



**ANALISE DE DEGRADAÇÃO DE PASSARELAS DE CONCRETO
LOCALIZADAS AO LONGO DAS VIAS FÉRREAS EM DIFERENTES
ZONAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

SÃO PAULO

2017



FRANCIELI SCHMOELLER
JACQUELINE DUARTE SILVA
TAMIRES PEREIRA QUIRINO DE SOUSA

**ANALISE DE DEGRADAÇÃO DE PASSARELAS DE CONCRETO
LOCALIZADAS AO LONGO DAS VIAS FÉRREAS EM DIFERENTES
ZONAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia nas Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO

2017

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. Luis César Siqueira De Luca pela valiosa colaboração, pelas sugestões e ensinamentos transmitidos.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Patologia nas Obras Civis do Instituto IDD pelos ensinamentos transmitidos.

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) pelas informações repassadas.

Aos colegas da Pós-Graduação pelos trabalhos desenvolvidos, experiências divididas e pelo convívio agradável.

As nossas mães, Maria Inês, Adrienne e Rozeli, pelo apoio e gestos de amor acreditando sempre.

Aos nossos pais, Teodoro, Eduardo e Clério, por toda admiração que temos, carinho e gratidão.

Aos nossos namorados, Felipe, Caio e Nilton, nossos sinceros agradecimentos com todo amor e carinho.

Agradecemos a Deus pela força, equilíbrio e saúde para conclusão de mais uma etapa.

Francieli, Jacqueline e Tamires

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANALISE DE DEGRADAÇÃO DE PASSARELAS DE CONCRETO LOCALIZADAS AO LONGO DAS VIAS FÉRREAS EM DIFERENTES ZONAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Por

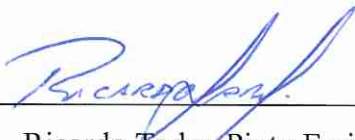
FRANCIELI SCHMOELLER
JACQUELINE DUARTE SILVA
TAMIRES PEREIRA QUIRINO DE SOUSA

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

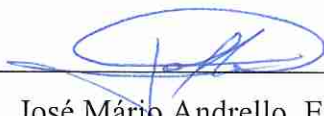
São Paulo (SP) 28 de Janeiro de 2017.



André Tadeu Moreno Figueiró, Esp.



Ricardo Tadeu Pinto Faria, Esp.



José Mário Andrello, Esp.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo determinar as zonas de localização, dentre as estudadas, que possuem maior índice de degradação de corrosão, de fissuração e de deslocamento. No desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o levantamento de campo como procedimento metodológico. Foram inspecionadas sete passarelas de idades próximas, pertencentes a três zonas metropolitanas de São Paulo (oeste, sudeste e leste) e com os dados coletados, gerou-se um mapeamento das manifestações patológicas encontradas. Desenvolveu-se uma análise quantitativa dos danos coletados utilizando a metodologia de determinação do grau de deterioração das estruturas. Este grau de deterioração foi dado através da razão entre a área deteriorada pela área total, sendo que a estrutura foi dividida em famílias de elementos (guarda-corpo e piso) e subdivida em acesso e tabuleiro. De acordo com os dados levantados de projeto, a resistência do concreto não se demonstrou como fator determinante na degradação da estrutura. Por fim, o que se obteve como resultado foram maiores índices de corrosão da armadura e fissuração na Zona Sudeste da região metropolitana de São Paulo e o deslocamento se mostrou mais significativo na Zona Oeste.

Palavras chave: obras de arte especial, passarela de concreto, transporte ferroviário, manifestações patológicas, degradação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Divisão estrutural de uma ponte.....	20
Figura 2: Lixiviação em estrutura de concreto, com formação de estalactite.....	24
Figura 3 Despassivação da armadura por ação da carbonatação.....	26
Figura 4. Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto.....	27
Figura 5. Corrosão de armadura, despassivação por cloreto.....	28
Figura 6. Expansão por reação álcali- agregado.....	30
Figura 7. Exemplos e causas de fissuras em estruturas de concreto.....	32
Figura 8. Vias férreas metropolitanas de São Paulo.....	43
Figura 9. Passarelas inspecionadas	44
Figura 10. Localização da passarela vistoriada	45
Figura 11. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	49
Figura 12. Localização da passarela vistoriada	51
Figura 13. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.....	55
Figura 14. Localização da passarela vistoriada	57
Figura 15. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	60
Figura 16. Localização da passarela vistoriada	62
Figura 17. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	66
Figura 18. Localização da passarela Vila Gomes	68
Figura 19. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	72
Figura 20. Localização da passarela vistoriada	74
Figura 21. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	77
Figura 22. Localização da passarela vistoriada	79
Figura 23. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas	83
Figura 24. Esquema das áreas deteriorada e total, utilizando corrosão da armadura	85

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1. Vista geral da passarela Calmon Viana	46
Fotografia 2 Escadas de acesso	46
Fotografia 3. Vista geral do tabuleiro da passarela	47
Fotografia 4. Manifestações Patológicas	48
Fotografia 5. Vista geral da passarela 2	52
Fotografia 6. Rampas de acesso	52
Fotografia 7. Vista geral do tabuleiro da passarela	53
Fotografia 8. Manifestações Patológicas	54
Fotografia 9. Vista geral da passarela 3	57
Fotografia 10 Escada de acesso	58
Fotografia 11. Vista geral do tabuleiro da passarela	59
Fotografia 12. Manifestações Patológicas	59
Fotografia 13. Vista geral da passarela Vila Augusto	62
Fotografia 14. Escada e rampa de acesso	63
Fotografia 15. Vista geral do tabuleiro da passarela Vila Augusto	64
Fotografia 16. Manifestação Patológica	64
Fotografia 17. Vista geral da passarela 5	68
Fotografia 18. Rampas de acesso	69
Fotografia 19. Vista geral do tabuleiro da passarela Vila Gomes	70
Fotografia 20. Manifestação Patológica.....	70
Fotografia 21. Vista geral da passarela Calmon Viana	74
Fotografia 22. Rampa de acesso	75
Fotografia 23. Vista geral do tabuleiro da passarela	76
Fotografia 24: Manifestação Patológica	76
Fotografia 25. Vista geral da passarela 7	79
Fotografia 26. Escadas de acesso	80
Fotografia 27. Vista geral do tabuleiro da passarela	81
Fotografia 28: Manifestação Patológica.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Fonte: NBR 9452:2016.	37
Tabela 2. Dados relativos às passarelas inspecionadas. Fonte: CPTM e autores (2016).	41
Tabela 3. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Leste.	87
Tabela 4. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Leste.	88
Tabela 5. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Leste.	90
Tabela 6. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Sudeste.	91
Tabela 7. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.	93
Tabela 8. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.	94
Tabela 9. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Oeste.	96
Tabela 10. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.	97
Tabela 11. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.	99
Tabela 12. Grau de Deterioração das regiões por manifestação patológica.	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Leste	87
Gráfico 2. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Leste.....	89
Gráfico 3. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Sudeste	92
Gráfico 4. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste	93
Gráfico 5. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste	95
Gráfico 6. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Oeste	97
Gráfico 7. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste	98
Gráfico 8. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste	100

LISTA DE APÊNDICE

Tabela 13. Área das anomalias encontradas na Passarela 1 - Calmon Viana.....	108
Tabela 14. Área das anomalias encontradas na Passarela 2 - Vila ABC.....	109
Tabela 15. Área das anomalias encontradas na Passarela 3 - Vila Gertrudes.....	110
Tabela 16. Área das anomalias encontradas na Passarela 4 - Vila Augusto.	111
Tabela 17. Área das anomalias encontradas na Passarela 5 - Vila Gomes	112
Tabela 18. Área das anomalias encontradas na Passarela 6 - Luigi Greco.....	113
Tabela 19. Área das anomalias encontradas na Passarela 7 - Rua do Curtume.....	114

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
FOLHA DE APROVAÇÃO	3
RESUMO.....	4
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	5
LISTA DE FOTOGRAFIAS	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE GRÁFICOS	8
LISTA DE APÊNDICE.....	9
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	14
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo Geral	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. HIPÓTESE.....	15
1.5. JUSTIFICATIVAS	16
1.5.1. Tecnológicas.....	16
1.5.2. Econômicas.....	16
1.5.3. Sociais.....	17
1.5.4. Ecológicas.....	17
1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20

2.1. DEFINIÇÕES	20
2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS-DE-ARTE ESPECIAL	21
2.2.1. Doenças do Concreto Armado.....	22
2.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTITATIVA DOS DANOS	39
3. LEVANTAMENTO DE CAMPO	41
3.1. APRESENTAÇÃO DAS PASSARELAS E SUA ZONA DE LOCALIZAÇÃO.....	41
3.2. INSPEÇÃO DAS PASSARELAS.....	45
3.2.1. PASSARELA 1 – CALMON VIANA	45
3.2.2. PASSARELA 2 – PASSARELA VILA ABC.....	50
3.2.3. PASSARELA 3 – PASSARELA VILA GERTRUDES	56
3.2.4. PASSARELA 4 – PASSARELA VILA AUGUSTO.....	61
3.2.5. PASSARELA 5 – PASSARELA VILA GOMES.....	67
3.2.6. PASSARELA 6 – PASSARELA RUA LUIGI GRECO	73
3.2.7. PASSARELA 7 – PASSARELA RUA DO CURTUME.....	78
3.3. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO	84
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	86
4.1. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA LESTE	86
4.1.1. CORROSÃO	86
4.1.2. DESPLACAMENTO	88
4.1.3. FISSURAÇÃO	89
4.2. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA SUDESTE.....	90

4.2.1. CORROSÃO	91
4.2.2. DESPLACAMENTO	92
4.2.3. FISSURAÇÃO	94
4.3. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA OESTE.....	95
4.3.1. CORROSÃO	96
4.3.2. DESPLACAMENTO	97
4.3.3. FISSURAÇÃO	99
4.4. COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO ENTRE AS ZONAS.....	100
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	102
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
7. APÊNDICE.....	106

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho possui como temática principal a comparação do estado de degradação em passarelas de concreto localizadas ao longo das vias férreas metropolitanas de São Paulo. As manifestações patológicas serão registradas por meio de inspeção visual e com base nesse levantamento serão catalogadas as manifestações patológicas presentes.

O transporte ferroviário tem como característica marcante, sua operação em via que segrega o meio urbano. Outra característica do transporte ferroviário é promover a ocupação mais expressiva do território, ao longo de suas vias, o que gera a necessidade de transposições para diminuir o efeito da descontinuidade urbana, eliminar o risco de travessias impróprias e permitir a circulação dos veículos ferroviários com maior eficiência.

Para DNER (1996), as passarelas se classificam como obras de arte especial que possuem como propósito proporcionar o tráfego de pedestres e, eventualmente, de ciclistas, no âmbito de se separar o tráfego de veículos e de pedestres garantindo, deste modo, a segurança dos pedestres e melhor tráfego para os veículos.

Temos, portanto, a demanda de transposição decorrente da necessidade de prover a conectividade entre as estruturas lindeiras a via férrea e o deslocamento da população daquela região, essa travessia devendo ser segura e confortável, incluindo necessidade de iluminação, limpeza, conservação, manutenção e segurança pública.

Obras de arte especial são estruturas de alto custo de construção, reparo e recuperação. No caso de intervenção, cria-se grande transtorno e custo social incalculável, portanto é justificado o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas como em técnicas de manutenção preventiva durante a sua utilização (LANER, 2001).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual das três regiões de estudo (zona oeste, zona sudeste e zona leste) apresentam, dentre as passarelas de concreto analisadas, o maior grau de degradação?

1.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Ao longo das vias férreas metropolitanas de São Paulo são encontradas passarelas com estrutura metálicas, de concreto e mistas; este trabalho se limita aos dados conhecidos de passarelas de concreto, com projeto arquitetônico semelhante, sem cobertura, construídas entre 1979 a 1989, em três diferentes zonas da região metropolitana de São Paulo: zona oeste, sudeste e leste.

O levantamento também se limitou a região interna da passarela devido o acesso externo necessitar de equipamentos (exemplo: plataformas elevatórias) e acesso à via férrea. As manifestações patológicas obtidas através da inspeção visual e analisadas foram fissuração, corrosão de armadura e deslocamento.

1.3. OBJETIVOS

A seguir serão apresentados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

1.3.1. Objetivo Geral

Determinar as zonas de localização, dentre as estudadas, que possuem maior grau de degradação de corrosão, de fissuração e de deslocamento.

1.3.2. Objetivos Específicos

- i. Determinar o grau de degradação das manifestações patológicas analisadas (fissura, corrosão e deslocamento) nas inspeções visuais nas passarelas.
- ii. Levantar o grau de degradação das manifestações patológicas (fissura, corrosão e deslocamento) em regiões específicas da passarela como: piso e guarda-corpo dos tabuleiros e acessos (escadas e/ou rampas).

1.4. HIPÓTESE

Com base em inspeções preliminares, acredita-se que o grau de degradação em relação às manifestações patológicas analisadas serão maiores em passarelas da zona leste por estarem localizadas em região de periferia, já que são áreas mais suscetíveis ao vandalismo e possuem menor policiamento, o que dificulta as vistorias e manutenções, apresentando como consequência, degradação mais expressiva.

1.5. JUSTIFICATIVAS

Serão apresentadas, nesta seção, justificativas de cunho tecnológico, econômico, social e ecológico para a realização deste trabalho.

1.5.1. Tecnológicas

Os resultados obtidos com esta pesquisa contribuíram para detectar qual zona metropolitana de São Paulo possui maior grau de degradação com base nas manifestações patológicas analisadas; desta forma, pode-se elencar técnicas de manutenção preventiva para evitar danos e maiores intervenções. Esses resultados também contribuíram para elaboração de projetos futuros que evitem o aparecimento destas manifestações patológicas.

1.5.2. Econômicas

Quando se trata de manutenção em obras públicas, devem ser realizados inúmeros procedimentos, tais como: licitação, orçamento, programa de manutenção, contratação, fiscalização, dentre outros. Com o levantamento do grau de deterioração das passarelas em diferentes zonas metropolitanas poderá ser indicado qual zona necessita de maior recurso financeiro para os processos de manutenção preventiva e corretiva. Além disso, a partir do cálculo do grau de degradação pode-se priorizar as passarelas que necessitam uma intervenção mais urgente, ou seja, que apresentem maior grau de deterioração em relação às demais.

1.5.3. Sociais

O impacto visual gerado pelas manifestações patológicas causa desconforto e insegurança aos usuários de obra de arte especial, neste caso as passarelas. Outro ponto relevante é que para a realização de intervenção na passarela é necessária, muitas vezes, a interdição do local. Tratando-se de passarelas encontradas ao longo de linhas ferroviárias de transporte urbano, a interdição interrompe um trecho da linha, causando transtornos aos usuários deste meio de transporte durante o período de execução da manutenção.

1.5.4. Ecológicas

Na realização de reparos em estruturas de concreto geram-se resíduos e consomem-se materiais. O impacto ambiental causado pelas intervenções é reduzido mitigando-se a necessidade de manutenção. A avaliação do grau de deterioração causado por cada manifestação patológica analisada, permite distinguir qual das manifestações patológicas atingem as passarelas com mais severidade, podendo-se assim, determinar um plano de prevenção para estas.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O levantamento de campo foi o procedimento metodológico utilizado nesta pesquisa. Essa técnica consiste em selecionar uma amostra de um universo em que os resultados obtidos serão projetados para a totalidade do conjunto (GIL, 2009).

Neste trabalho serão apresentadas as seguintes etapas que estão especificadas nos parágrafos que seguem:

- a) Fundamentação teórica;
- b) Seleção da amostra de passarelas;

- b.1) Definir tipo de amostra;
- b.2) Determinar tamanho da amostra.
- c) Elaboração do instrumento de coleta de dados;
 - c.1) Elaboração de croqui para o mapeamento das manifestações patológicas encontradas;
- d) Inspeção visual e coleta de dados (mapeamento) nas passarelas selecionadas;
- e) Análise e interpretação dos dados;
- f) Determinação da degradação das passarelas em análise.

A fundamentação teórica consistiu em um estudo sobre as manifestações patológicas em estruturas de concreto, a partir de trabalhos acadêmicos, artigos científicos, livros, normas e outras fontes.

