Seismic Perspective**. Journal of Structural Engineering, v. 55, n. 2, 2019, p. 112-125.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHE, Charles Richard. **Mechanical Engineering Design**. New York: McGraw-Hill, 2001.

SILVA, Ana Carolina da. **Avaliação da eficiência de sistemas de proteção catódica em estruturas de concreto armado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SILVA, Carlos. **Manifestações Patológicas em Pontes e Viadutos: Análise de Casos Internacionais**. Revista de Engenharia Estrutural, v. 15, n. 2, 2019, p. 34-47.

SILVA, João David. **Melhoria da ventilação e controle de umidade em concreto**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

SILVA, João. **Infraestrutura e construção de pontes em São Paulo: um estudo de caso da Ponte Presidente Jânio Quadros**. São Paulo: USP, 2015.

SILVA, João. **Manutenção e infraestrutura urbana em São Paulo: o caso da Ponte Presidente Jânio Quadros**. São Paulo: USP, 2020.

SILVA, João. **Manutenção e infraestrutura urbana: a recuperação das pontes da Marginal Pinheiros**. São Paulo: USP, 2018.

SILVA, Maria Rosângela. **Eflorescência em concretos: causas e métodos de tratamento**. 2018. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, Renata. **Manutenção de estruturas viárias em São Paulo: estudos e práticas**. São Paulo: IPT, 2022.

SILVA, Roberto. **Infraestrutura e manutenção viária: estudo de caso da Ponte da Marginal Pinheiros**. São Paulo: USP, 2020.

Silva, Robson Carlos, & Santos, Marcos Antonio. (2018). **Durabilidade do concreto com aditivos hidrofugantes em ambientes agressivos**. Journal of Construction Materials, 12(3), 289-298.

SMITH, Andrew, & JOHNSON, Kevin. ***Building materials: properties, performance, and sustainability***. Wiley, 2021.

SOUZA, João Lucas. ***Avaliação de métodos de remoção de eflorescência em concreto***. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

SOUZA, João Lucas. ***Estratégias de controle de umidade e proteção de concreto***. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

SOUZA, João Lucas. ***Estratégias para o monitoramento e manutenção de estruturas de concreto***. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SOUZA, Rodrigo Martins de. ***Análise da influência da proteção catódica na durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho***. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2018.

TOMASI, Giorgio, & PARRINI, Paolo. ***Corrosion of reinforced concrete: Mechanisms, models, and mitigation strategies***. Cement and Concrete Composites, 95, 2018, p. 1-23.

VALENTE, Simone, & MAZZOTTI, Vincenzo. ***Durability of reinforced concrete structures in aggressive environments: a review***. Materials and Structures, 50(5), 2017, p.1-15.

VIVA DECORA. ***Figura de eflorescência em muro de tijolos***. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/eflorescencia/>
Acesso em: 25 nov.2024.