A amostra dentre a população de passarelas, feita por meio de seleção inicial de zonas de estudo pertencentes as vias férreas metropolitanas de São Paulo, foi definida pelas que possuem estrutura de concreto (excluem-se as de estruturas metálicas e mistas), projeto arquitetônico semelhante, construídas na mesma época e sem cobertura. Após encontrada a amostra, foi definido o tamanho da amostra e realizado a coleta de dados (manifestações patológicas).

A partir dos dados obtidos em campo foi realizada uma análise para interpretá-los, e posteriormente demonstrá-los por meio de gráficos e tabelas. Por fim, foi determinado o grau de deterioração das passarelas localizadas ao longo das vias férreas em diferentes zonas da região metropolitana de São Paulo.

1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, cujos assuntos abordados serão apresentados a seguir.

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a fundamentação teórica e discorre sobre as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, definições e normas de inspeção referente obras de arte especial (OAE).

O **Capítulo 3** trata sobre o levantamento de campo empregado neste trabalho, apresentando a descrição das passarelas vistoriadas, mapeamento das manifestações observadas e cálculo da porcentagem comprometida.

O **Capítulo 4** apresenta o resultado e análise deste estudo referente manifestações patológicas em passarelas de concreto armado, verificando e comparando o grau de deterioração das manifestações patológicas encontradas nas diferentes zonas metropolitanas de São Paulo.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

Este capítulo explorou aspectos fundamentais do trabalho, desde seu problema de pesquisa até a apresentação do mesmo. Já o capítulo seguinte apresentará a fundamentação teórica, que serviu de base para o levantamento de campo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresentaremos a definição das principais manifestações patológicas que poderão ser encontradas nas passarelas em estudo.

2.1. DEFINIÇÕES

Obras de arte: se definem como obras de transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, que podem ser rios, braços de mar, vales profundos, outras vias, entre outros.

Passarelas: geralmente construídas com largura inferior à encontrada nas pontes e viadutos, são destinadas aos pedestres.

Podemos dividir uma obra de arte em três partes básicas: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. Segue Figura 01 da divisão das partes principais de uma obra-de-arte:

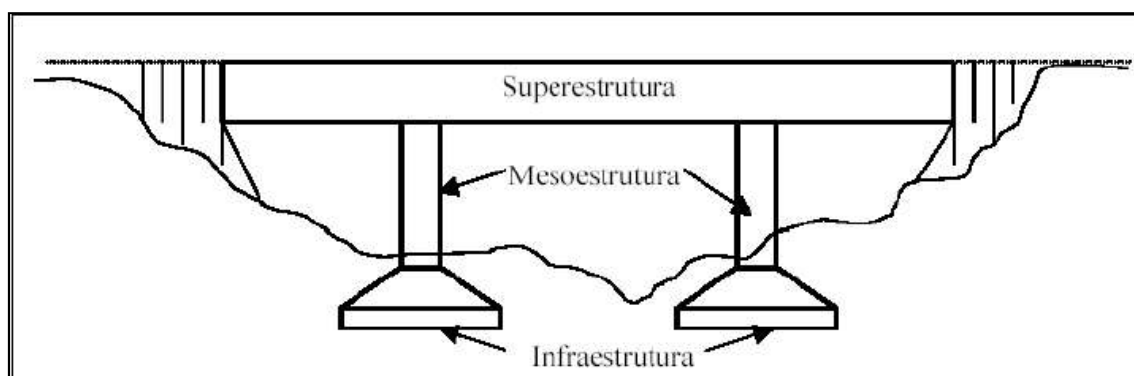


Figura 1: Divisão estrutural de uma ponte
Fonte: (ALMEIDA apud GOMES, 2006).

De acordo com a Figura anterior, para a infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura têm-se que:

- Subestrutura ou infraestrutura: transmite ao solo os esforços recebidos da mesoestrutura, podendo ser composta de blocos,

sapatas, estacas, tubulões e as peças de ligação aos diversos elementos;

- Mesoestrutura: recebe os esforços da superestrutura e os esforços oriundos de outras solicitações, como pressão do vento e movimentação das águas, classificados como elementos intermediários;
- Superestrutura: constitui-se de lajes, juntas, vigas principais e secundárias (OLIVEIRA apud LANER,2001).

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS-DE-ARTE ESPECIAL

Para Lourenço *et.al.* (2009) a ocorrência e intensidade da corrosão das obras de arte especial são especialmente resultantes do ambiente, agentes agressivos e capacidade de resistência da estrutura. As propriedades do ambiente em que uma estrutura está inserida são determinadas por sua composição física, química e biológica. Tal composição pode ser o fator do surgimento ou evolução de sintomas patológicos.

Diferentemente de agressões por componentes ambientais, têm-se os agentes agressivos que podem ser decorrentes de ações ambientais ou atmosféricas, biológicas, de vícios construtivos e/ou de má utilização. Tanto o *design* quanto os materiais utilizados em uma construção são responsáveis por determinar a capacidade de resistência de uma obra de arte especial às manifestações patológicas, que, ao longo do tempo, tende a decair caso não sejam feitas as intervenções necessárias para tal (*id.*; *ib.*).

2.2.1. Doenças do Concreto Armado

Para Helene (1992), o concreto de cimento *Portland* obtém muitas vantagens sobre outros materiais como madeira, aço, ou alvenaria, provando ser o material de construção mais apropriado para estruturas. Desde sua criação, tanto as edificações, obras de arte, rodovias e demais construções em concreto armado resistiram às mais variadas sobrecargas e ações do meio ambiente.

Por mais que o concreto seja considerado um material praticamente eterno se realizado corretamente as manutenções preventivas, existem construções que apresentam manifestações patológicas diversas, o que acarreta em elevado custos de recuperação e ainda, pode prejudicar a resistência da estrutura (*id.*; *ib.*).

De acordo com a NBR-6118/2014 da ABNT, os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto são:

- a) Lixiviação: por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento;
- b) Expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
- c) Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
- d) Reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua construção mineralógica.

A mesma norma ainda menciona, em relação às armaduras, a despassivação como mecanismo preponderante de deterioração que pode ser oriundo da carbonatação, sendo o gás carbônico o agente agressor, ou do elevado teor do íon cloro.

2.2.1.1. Lixiviação

Como resultado da reação de hidratação de cimento *Portland* obtêm-se tanto cristais insolúveis em água, como o C-S-H (silicato de cálcio hidratado), quanto cristais solúveis, como o Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2 , hidróxidos de cálcio e de magnésio (THOMAZ, 2009).

De acordo com o DNIT (2006), a lixiviação é provocada quando águas puras com pouco ou nenhum íon de cálcio penetram no concreto e entram em contato com a pasta de cimento *Portland*, podendo hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio.

Segundo Ripper e Souza (1998), a lixiviação acontece quando a cal hidratada, também conhecida como hidróxido de cálcio, se desagrega da pasta de cimento endurecida e é transportada por águas puras, impuras, pantanosas, subterrâneas, profundas ou ácidas. A circulação dessas águas é responsável pela corrosão e redução do pH do concreto.

Ainda, esta lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto, não acarreta apenas na perda de resistência, como também, provoca agressões estéticas, já que o produto lixiviado interage com o CO_2 presente no ar, resultando na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície (DNIT, 2006).

Para Laner (2001), esse tipo de processo patológico aparece sob forma de manchas brancas acompanhadas de precipitação de géis que formam estalactites ou estalagmites, conforme Figura 2, a seguir:



Figura 2: Lixiviação em estrutura de concreto, com formação de estalactite

Fonte: (<http://www.ibracon.org.br/eventos/55cbc/PDFS/phd.pdf>).

A superfície com lixiviação, como apresentado na Figura anterior, ainda apresenta aspecto arenoso ou com exposição de agregados, e eflorescências de fungos e bactérias (LANER 2001).

As águas carbonatadas tendem a se espalhar pelas faces das paredes de juntas e seguir em direção à face do tabuleiro assim que encontram seu percurso preferencial. Por isso, essa manifestação se apresenta com frequência em obras de arte com problemas, ou até mesmo ausência, de juntas de vedação (*id.*; *ib.*).

A redução da quantidade de sólidos do concreto causa queda em sua resistência mecânica e gera uma abertura que permite passagem de gases e líquidos prejudiciais à estrutura, como a água e o oxigênio, que pode resultar em corrosão da armadura. De acordo com Thomaz (2009), esses são os motivos pelos quais a lixiviação é danosa ao concreto.

Esse sintoma patológico é o tipo de corrosão mais comum e sua intensidade é maior quanto mais poroso o concreto se apresentar. Com o tempo e

aumento da porosidade, a estrutura passa a se desintegrar devido à decomposição de outros hidratos advindos da dissolução, deslocamento e deposição da cal hidratada. (RIPPER e SOUZA, 1998).

Para o DNIT (2006), ambos os sais de cálcio, solúveis e insolúveis, quando lixiviados, não podem ser recuperados. Todavia, o prosseguimento da lixiviação pode ser mitigado ou prevenido com o tratamento das trincas e fissuras e, ainda, com pinturas impermeabilizantes e revestimentos.

2.2.1.2. Carbonatação

O nitrogênio, oxigênio e gás carbônico são os gases que se destacam na composição do ar atmosférico por possuírem maior concentração em relação a outros. E é por meio de fissuras e aberturas oriundas da lixiviação que esses gases entram em contato com o concreto. A carbonatação é o processo de transformação de hidróxidos em carbonatos em que a associação do CO_2 do ar com o hidróxido de cálcio e magnésio do cimento hidratado, quando em meio úmido, formará o CaCO_3 e MgCO_3 – carbonato de cálcio e magnésio (THOMAZ, 2009).

De acordo com Ripper e Souza (1998), essa transformação acarretará em queda no pH do concreto, que poderá atingir valores inferiores a 9. Tanto a redução de alcalinidade quanto a espessura da camada carbonatada dependerão da quantidade de CO_2 no local, sendo essas diretamente proporcionais, ou seja, quanto mais gás carbônico maior a queda de pH ou a espessura de carbonatação.

Além da concentração de CO_2 , esse sintoma patológico poderá ser acelerado especialmente por fatores como: temperatura, umidade relativa do ar, porosidade e fissuras ou lixiviação do concreto. Caso os poros possuam ar e água, alertando-se para umidades relativas de 50-60%, a carbonatação ocorrerá mais rapidamente (THOMAZ, 2009), como mostra a Figura 3, com a despassivação por carbonatação, atingindo a armadura:



Figura 3 Despassivação da armadura por ação da carbonatação
Fonte: (<http://www.ibracon.org.br/eventos/55cbc/PDFS/phd.pdf>).

Conforme Possan (2010), (*apud* BAKKER, 1988; MEHTA e MONTEIRO 2008), trata-se de “um dos principais fenômenos físico-químicos que podem limitar a vida útil das estruturas de concreto armado” onde a película passivante da armadura é desestabilizada quimicamente pelo aumento da acidez do concreto, como mostra a Figura anterior, reduzindo assim sua proteção contra corrosão. A seguir, tem-se na Figura 4, a representação do avanço da carbonatação sobre o concreto, diminuindo seu pH, até atingir a armadura.

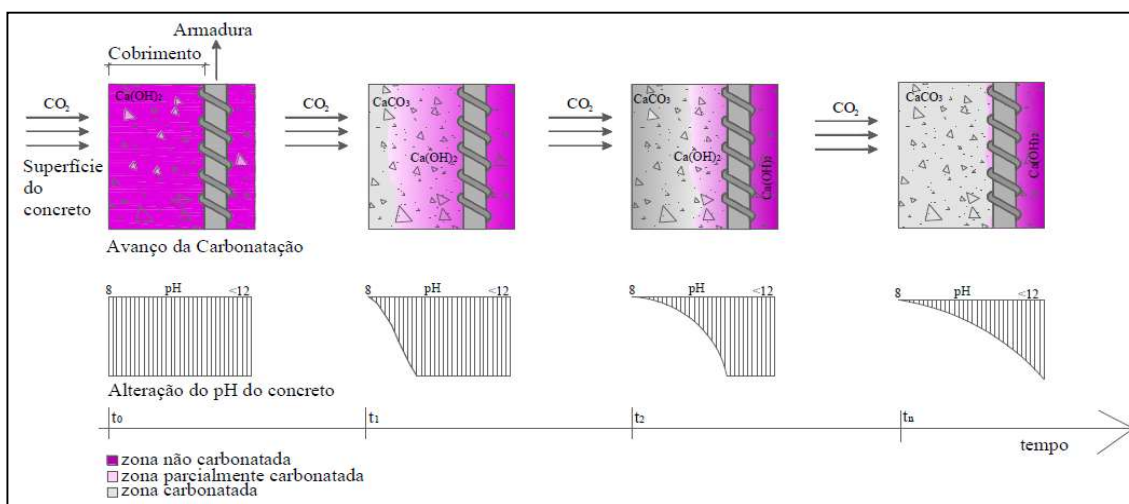
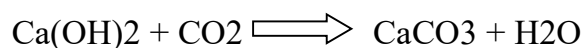


Figura 4. Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto
Fonte: (POSSAN, 2010).

A Figura 4 mostra como a carbonatação se desenvolve na estrutura em função do pH do concreto, que normalmente assume valores acima de 12,5, mas com os efeitos da carbonatação ao longo do tempo pode chegar a valores em torno de 8,5 (*id.*; *ib.*).

Conclui-se então que a carbonatação nada mais é que a neutralização da fase líquida intersticial saturada da cal hidratada pelo gás carbônico formando carbonato de cálcio quando em presença de umidade, demonstrada de forma simplificada, na Equação 01 a seguir:



Reação que representa a baixa do pH, originando a carbonatação.

Para minimizar efeitos tanto da lixiviação como da carbonatação, segundo Thomaz (2009), deve-se atentar para fatores como:

- Dosagem do concreto: bom empacotamento e relação água-cimento baixa;
- Boa qualidade no processo de adensamento e cura;
- Teor de C_3S e C_2S no cimento;
- Presença de adições e aditivos;
- Possibilidade de proteção das peças.

2.2.1.3. Cloreto

A qualidade da água pode ser um fator determinante na ocorrência de manifestação patológica grave, assim como tem grande colaboração no processo de corrosão de armaduras. Isso acontece quando sua natureza possui caráter não potável ou com alta concentração de cloretos (RIPPER e SOUZA, 1998).

Segundo Laner (2001), são os íons Cl^- os elementos que oferecem maior risco de corrosão por poderem agir como agente despassivador. A seguir, a Figura 5 expõe o concreto manchado pela corrosão da armadura por cloreto:



Figura 5. Corrosão de armadura, despassivação por cloreto
Fonte: (<http://www.ibracon.org.br/eventos/55cbc/PDFS/phd.pdf>).

A origem dos cloretos pode ser de fonte indireta alcançando a armadura por difusão, ou direta, quando componente do concreto. Além da água, como fonte direta o concreto pode apresentar agregados contaminados ou aditivos aceleradores de pega a base de CaCl_2 - cloreto de cálcio (CAFANGE, 2011).

Ripper e Souza (1998) citam também que estruturas de concreto porosas podem facilitar a entrada desses íons. E afirmam que são os mecanismos de transporte existentes que controlam o grau de propagação, uma vez que a água não realizará a difusão por si só.

Em geral as normas preveem uma concentração de cloreto de até 0,4% do peso do cimento, principalmente a fim de evitar que esse elemento, na presença de umidade e oxigênio, danifique a camada de proteção à corrosão que a armadura possui (RIPPER e SOUZA, 1998).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o concreto usual dá início à corrosão quando sua concentração se encontra na faixa de 0,6-0,9 quilograma de cloreto por metro cúbico de concreto. Em altas dosagens, também é capaz de potencializar a incidência de corrosão por redução de resistividade elétrica do concreto pelo fato de aumentar a retenção de umidade.

Para Ripper e Souza (1998), concretos com altas concentrações de Cl^- apresentam inconvenientes como:

- Endurecimento acelerado nos dias com altas temperaturas prejudicando o preenchimento de fôrmas e acabamento de superfícies;
- Aceleração da corrosão de armaduras que possuem pequeno cobrimento;
- Potencialização da ocorrência de corrosão eletroquímica em estruturas próximas a correntes elétricas de alta tensão;
- Agravamento da corrosão de chumbadores, conectores e peças metálicas embutidas e antecipação de corrosão de fôrmas metálicas galvanizadas não protegidas com óleo;
- Corrosão do alumínio e aceleração da corrosão do aço, quando empregados juntos no concreto (ex.: conduíte e chumbador de alumínio);
- Aumento da fissuração interna e superficial devido à retração do concreto que cresce aproximadamente com o quadrado da aceleração do endurecimento.

2.2.1.4. Reação Álcali-Agregado

Esse fenômeno foi explicado pela primeira vez no ano de 1940, em uma publicação de Stanton que foi baseada em sua análise de estruturas de concreto fissuradas no estado da Califórnia. Depois disso, o assunto passou a se desenvolver pelo mundo a fim de apontar a reação álcali-sílica como uma das fontes de degradação de estruturas em locais úmidos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A reação álcali-agregado, também conhecida como álcali-sílica ou RAS, ocorre entre álcalis e íons hidroxilas presentes na pasta cimentícia e alguns minerais silicosos reativos provenientes do agregado. Essa reação pode levar à expansão e à fissuração do concreto, como mostra a Figura 6 a seguir, causando perda de resistência e módulo de deformação (*id.*; *ib.*).



Figura 6. Expansão por reação álcali- agregado

Fonte: (<http://www.ibracon.org.br/eventos/55cbc/PDFS/phd.pdf>)

A reação mais frequente envolve sílica ativa e álcalis e pode possuir natureza desagregante gerando fissuras de 0,1-10mm. Essas fissuras, como visto na Figura anterior, normalmente não apresentam riscos à compressão do concreto, porém favorecem a penetração de agentes agressores (LANER, 2001).

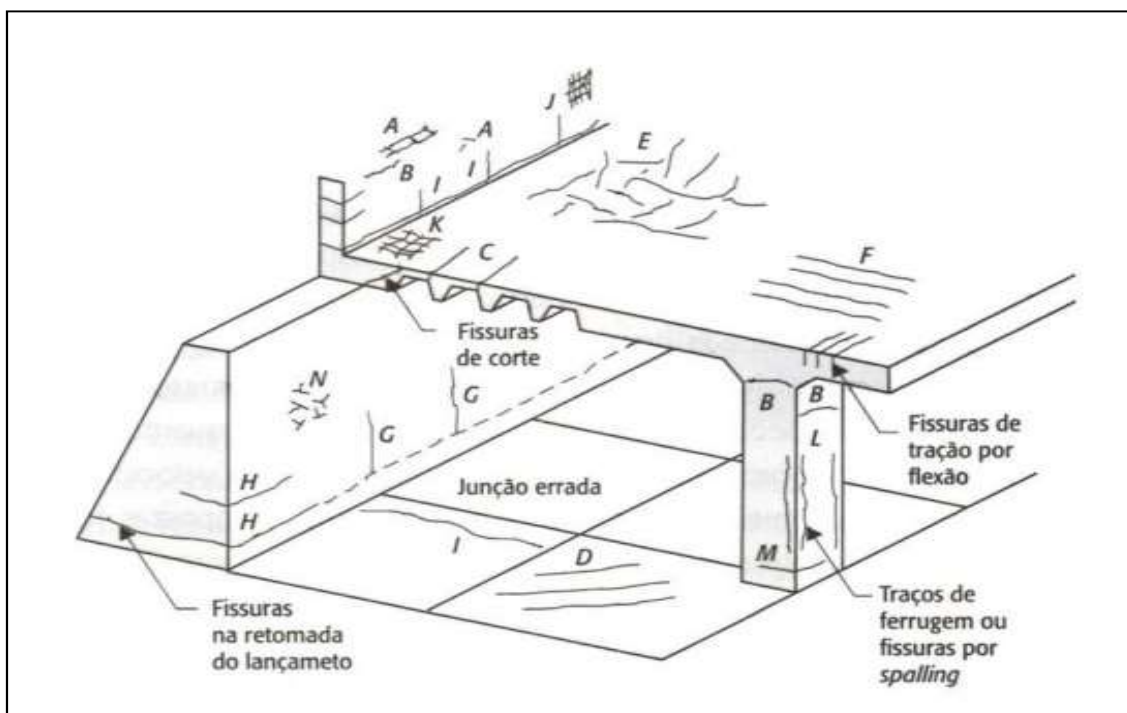
Para Ripper e Souza (1998), trata-se da interação da sílica reativa derivada de determinado agregado com hidróxido de sódio ou potássio oriundos

da hidratação do cimento ou da penetração de íons cloreto no concreto. Para que a reação ocorra é necessária temperatura ambiente adequada e, principalmente, umidade. A concentração de agregados reativos e de álcalis, bem como o tipo de cada um, também são elementos relevantes para sua ocorrência.

É importante realizar uma avaliação com a finalidade de evitar que o concreto seja prejudicado por essas reações. Essa análise é feita a partir do cálculo da probabilidade de sua ocorrência em função da existência ou não dos fatores determinantes. Para que isso ocorra deve ser realizado estudo químico dos compostos tanto do cimento como dos agregados. É de suma importância que esses procedimentos sejam repetidos em outras reações expansivas, tais como álcalis-dolomita, rochas caulinizadas e feldspato calcossódico com sulfatos (RIPPER E SOUZA, 1998).

2.2.1.5. Fissuras em Estrutura de Concreto

As fissuras no concreto são manifestações típicas de fenômenos de degradação da estrutura. De acordo com Bertolini (2010), a observação de fissuras em uma estrutura de concreto armado pode estar relacionada a diversas origens e pode estar limitada ao aspecto externo ou indicar problemas significativos de estrutura ou degradação. A evolução, podendo ser: paralela, perpendicular, irregular ou reproduzir todo o projeto das armaduras, se constitui um guia para reconhecer suas causas e origens da degradação (Figura 7).



Tipo de fissuração	Subdivisão	Posição mais provável	Fator principal	Fatores secundários	Tempo de aparecimento
Assentamento plástico	A Acima das armaduras	Seções espessas	Exsudação elevada	Rápida evaporação	De 10 minutos a 3 horas
	B Horizontal	Alto das pilastras			
	C Variação da espessura	Lajes finas			
Retração plástica	D Diagonais	Pavimentações	Secagem rápida	Exsudação	De 30 minutos a 6 horas
	E Casuais	Lajes c.a	Secagem rápida, baixo cobrimento		
	F Acima das armaduras	Lajes c.a			
Contrações térmicas prematuras	G Vinculos externos	Muros de grande espessura	Elevado calor de hidratação	Rápido resfriamento	De 1 dia a 3 semanas
	H Vinculos internos	Lajes de grande espessura	Elevada diferença de temperatura		
Retração higrométrica	I	Muros e lajes finos	Juntas ineficazes	Forte retração, cura insuficiente	Várias semanas ou meses
Microfissuras	J Contra a forma	Concreto aparente	Formas ineficazes	Mistura rica em cimento, má cura	1 a 7 dias, às vezes muito depois
	K Concreto segregado	Lajes	Excesso de acabamento		
Corrosão das armaduras	L Natural	Pilares e vigas	Pouco cobrimento	Concreto de má qualidade	Mais de 2 anos
	M Cloreto de cálcio	Obras pré-fabricadas	Excesso de CaCl_2		
Reação álcali-agregado	N	Zonas úmidas	Agregados reativos, elevado conteúdo de álcalis		Mais de 5 anos

Figura 7. Exemplos e causas de fissuras em estruturas de concreto

Fonte: (BERTOLINI,2010)

Para Thomaz (1989), dentre as manifestações patológicas que afetam os edifícios, sejam residenciais, comerciais ou institucionais, particularmente importante é o problema das trincas, devido segundo ele a três aspectos fundamentais:

- O aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura;
- O comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, etc.) e
- O constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre os usuários.

Ainda segundo Thomaz (1989), tendo que as fissuras são causadas por tensões oriundas de atuação de sobrecargas ou de movimentações de materiais, dos componentes ou da obra como um todo, temos analisados os seguintes fenômenos que causam fissuração e serão explicados nos próximos tópicos.

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões.
- Deformabilidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciados das fundações;
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos e
- Alterações químicas de materiais de construção.

De acordo com a norma NBR 6118/2014, item 4.2.2, considera que a fissuração é nociva ao concreto armado quando a abertura das fissuras na superfície do concreto ultrapassar os seguintes valores:

- a) 0,1 mm para peças não protegidas, em meio agressivo;
- b) 0,2 mm para peças não protegidas, em meio não agressivo;
- c) 0,3 mm para peças protegidas.

2.2.1.5.1. Movimentações Térmicas

Relacionadas com as propriedades físicas do material e com a intensidade da variação da temperatura. Como exemplo temos as fissuras provocadas por cura térmica do concreto resultantes do resfriamento brusco do concreto após processo de cura térmica. As temperaturas passam de temperaturas da ordem de 50 ou 60° C atingindo à temperatura ambiente, o concreto, portanto, sofre uma contração térmica que poderá induzir a formação de fissuras, essas facilitadas pela baixa resistência do material nas primeiras idades.

2.2.1.5.2. Movimentações Higroscópicas

Provocam variações nas dimensões dos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção, enquanto o aumento do teor de umidade provoca a expansão do material a diminuição do teor provoca a contração. As fissuras poderão ocorrer quando exista vínculos que impedem ou restrinjam as movimentações dos elementos e componentes do sistema construtivo.

2.2.1.5.3. Atuação de Sobrecargas ou Concentração de Tensões

As atuações de sobrecargas, sejam elas previstas ou não em projeto, pode produzir o fissuramento de componentes de concreto armado sem necessariamente implicar em ruptura do componente ou uma instabilidade da estrutura. O surgimento de fissuras em determinado componente da estrutura produz uma redistribuição de tensões ao longo do componente fissurado e até mesmo nos componentes vizinhos, ocasionando que a solicitação externa seja absorvida de forma global pela estrutura ou parte dela.

2.2.1.5.4. Deformabilidade excessiva de estruturas de concreto armado

Segundo a NBR 6118/2014 para projeto e execução de obras de concreto armado é estipulado as máximas flechas permissíveis para vigas e lajes:

- a) As flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão $1/300$ do vão teórico, exceto no caso de balanços para os quais não ultrapassarão $1/150$ do seu comprimento teórico;
- b) O deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a $1/500$ do vão teórico e $1/250$ do comprimento teórico dos balanços.

2.2.1.5.5. Recalques de fundação

Temos que as fissuras por recalques diferenciais são inclinadas, confundindo-se por vezes com as fissuras causadas por deflexão de componentes estruturais. Outra característica de fissuras por recalque consiste na presença de esmagamento localizados, em formato de escamas, como indícios das tensões de cisalhamento e quando recalques acentuados é possível observar variação na abertura da fissura.

2.2.1.5.6. Retração de produtos à base de cimento

Para atingir a trabalhabilidade necessária, muitas vezes, os concretos e argamassas são preparados com excesso de água o que acentua a retração. Vários são os fatores que interverem na retração dos produtos à base de cimento, sendo os principais:

- Composição química e finura do cimento: com a finura do cimento e com o seu conteúdo de cloretos (CaCl_2) e álcalis (NaOH , KOH) temos o aumento da retração;

- Quantidade de cimento adicionada à mistura: quanto maior o consumo de cimento maior a retração;
- Natureza do agregado: quanto menor o módulo de deformação do agregado, maior sua suscetibilidade à compressão isotrópica;
- Granulometria dos agregados: quanto maior a finura dos agregados, maior será a quantidade necessária de pasta de cimento para recobri-los;
- Quantidade de água na mistura: quanto maior a relação água/cimento, maior a retração de secagem;
- Condições de cura: caso a evaporação da água se inicie antes do término da pega do aglomerante, a probabilidade de retração aumenta.

2.2.1.5.7. Alterações químicas dos materiais de construção

Os materiais de construção independentemente de estarem em ambientes agressivos podem sofrer alterações químicas indesejáveis que resultam, por exemplo, em fissuras do componente. Dentre os tipos de alterações frequentes podemos mencionar a hidratação retardada de cales, ataque por sulfatos e corrosão de armaduras.

2.2.1.6. Inspeção em obras de arte especial

A NBR 9452:2016 especifica os requisitos exigidos para a realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e de apresentação dos resultados das inspeções.

De acordo com NBR 9452:2016 temos quatro tipos de inspeções:

- a) Cadastral: primeira inspeção realizada na obra, realizada imediatamente após sua conclusão

- b) Rotineira: realizado em período não superior a um ano, inspeção periódica, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais de acesso ou análise.
- c) Especial: realizada em período de cinco em cinco anos, inspeção detalhada com mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos elementos da obra de arte especial para formulação de diagnóstico e prognóstico.
- d) Extraordinária: inspeção geral por demandas não programadas, como exemplo: ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcações na obra.

Os critérios de classificação das OAE (obras de arte especial), segundo a NBR 9452:2016, se dividem em parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade, e correlaciona notas de acordo com a condição da OAE e os problemas observados conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Fonte: NBR 9452:2016.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

		restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.		
--	--	--	--	--

2.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTITATIVA DOS DANOS

No ano de 1987, a RILEM - International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structure, instituiu o Comitê técnico 104: Classificação de Danos de Estruturas de Concreto, ao qual, buscou-se unificar os métodos de testes e diagnóstico de estruturas na Europa.

De acordo com Neto (2013), o comitê técnico 104 destaca a importância da aplicação de sistemas de classificação quantitativa dos danos, com o propósito de minimizar a subjetividade dos dados e resultados obtidos.

Desde o início dos anos noventa, já se notava a preocupação com a durabilidade e a vida útil das estruturas, principalmente dada a ausência de manutenções preventivas no Brasil, embora não existisse normas para estabelecer critérios de manutenção.

Assim, começaram-se os estudos com objetivo de criar metodologias de avaliação estrutural, apresentadas por Castro (1994), Lopes (1998) e Boldo (2002).

A NBR 16230:2013 da ABNT entrou em vigor para estabelecer os requisitos de qualificação e certificação para profissionais que fazem inspeções de estruturas de concreto, visando avaliações mais precisas e embasadas o que conseqüentemente, minimizaria dados subjetivos coletados nas inspeções.

Com o intuito de aplicar um método com dados quantitativos, este trabalho apresentará a aplicação do grau de deterioração, em função da área

deteriorada pela área total dos elementos estruturais, ao qual, com as médias dos resultados por zona geográfica, obter-se-á o grau de deterioração por região de estudo. A metodologia utilizada será melhor explicitada no item 3.2 – metodologia de determinação do grau de deterioração.

3. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Este capítulo apresentará as passarelas em estudo e a zona de localização correspondente, a metodologia de determinação do grau de deterioração, como também, a inspeção das passarelas.

3.1. APRESENTAÇÃO DAS PASSARELAS E SUA ZONA DE LOCALIZAÇÃO

As sete passarelas inspecionadas compreendem três zonas da região metropolitana de São Paulo: zona leste com as passarelas 1, 2 e 3; zona sudeste com a 4 e 5; e zona oeste com as passarelas 6 e 7.

A Tabela 2, a seguir, relaciona as sete passarelas inspecionadas, indicando sua zona de localização na região metropolitana de São Paulo, o ano de construção e as características da estrutura, abrangendo a mesoestrutura, superestrutura, piso, guarda-corpo e o tipo de acesso de cada passarela.

Tabela 2. **Dados relativos às passarelas inspecionadas.** Fonte: CPTM e autores (2016).

PASSARELA	ZONA	ANO DE CONSTRUÇÃO	CARACTERÍSTICAS
1	Leste	1981	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: escada
2	Leste	1988	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: rampa
3	Leste	1982	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: escada

4	Sudeste	1981	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: escada e rampa
5	Sudeste	1989	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: rampa
6	Oeste	1979	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: rampa
7	Oeste	1982	Mesoestrutura: concreto Superestrutura: concreto Piso: cimentado Guarda-corpo: concreto Acesso: escada

Embora as passarelas sejam de três zonas distintas, a Tabela 2 mostra que as passarelas têm praticamente a mesma idade, com variação máxima de 10 anos: a mais antiga foi construída em 1979 (passarela 6) e a mais recente é de 1989 (passarela 5).

Além disso, todas possuem piso cimentado e a mesoestrutura, a superestrutura e o guarda-corpo em concreto. O que difere a construção das passarelas é o tipo de acesso, que pode ser escada ou rampa, ou ainda, uma combinação dos dois tipos.

A Figura 08, a seguir, expõe um mapa geral das vias férreas metropolitanas de São Paulo.



Figura 8. Vias férreas metropolitanas de São Paulo

Fonte: (<http://www.cptm.sp.gov.br/sua-viagem/Pages/Linhas.aspx>).

A Figura 8 mostra as linhas que compreendem as vias férreas da região metropolitana de São Paulo, sendo que, as passarelas inspecionadas pertencem a linha Coral (passarelas 1, 2 e 3); linha Turquesa (passarelas 4 e 5) e linha Rubi e Diamante (passarelas 6 e 7).

Na sequência, tem-se um mapa com a localização das passarelas inspecionadas (Figura 9).

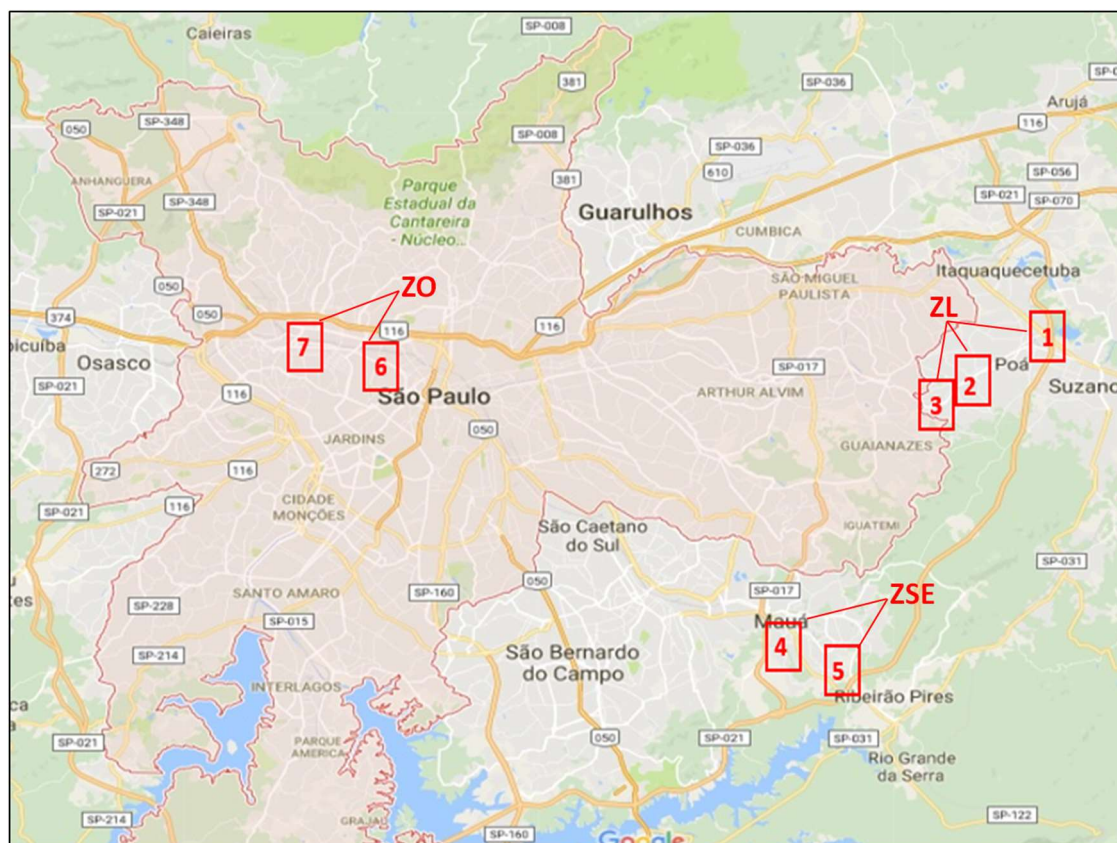


Figura 9. Passarelas inspecionadas

Fonte: Google Maps.

Na Figura 09, o mapa abrange a região metropolitana de São Paulo, ao qual, tem-se a localização das passarelas:

- Passarelas 1, 2 e 3: localizadas na zona leste (ZL) da região metropolitana de São Paulo, estando as passarelas 2 e 3 no município de São Paulo e a passarela 1 em Poá. A passarela 1 está a 8 km da Passarela 2 e esta encontra-se a 2 km da passarela 3.
- Passarelas 4 e 5: localizadas na zona sudeste (ZSE) da região metropolitana de São Paulo, a passarela 4 encontra-se na cidade de Mauá e a passarela 5, em Ribeirão Pires. Estas encontram-se a uma distância de 3 km entre si.
- Passarelas 6 e 7: localizadas na zona oeste (ZO) da região metropolitana de São Paulo, ambas estão situadas na cidade de São Paulo. Estas passarelas encontram-se 4 km distantes uma da outra.

3.2. INSPEÇÃO DAS PASSARELAS

Neste subcapítulo será dividido de forma que se apresentem os dados da inspeção das sete passarelas em análise, juntamente com as fotografias retiradas em campo e o mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

3.2.1. Passarela 1 – Calmon Viana

A passarela 1 foi inspecionada no dia 18 de setembro de 2016, é uma passarela de 35 anos de idade. A Figura 10 abaixo, mostra sua localização.

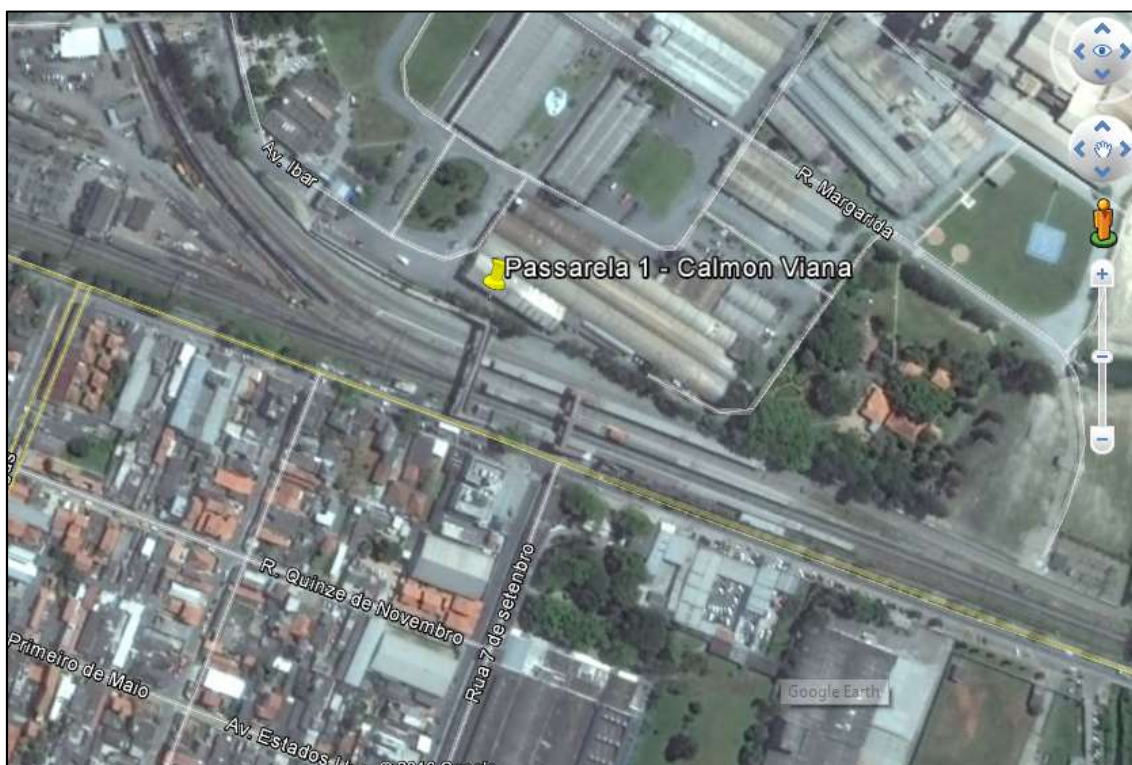
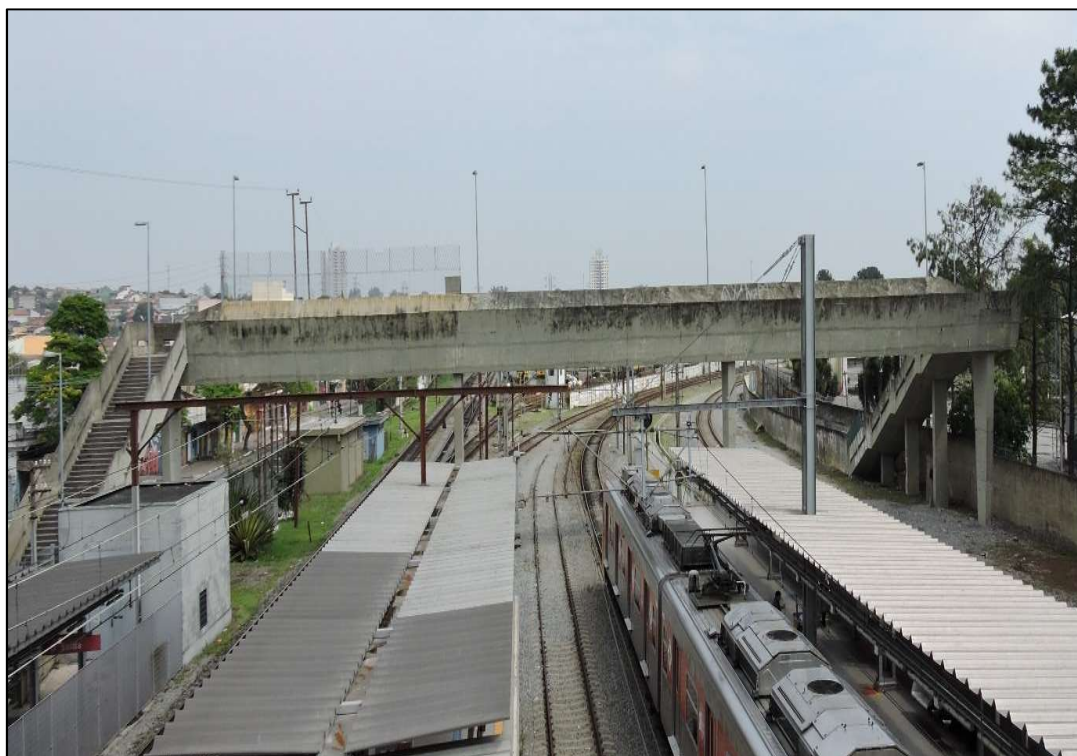


Figura 10. Localização da passarela vistoriada.

Fonte: *Google Earth*.

A passarela Calmon Viana está localizada na zona leste da região metropolitana de São Paulo, no bairro Calmon Viana, município de Poá. A passarela encontra-se em região de Zona Especial de Interesse Industrial, ao qual o uso é controlado e predominantemente industrial. A Fotografia 1, a seguir, mostra uma vista geral da passarela.



Fotografia 1. Vista geral da passarela Calmon Viana.

A passarela 1 tem comprimento total de 60 metros, sua estrutura é de concreto e seu acesso é realizado por meio de escadas (Fotografia 2).



(a)

(b)

Fotografia 2. Escadas de acesso:
(a) escada de acesso pela Av. Ibar;
(b) escada de acesso pela Av. Brasil

As escadas de acesso à passarela se dão pela Avenida Ibar e pela Avenida Brasil, ambas com aproximadamente 20 metros de comprimento cada. A Fotografia 03 mostrará uma vista geral do tabuleiro da passarela.



Fotografia 3. Vista geral do tabuleiro da passarela.

A Fotografia anterior ilustra o piso cimentado do tabuleiro da passarela. Já a Fotografia 4, abaixo, expõe-se algumas manifestações patológicas encontradas na passarela, como a corrosão da armadura e deslocamentos.



(a)

(b)

Fotografia 4. Manifestações Patológicas

- (a) corrosão da armadura no guarda-corpo do acesso;
(b) deslocamento no piso da escada de acesso.

As manifestações patológicas encontradas no levantamento de campo desta passarela foram a corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro, como também, deslocamentos no piso do acesso.

3.2.1.1. Mapeamento

Na sequência, será exposto o mapeamento das manifestações patológicas em estudo, que foram encontradas na passarela 1: Calmon Viana (Figura 12).

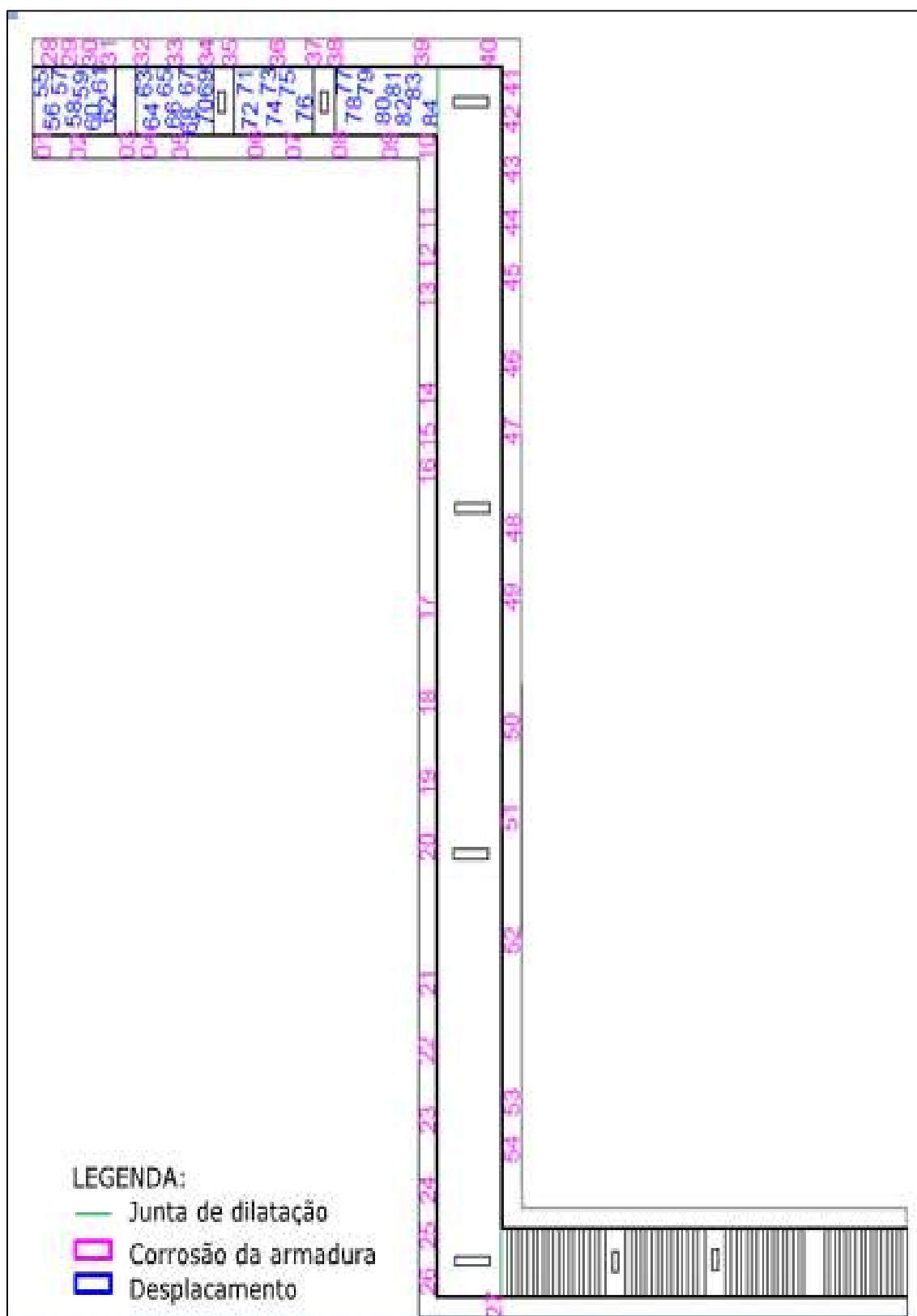


Figura 11. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

No mapeamento acima, pode-se observar os pontos onde foram encontradas as manifestações patológicas em estudo:

a) Corrosão da armadura (em magenta):

- No guarda-corpo do acesso: do ponto 01 ao 10;
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos de 11 à 54.

b) Desplacamento (na cor azul):

- No piso do acesso: do ponto 55 ao 84.

Cabe informar que, na inspeção realizada na passarela Calmon Viana, não foram encontradas fissurações, manifestação patológica também em estudo.

3.2.2. Passarela 2 – Vila ABC

A passarela 2 – Vila ABC foi inspecionada no dia 04 de setembro de 2016 e sua construção é datada do ano de 1988. A seguir, tem-se a localização da passarela vistoriada.

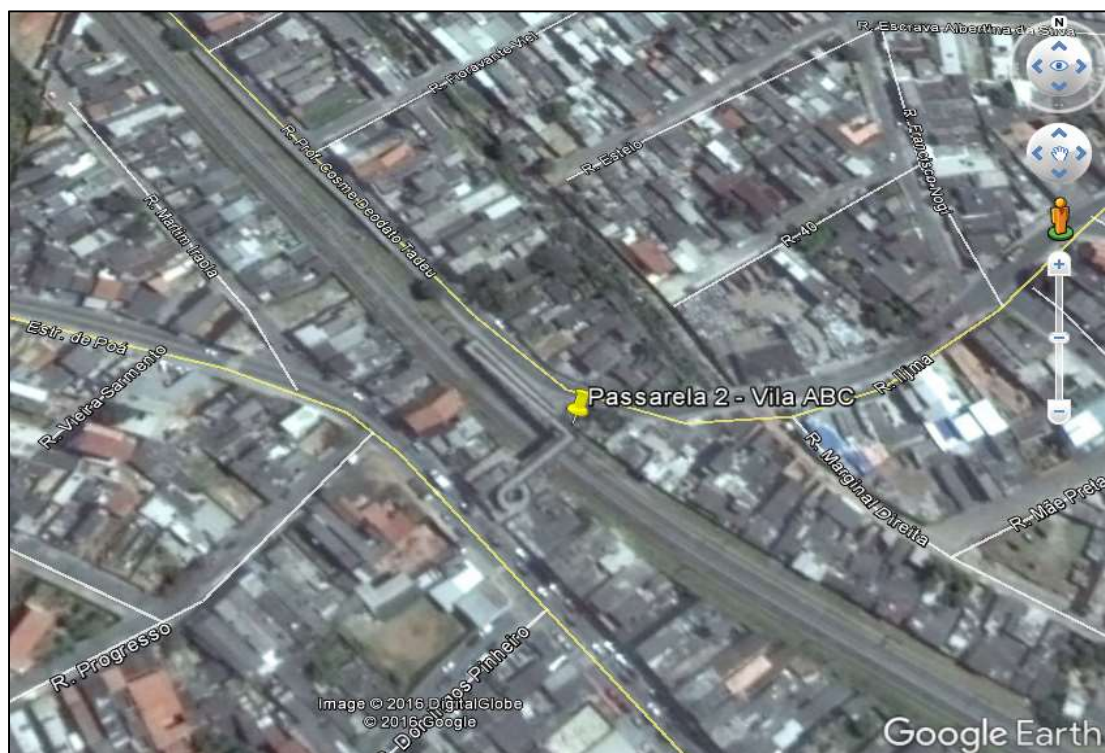


Figura 12. Localização da passarela vistoriada.

Fonte: *Google Earth*.

A passarela Vila ABC está localizada na zona leste do município de São Paulo, no bairro de Guaianazes. O zoneamento da região é dado como misto de baixa densidade. Este tem por objetivo gerar o desadensamento e a qualificação urbanística adequada à geomorfologia da região.

A Fotografia 5, a seguir, mostra uma vista geral da passarela.



Fotografia 5. Vista geral da passarela 2.

A passarela Vila ABC tem comprimento total de 25,28 metros, sua estrutura é de concreto e seu acesso é realizado por meio de rampas, como mostra a Fotografia 6.



(a)

(b)

Fotografia 6. Rampas de acesso

(a) rampa de acesso em formato caracol, dada pela Estrada Poá;

(b) rampa de acesso pela Rua Professor Cosme Deodato Tadeu

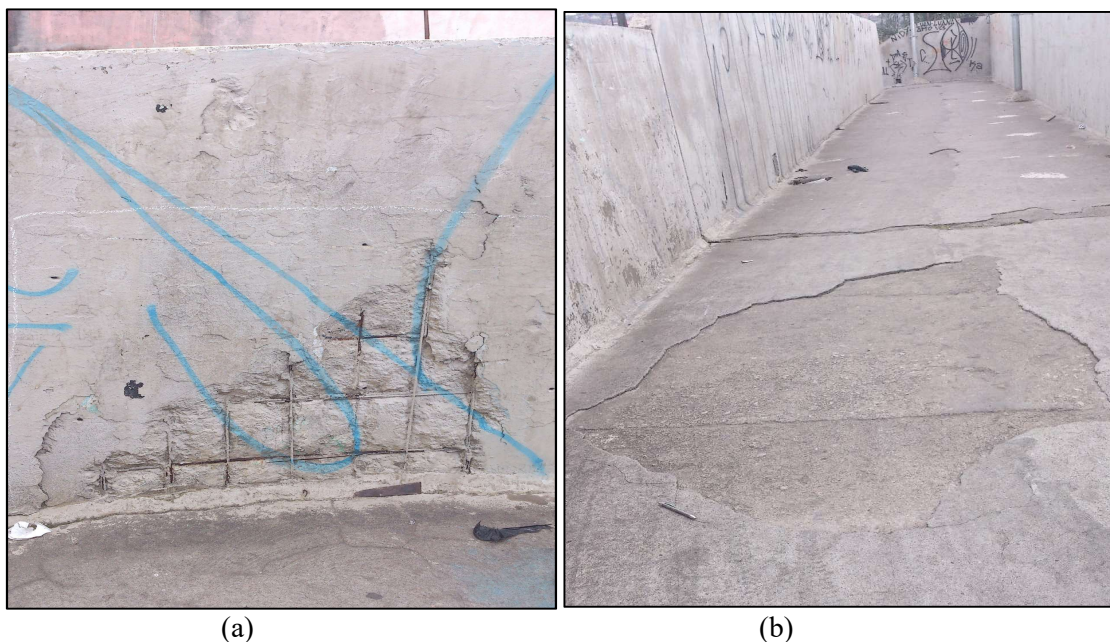
As rampas de acesso à passarela se dão pela Estrada Poá e pela Rua Professor Cosme Deodato Tadeu, sendo que uma das rampas tem formato

caracol (a). Na sequência, a Fotografia 7 ilustrará uma vista geral do tabuleiro da passarela.



Fotografia 7. Vista geral do tabuleiro da passarela.

A Fotografia 7 mostra o piso cimentado do tabuleiro da passarela e parte do guarda-corpo do tabuleiro. A Fotografia 08, a seguir, exhibe alguns dos danos encontrados na passarela da Vila ABC, como a corrosão da armadura e deslocamentos.



(a)

(b)

Fotografia 8. Manifestações Patológicas

(a) corrosão da armadura no guarda-corpo do tabuleiro;

(b) deslocamentos no piso da rampa de acesso.

Durante o levantamento de campo, foram observadas as seguintes manifestações patológicas: corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro, deslocamentos no piso do acesso e do tabuleiro, fissuração no guarda-corpo do acesso.

3.2.2.1. Mapeamento

O mapeamento das manifestações patológicas em estudo, verificadas durante a inspeção da passarela 2 – Vila ABC, serão reportadas na Figura 13.

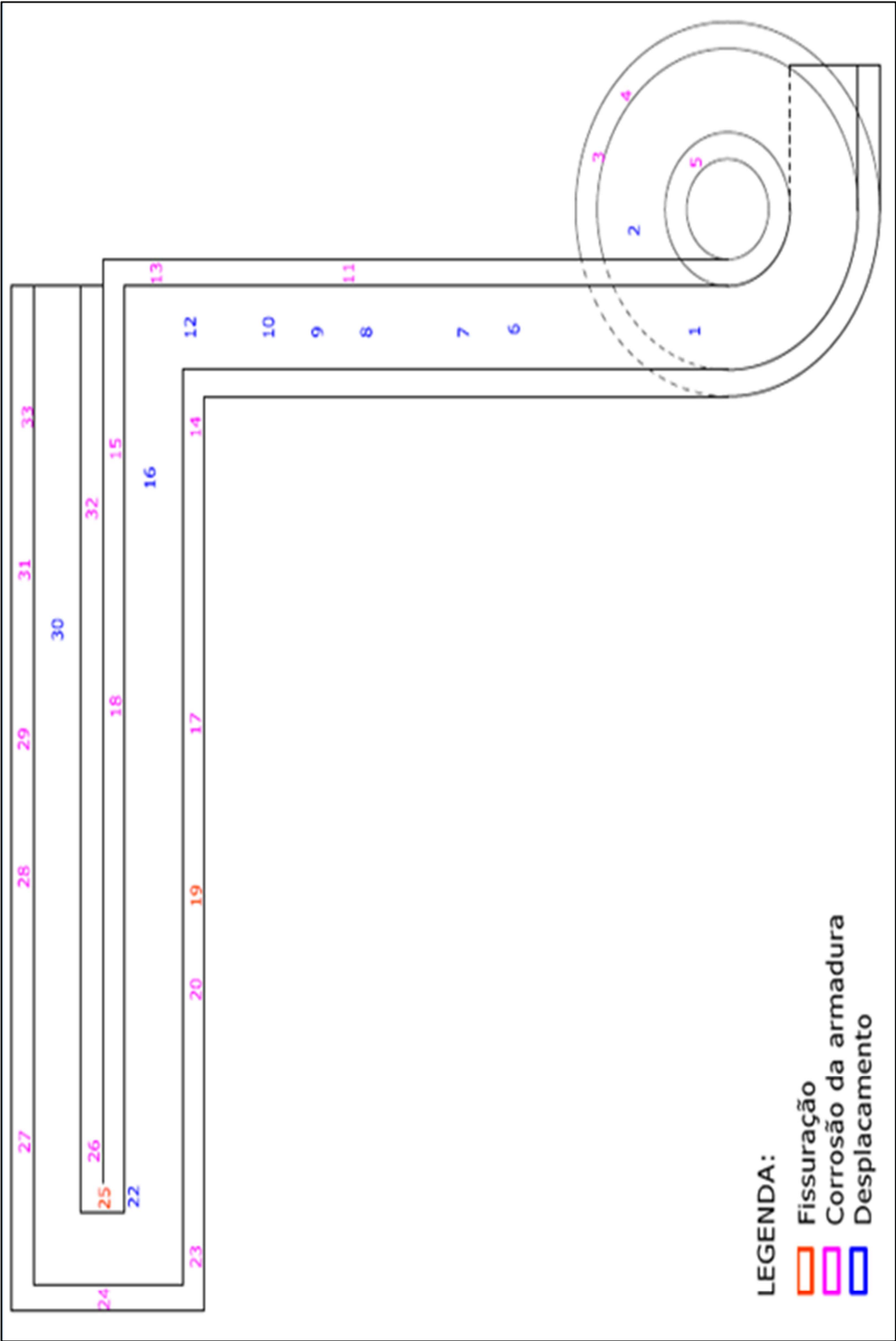


Figura 13. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

A Figura 13 apresenta o mapeamento, com os pontos onde visualizaram-se as manifestações patológicas em estudo, que serão apresentadas na sequência:

- a) Corrosão da armadura (em magenta):
 - No guarda-corpo do acesso: pontos de 03 à 05; 14 e 15; 17 e 18; 20; 23 e 24; 26 à 29; e 31 à 33.
 - No guarda-corpo do tabuleiro: pontos 11 e 13.
- b) Desplacamento (na cor azul):
 - No piso do acesso: pontos 01 e 02; 16; 22 e 30.
 - No piso do tabuleiro: pontos de 06 à 10; e 12.
- c) Fissuração (em laranja):
 - No guarda-corpo do acesso: pontos 19 e 25.

3.2.3. Passarela 3 –Vila Gertrudes

No dia 04 de setembro de 2016, ocorreu a inspeção da passarela 3 – Vila Gertrudes, passarela esta que foi construída no ano de 1982. A Figura 14 apresenta a localização desta.

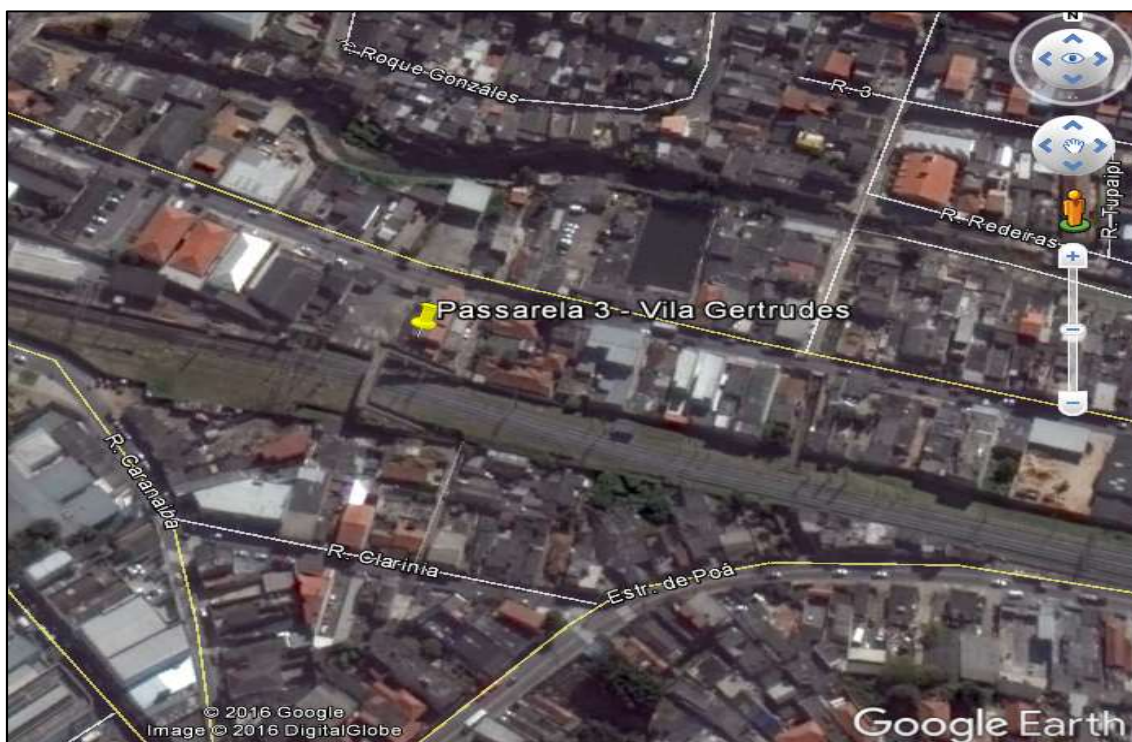


Figura 14. Localização da passarela vistoriada.
Fonte: *Google Earth*.

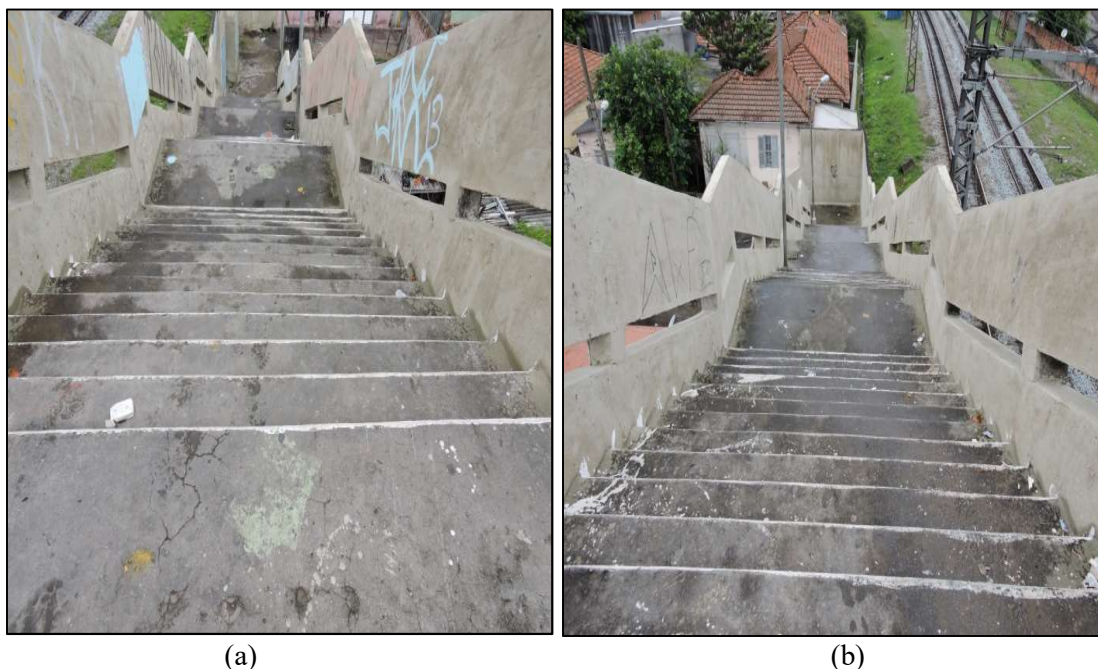
A passarela Vila Gertrudes está situada na zona leste da cidade de São Paulo, no bairro de Guaianazes. Tal como o zoneamento da passarela 2, esta também se encontra em zona mista de baixa densidade.

A Fotografia 09, a seguir, mostra uma vista geral da passarela.



Fotografia 9. Vista geral da passarela 3.

A passarela Vila Gertrudes tem comprimento de 28,54 metros, sua estrutura é de concreto e seu acesso é realizado por meio de escadas, de acordo com a Fotografia 10.



(a)

(b)

Fotografia 10 Escada de acesso

(a) escada de acesso pela Rua Clarínia;

(b) escada de acesso pela Rua Professor Cosme Deodato Tadeu.

As escadas de acesso à passarela se dão pela Rua Clarínia e pela Rua Professor Cosme Deodato Tadeu, ambas com cerca de 24 metros de comprimento cada. A Fotografia 11 mostrará uma vista geral do tabuleiro.



Fotografia 11. Vista geral do tabuleiro da passarela.

A Fotografia 11 exhibe o tabuleiro da passarela, com seu piso cimentado. Na Fotografia 12 a seguir, visualizam-se algumas das manifestações patológicas encontradas na passarela.



(a)

(b)

Fotografia 12. Manifestações Patológicas

(a) corrosão da armadura no guarda-corpo do acesso;

(b) deslocamento no piso da escada de acesso.

As manifestações patológicas deparadas durante a inspeção da passarela, são a corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro e no piso do acesso, assim como, deslocamentos nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro e nos pisos do acesso e do tabuleiro.

3.2.3.1. Mapeamento

A seguir, pode-se visualizar o mapeamento das manifestações patológicas inspecionadas na passarela 3 (Figura 15).

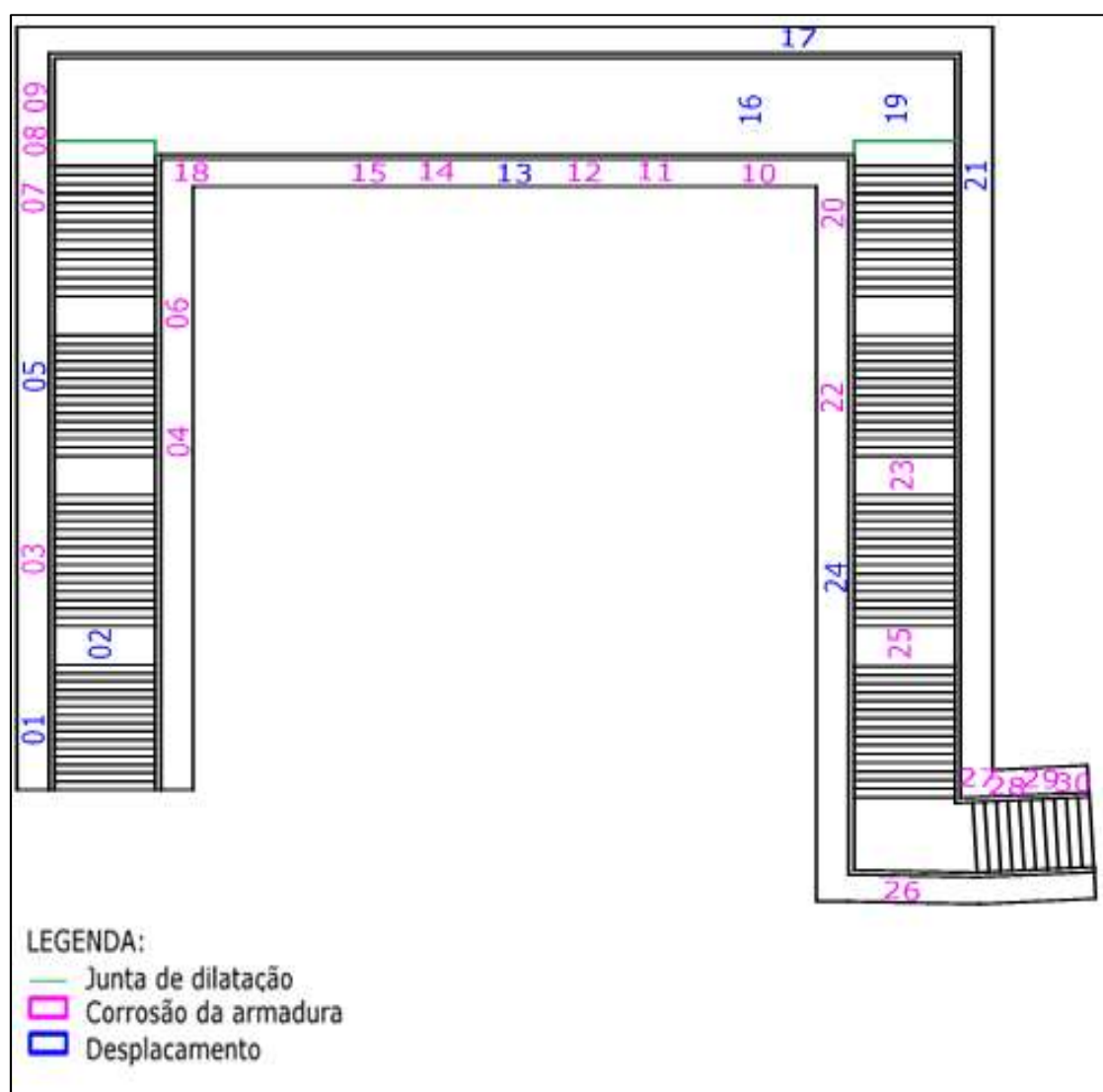


Figura 15. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

Em análise ao mapeamento da Figura 15, nota-se os pontos onde localizou-se as manifestações patológicas em estudo:

a) Corrosão da armadura (em magenta):

- No guarda-corpo do acesso: pontos 03 e 04; 06 e 07; 20; 22; e do 26 ao 30.
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos de 08 à 12; 14 e 15; e 18.
- Piso do acesso: pontos 23 e 25.

b) Desplacamento (na cor azul):

- No guarda-corpo do acesso: pontos 01; 05; 21 e 24.
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos 13 e 17.
- No piso do acesso: ponto 02.
- No piso do tabuleiro: pontos 16 e 19.

Na passarela 3 – Vila Gertrudes, não foram encontradas fissurações durante a realização da inspeção.

3.2.4. Passarela 4 – Vila Augusto

A passarela 4 – Vila Augusto, foi inspecionada no dia 17 de setembro de 2016, é uma passarela com idade de 35 anos e a Figura 16 abaixo, mostra sua localização.

Fonte: *Google Earth*.

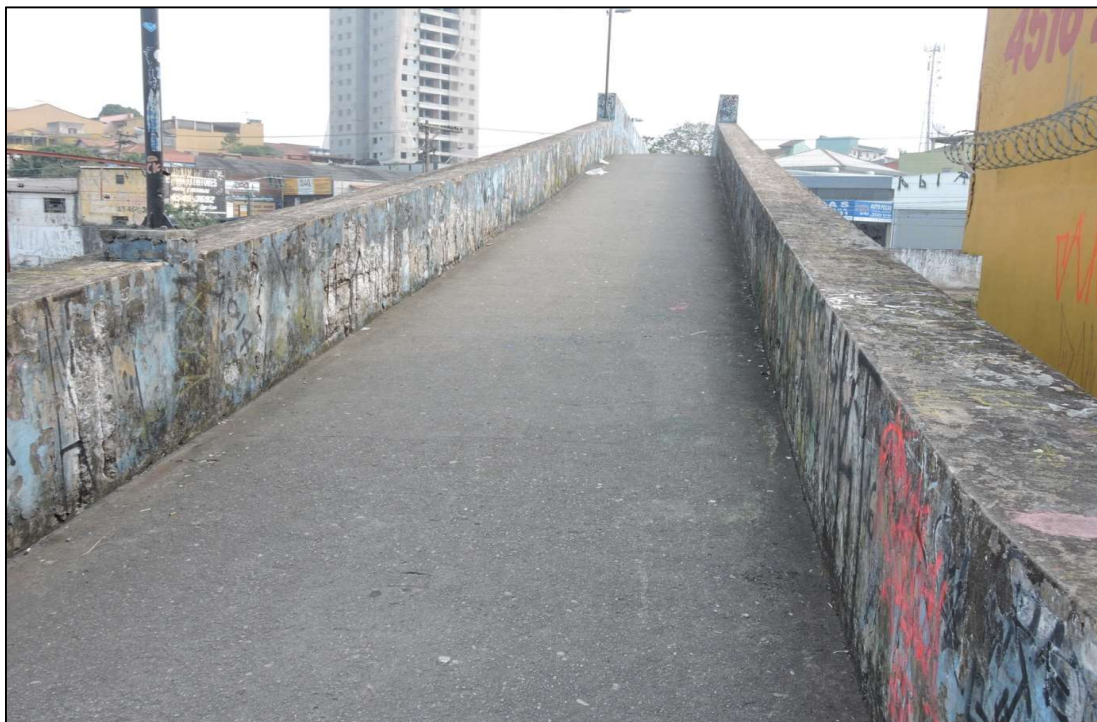
Fotografia 13. Vista geral da passarela Vila Augusto.

A passarela 4 tem comprimento total de aproximadamente 53,30 metros, sendo o concreto material utilizado em sua estrutura e o acesso é realizado por meio de escadas e rampa, como mostra a Fotografia 14, abaixo.



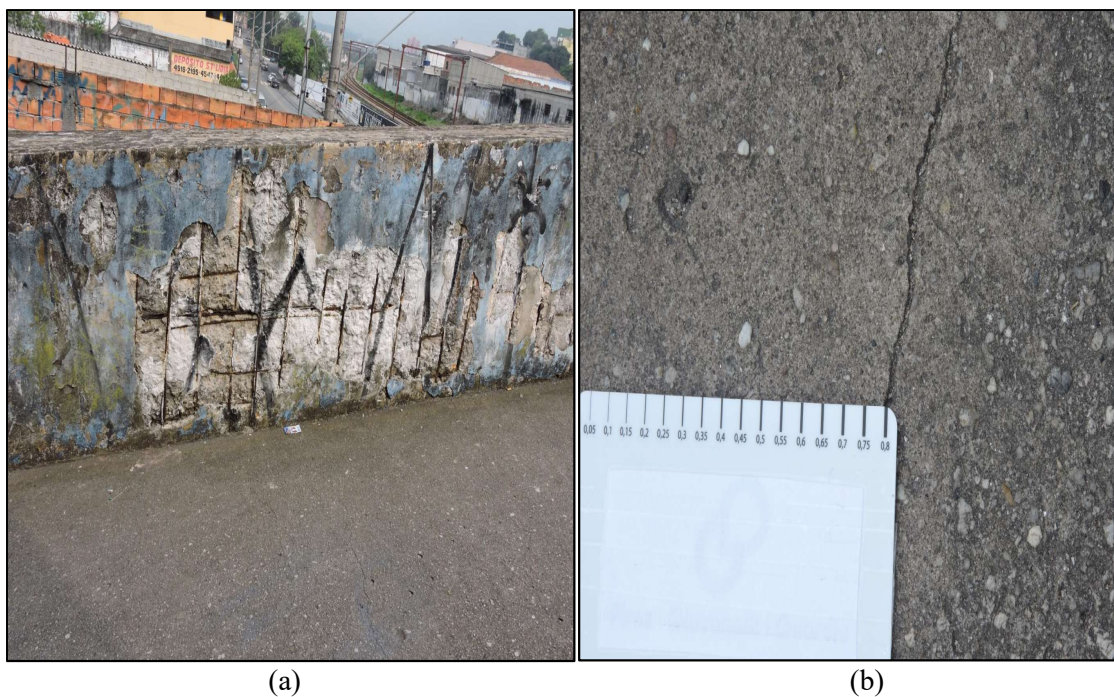
(a) (b)
Fotografia 14. Escada e rampa de acesso
(a) escada de acesso pela Rua Rio Branco;
(b) rampa de acesso pela Avenida Capitão João.

Os acessos à passarela 4 são mistos: pela Avenida Capitão João, o acesso é feito por uma pequena escada com cerca de 6 metros de comprimento e continua-se por rampa de 24,80 metros de comprimento (b). Já o acesso pela Rua Rio Branco, é realizado apenas por escada (a). A Fotografia 15 apresentará uma vista geral do tabuleiro da passarela 4.



Fotografia 15. Vista geral do tabuleiro da passarela Vila Augusto.

Pode-se perceber na fotografia acima, o piso cimentado do tabuleiro da passarela. Na sequência, a Fotografia 16 ilustra algumas das manifestações patológicas em estudo, que foram visualizadas na passarela 4.



(a)

(b)

Fotografia 16. Manifestação Patológica.

(a) corrosão da armadura no guarda-corpo do tabuleiro;

(b) fissura no piso da rampa de acesso.

As manifestações patológicas encontradas nesta passarela no decorrer da inspeção foram: corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro, deslocamento no piso do tabuleiro e fissuração, tanto no piso do acesso quanto no piso do tabuleiro.

3.2.4.1. Mapeamento

O mapeamento, apresentado abaixo, ilustra as manifestações patológicas da passarela Vila Augusto, de acordo com o encontrado em campo.

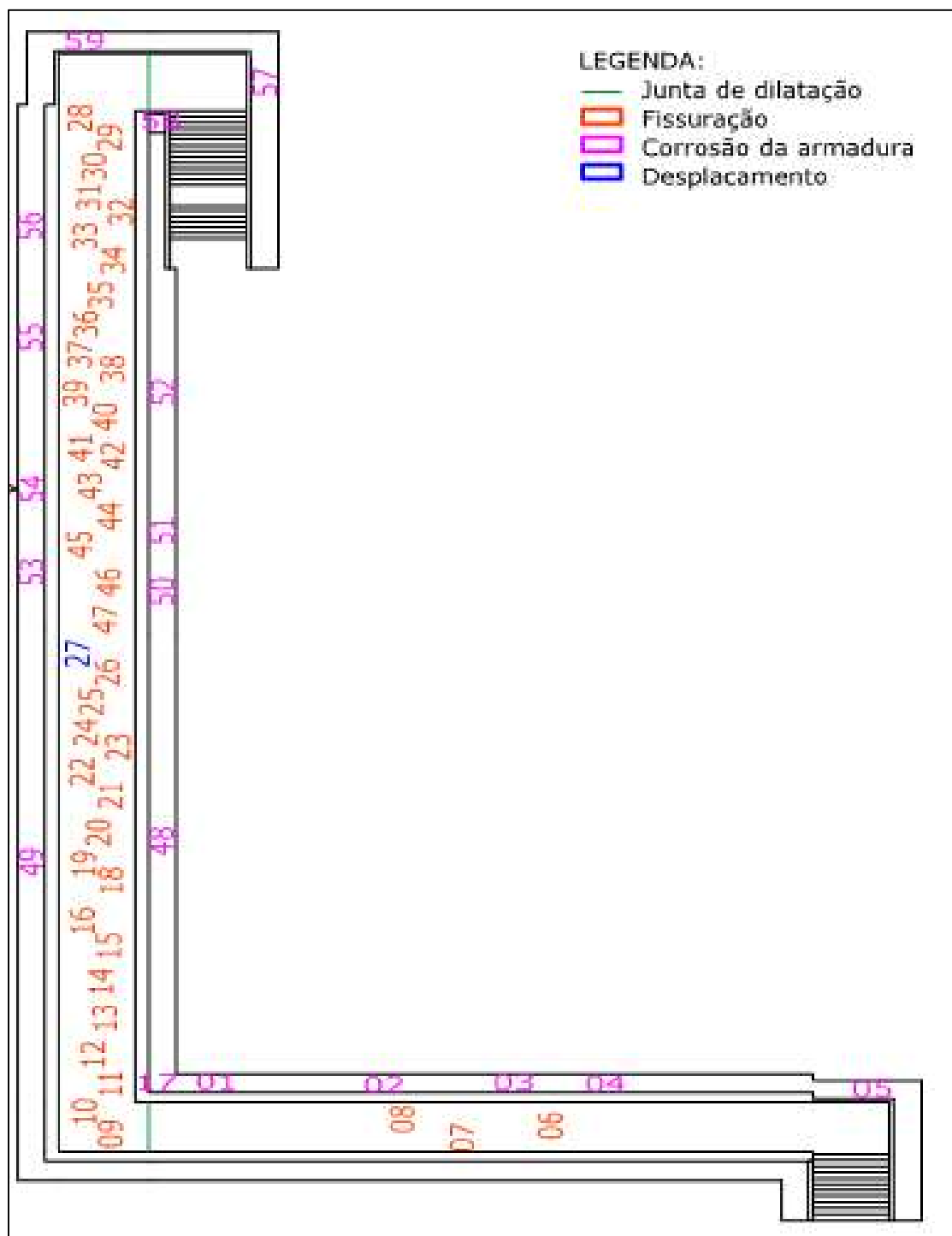


Figura 17. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

Conforme o mapeamento das manifestações patológicas encontradas na inspeção da passarela Vila Augusto, pode-se analisar:

a) Corrosão da armadura (em magenta):

- No guarda-corpo do acesso: pontos de 01 à 05; 57 e 58.
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos 17; do 48 à 56; 59.

b) Deslocamento (em azul):

- No piso do tabuleiro: ponto 27.

c) Fissuração (em laranja):

- No piso do acesso:
- No piso do tabuleiro:

3.2.5. Passarela 5 – Vila Gomes

A inspeção à passarela 5 – Vila Gomes, ocorreu no dia 02 de outubro de 2016, sendo que, dentre as passarelas em estudo, esta foi a construída mais recentemente, no ano de 1989. Tem-se abaixo, a localização desta passarela (Figura 18).

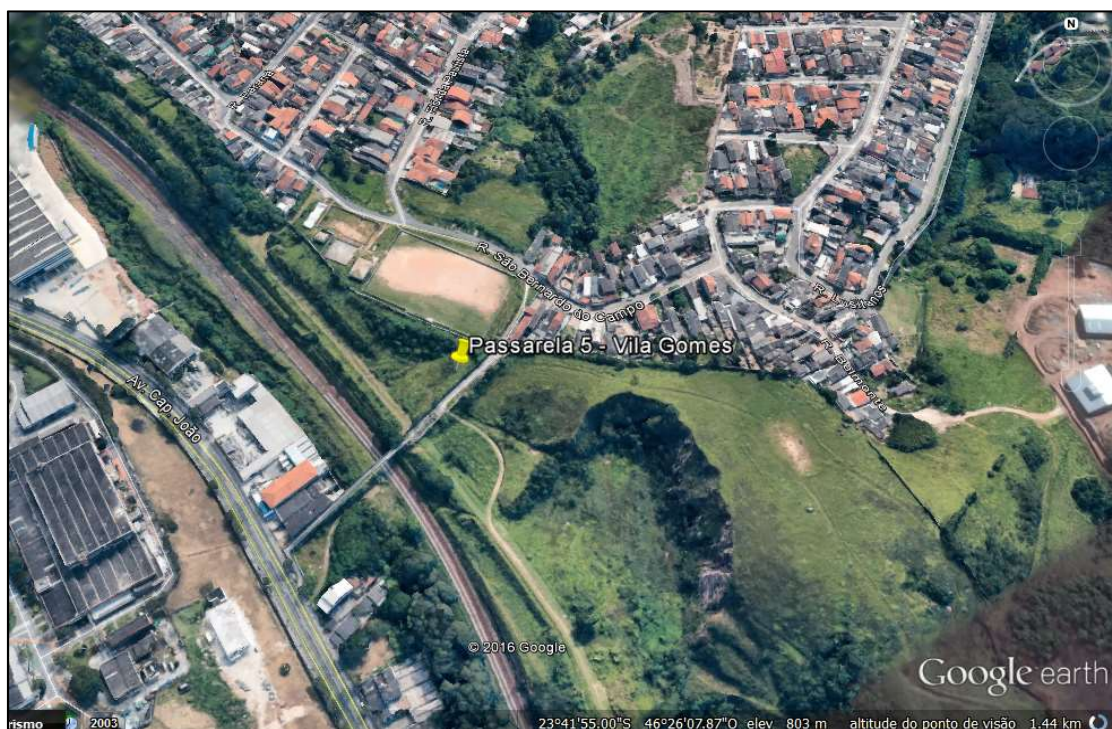


Figura 18. Localização da passarela Vila Gomes.

Fonte: *Google Earth*.

A passarela Vila Gomes situa-se na zona sudeste da região metropolitana de São Paulo, no bairro Vila Gomes, município de Ribeirão Pires. O zoneamento é misto, estando a passarela entre ocupação urbana controlada e ocupação de baixa densidade. A Fotografia 17, a seguir, ilustrará uma vista geral da passarela.



Fotografia 17. Vista geral da passarela 5.

A passarela Vila Gomes tem comprimento total de cerca de 97,50 metros, onde 73,80 metros de seu tabuleiro é em declive e 23,70 metros é em forma de arco. A estrutura da passarela é em concreto e os acessos são realizados por meio de rampas, como expõe a Fotografia 18.



Fotografia 18. Rampas de acesso
(a) rampa de acesso pela Avenida Humberto de Campos;
(b) rampa de acesso pela Rua São Bernardo do Campo.

Os dois acessos à passarela são realizados por rampas, sendo que um dos acessos é pela Avenida Humberto de Campos (a), com cerca de 19,00 metros de comprimento e o outro acesso é pela Rua São Bernardo do Campo (b), com comprimento acerca de 7,20 metros. Uma vista geral do tabuleiro da passarela pode ser vista na Fotografia 19.

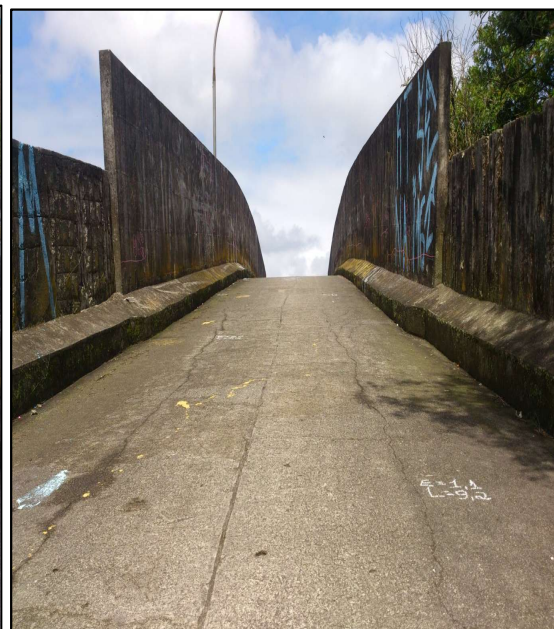


Fotografia 19. Vista geral do tabuleiro da passarela Vila Gomes.

A Figura 19 mostra o piso cimentado do tabuleiro em declive. A Fotografia 20, abaixo, contém alguns dos danos inspecionados na passarela.



(a)



(b)

Fotografia 20. Manifestação Patológica
(a) corrosão da armadura e deslocamento no guarda-corpo do tabuleiro;
(b) Fissuras longitudinais no piso da rampa de acesso.

As manifestações patológicas encontradas no levantamento de campo desta passarela foram a corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro, deslocamentos no guarda-corpo de acesso e do tabuleiro, deslocamentos no piso do tabuleiro, assim como, fissuração no piso do acesso e do tabuleiro.

3.2.5.1. Mapeamento

A seguir, apresentar-se-á o mapeamento das manifestações patológicas em estudo, as quais foram encontradas na passarela 5: Vila Gomes (Figura 20).

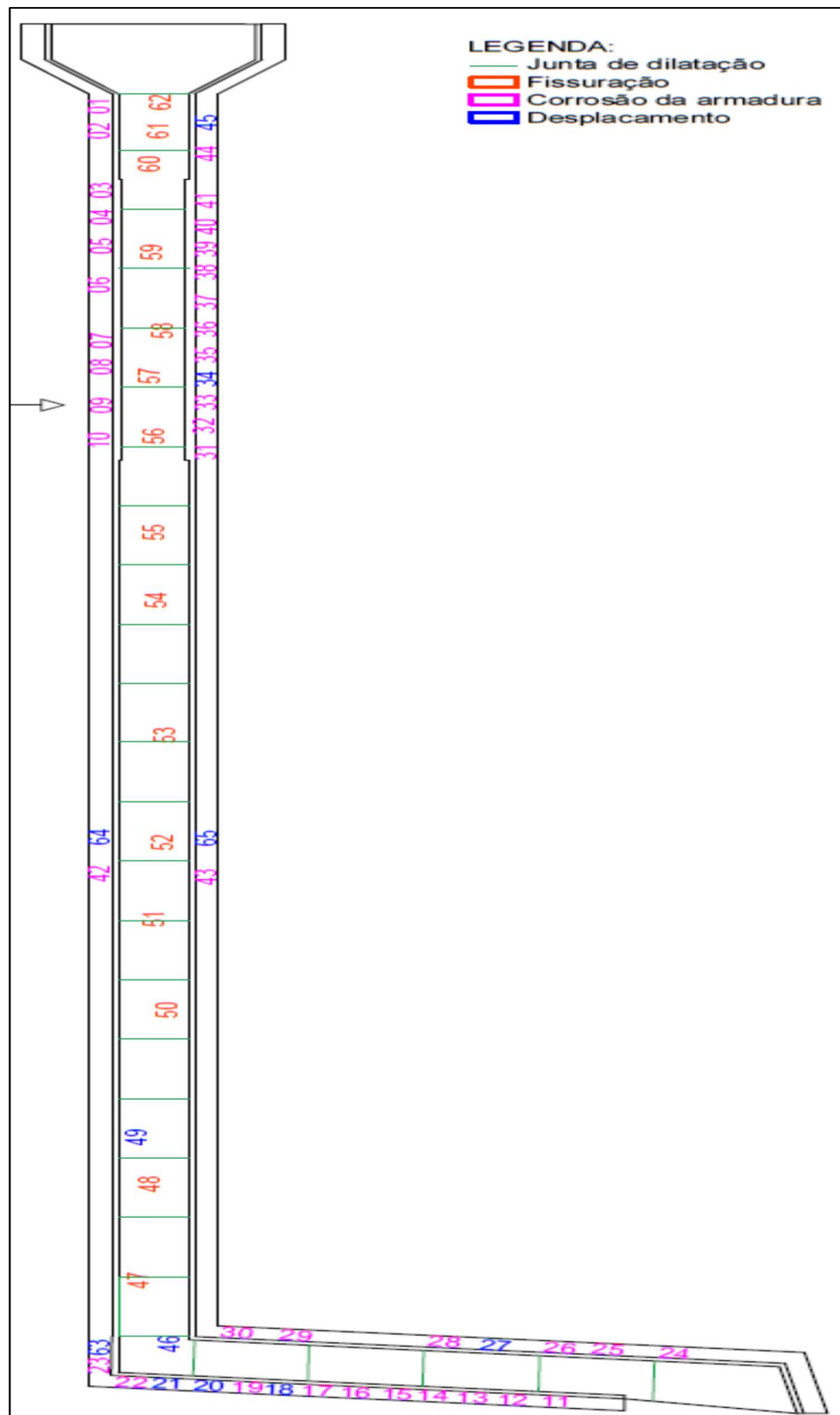


Figura 19. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas

No mapeamento acima, pode-se verificar os pontos onde foram encontrados os danos em estudo:

a) Corrosão da armadura (em magenta):

- No guarda-corpo do acesso: pontos 01 e 02; de 11 à 17; 19; 24 à 26; do 28 à 30; e 44.
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos de 03 à 10; 22 e 23; 31 à 33; do 35 ao 43.

b) Deslocamento (na cor azul):

- No guarda-corpo do acesso: pontos 18; 20 e 21; 27 e 45.
- No guarda-corpo do tabuleiro: pontos 34; e do 63 à 65.
- No piso do tabuleiro: pontos 46 e 49.

c) Fissuração (na cor laranja):

- No piso do acesso: pontos do 60 ao 62.
- No piso do tabuleiro: pontos 47; 48; e de 50 à 59.

3.2.6. Passarela 6 – Rua Luigi Greco

A passarela a seguir foi inspecionada no dia 02 de outubro de 2016, está localizada no bairro Santa Cecília, na zona oeste do município de São Paulo (conforme Figura 20) e sua construção é datada do ano de 1979, sendo a mais antiga dentre as passarelas analisadas neste estudo.



Figura 20. Localização da passarela vistoriada.
Fonte: *Google Earth*.

A passarela Luigi Greco está localizada na zona oeste do município de São Paulo, no bairro Santa Cecília. A passarela 6 encontra-se em região de zona mista de alta densidade. A Fotografia 21, a seguir, mostra uma vista geral da passarela.



Fotografia 21. Vista geral da passarela Calmon Viana.

A passarela Luigi Greco tem comprimento acerca de 23,90 metros, sua estrutura é de concreto e seu acesso é realizado por meio de rampas, conforme mostra a Fotografia 22.



(a)

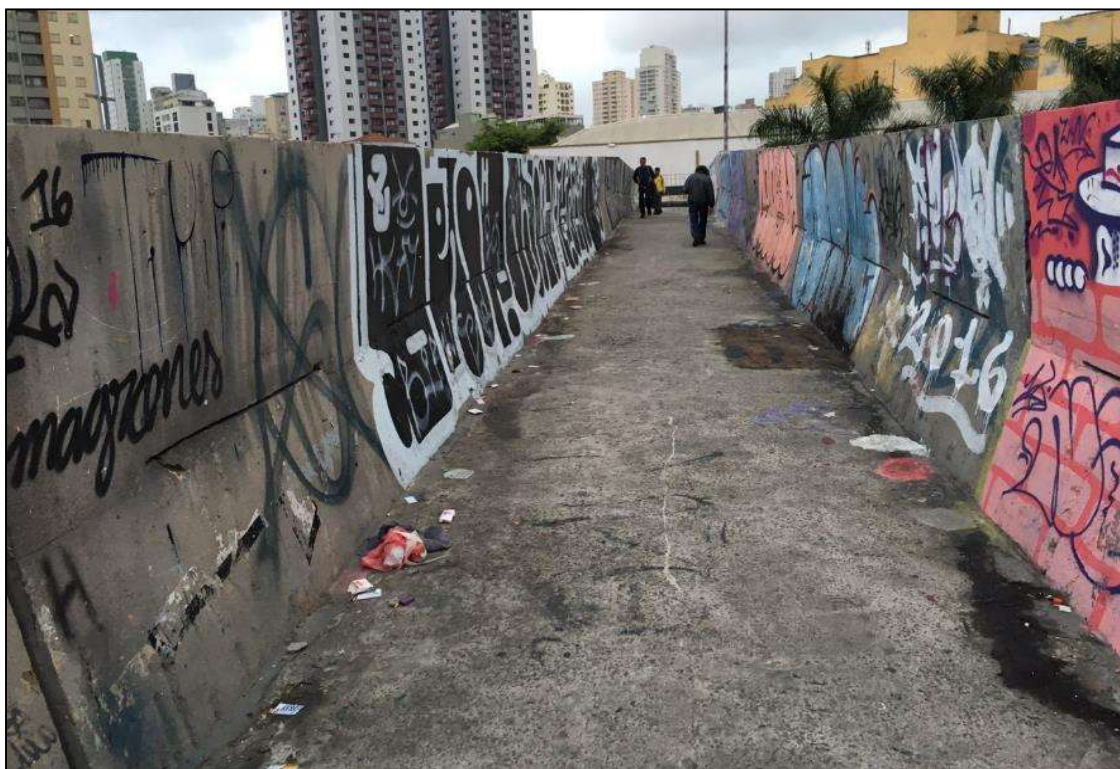
(b)

Fotografia 22. Rampa de acesso

(a) rampa de acesso pela Rua Capistrano de Abreu;

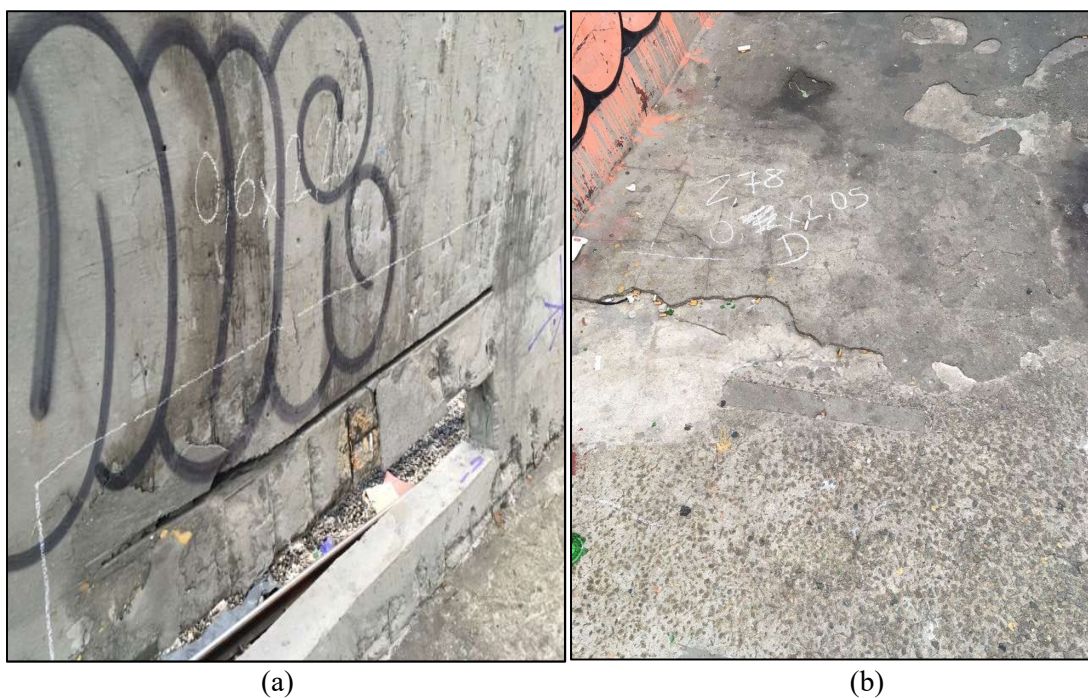
(b) rampa de acesso pela Rua Luigi Greco.

As rampas de acesso à passarela se dão pela Rua Capistrano de Abreu (a) e pela Rua Luigi Greco, ambas com aproximadamente 37,10 metros de comprimento cada. A Fotografia a seguir, mostrará uma vista geral do tabuleiro da passarela.



Fotografia 23. Vista geral do tabuleiro da passarela.

A Fotografia 23 exhibe o tabuleiro da passarela com piso cimentado. Já a Fotografia 24, abaixo, apresenta alguns dos danos encontrados na passarela.



(a)

(b)

Fotografia 24: Manifestação Patológica

- (a) corrosão da armadura no guarda-corpo do acesso;
- (b) deslocamento no piso do tabuleiro.

As manifestações patológicas verificadas durante a inspeção desta passarela foram a corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro e no piso do tabuleiro, deslocamentos no piso do acesso e do tabuleiro, bem como, fissuração no piso do acesso e do tabuleiro.

3.2.6.1. Mapeamento

A Figura 21 apresenta o mapeamento das manifestações patológicas que foram encontradas na passarela 06: Luigi Greco.

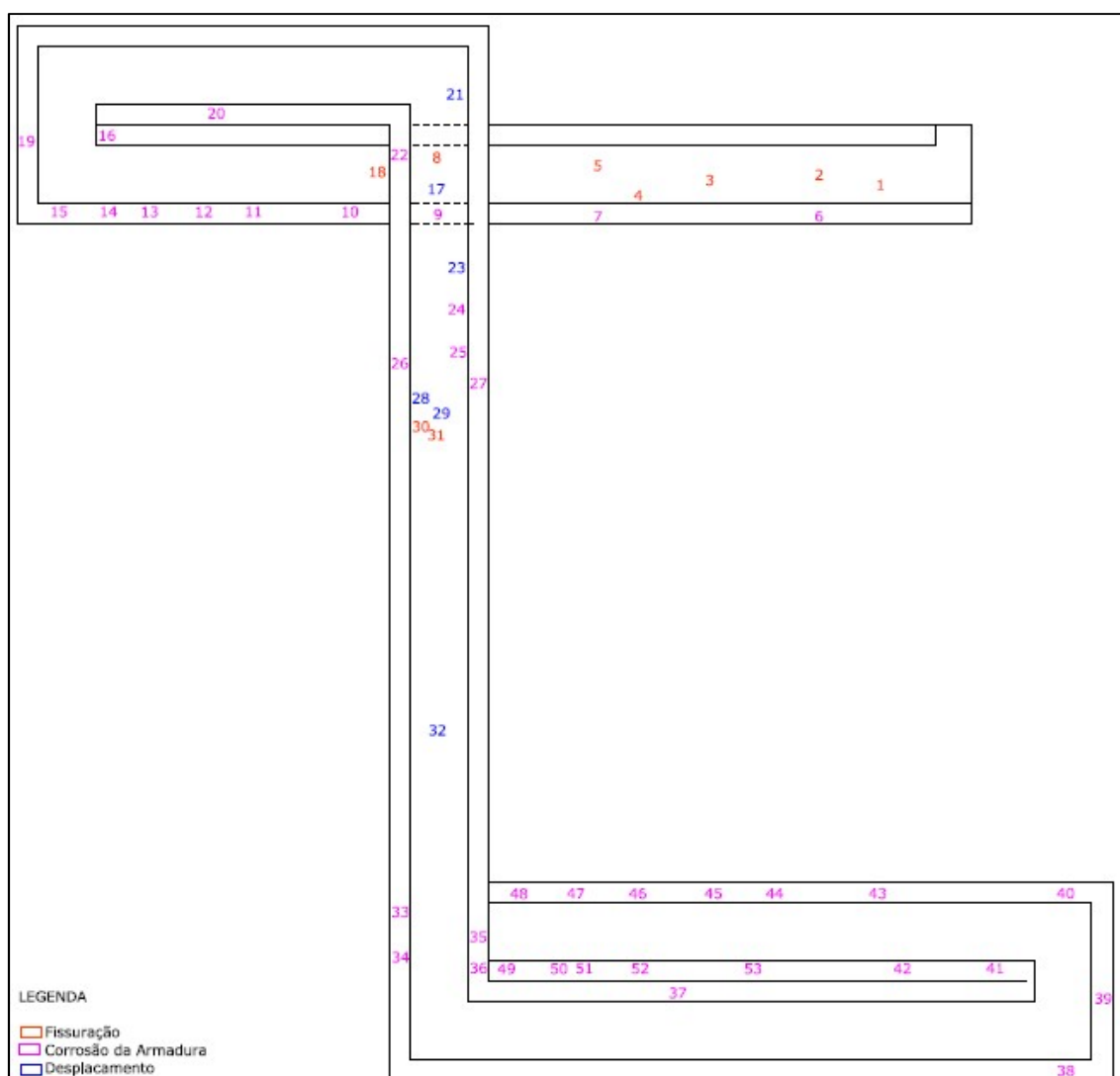


Figura 21. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas.

No mapeamento acima, pode-se observar os pontos onde foram encontradas as manifestações patológicas em estudo:

a) Corrosão da armadura (em magenta):

- No guarda-corpo do acesso: pontos 06 e 07; de 09 à 16; 19 e 20; e de 37 à 53.
- No guarda-corpo do tabuleiro: os pontos 22; 26 e 27; 33 à 36.
- No piso do tabuleiro: pontos 24 e 25.

b) Desplacamento (na cor azul):

- No piso do acesso: ponto 17.
- No piso do tabuleiro: pontos 21; 23; 28 e 29; 32.

c) Fissuração (na cor laranja):

- No piso do acesso: pontos de 01 à 05; 8 e 18.
- No piso do tabuleiro: os pontos 30 e 31.

3.2.7. Passarela 7 – Rua do Curtume

A passarela a seguir foi inspecionada no dia 24 de setembro de 2016, está localizada no bairro Água Branca, na zona sudeste da cidade de São Paulo e sua construção é datada do ano de 1982. A Figura 22 mostra a localização desta passarela.



Figura 22. Localização da passarela vistoriada.
Fonte: *Google Earth*.

A passarela Rua do Curtume situa-se na zona oeste do município de São Paulo, no bairro Água Branca, encontra-se em zona mista de alta densidade demográfica e construtiva. A seguir, apresenta-se uma vista geral da passarela (Fotografia 25).



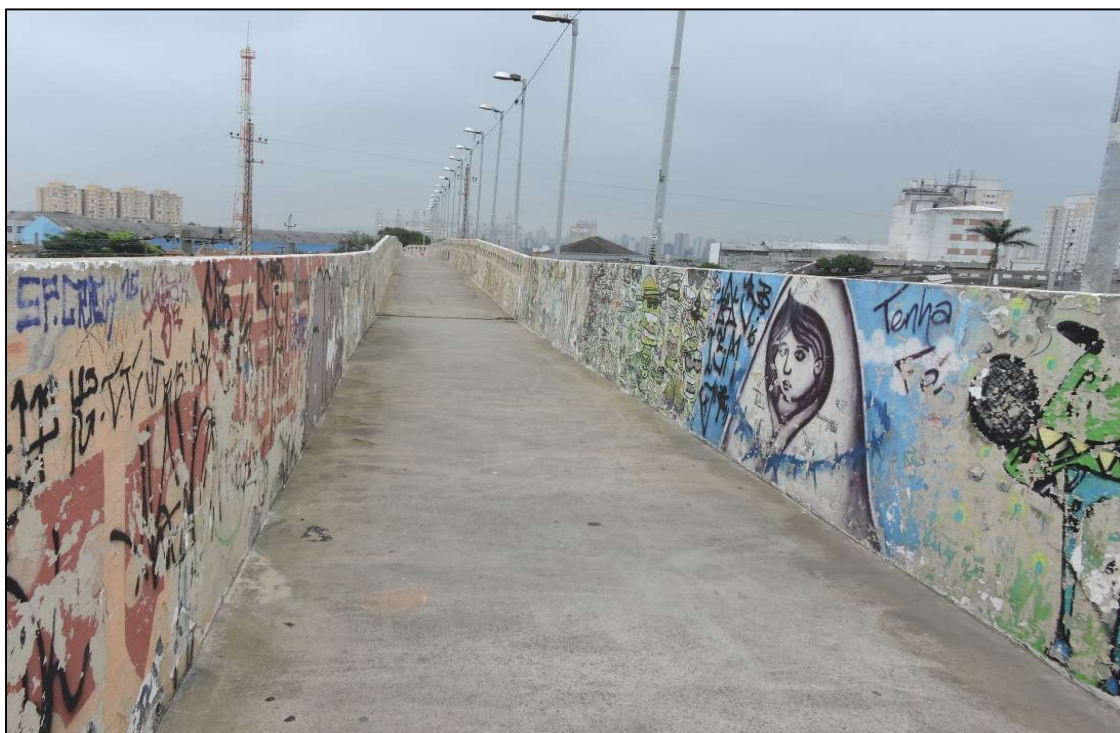
Fotografia 25. Vista geral da passarela 7.

A passarela Rua do Curtume tem aproximadamente 95,80 metros de comprimento, sua estrutura é de concreto e seu acesso é realizado por meio de escadas (Fotografia 26).



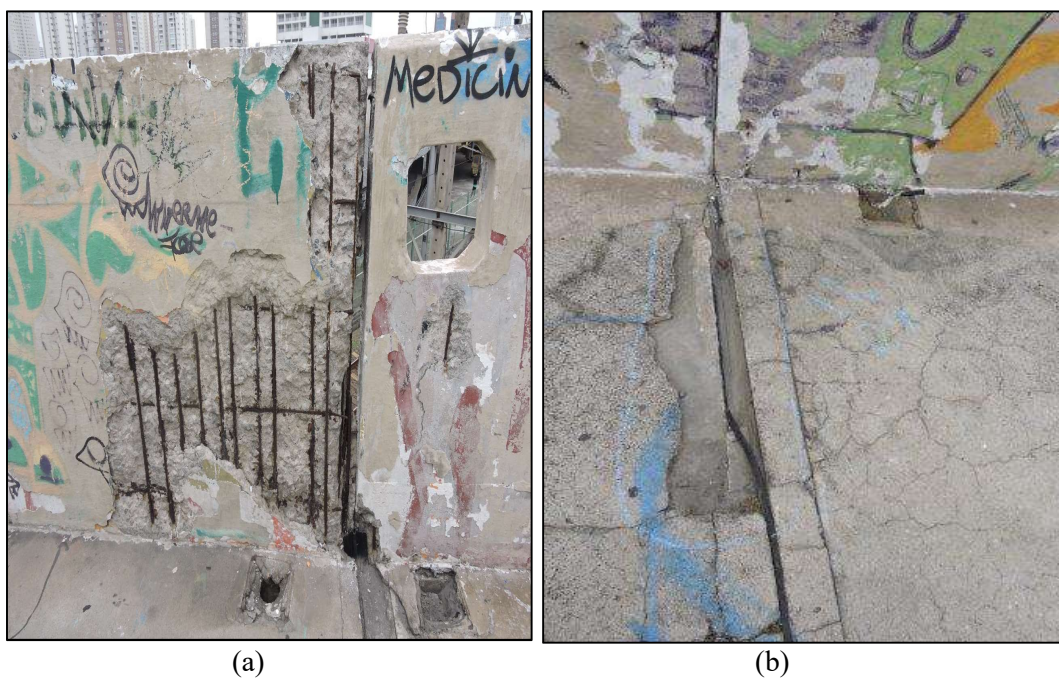
Fotografia 26. Escadas de acesso
(a) escada de acesso pela Rua Willian Speers;
(b) escada de acesso pela Rua do Curtume.

As escadas de acesso à passarela se dão pela Rua Willian Speers (a) e pela Rua do Curtume (b), onde a primeira tem comprimento próximo a 22,90 metros, e a segunda escada com cerca de 16,20 metros. A Fotografia 27 mostrará uma vista geral do tabuleiro da passarela.



Fotografia 27. Vista geral do tabuleiro da passarela.

A Fotografia acima ilustra o piso cimentado do tabuleiro da passarela Rua Curtume. Já a Fotografia 28 exibe algumas das manifestações patológicas verificadas na passarela, como a corrosão da armadura e deslocamento.



(a)

(b)

Fotografia 28: Manifestação Patológica
(a) corrosão da armadura no guarda-corpo do tabuleiro;
(b) deslocamento no piso do tabuleiro.

As anomalias encontradas no levantamento de campo da passarela 7 foram a corrosão de armadura nos guarda-corpos do acesso e do tabuleiro, deslocamentos no piso do tabuleiro e ainda, fissuração do guarda-corpo do acesso.

3.2.7.1. Mapeamento

A seguir, será exposto o mapeamento das manifestações patológicas em estudo, que foram encontradas na passarela 07: Rua Curtume (Figura 23).

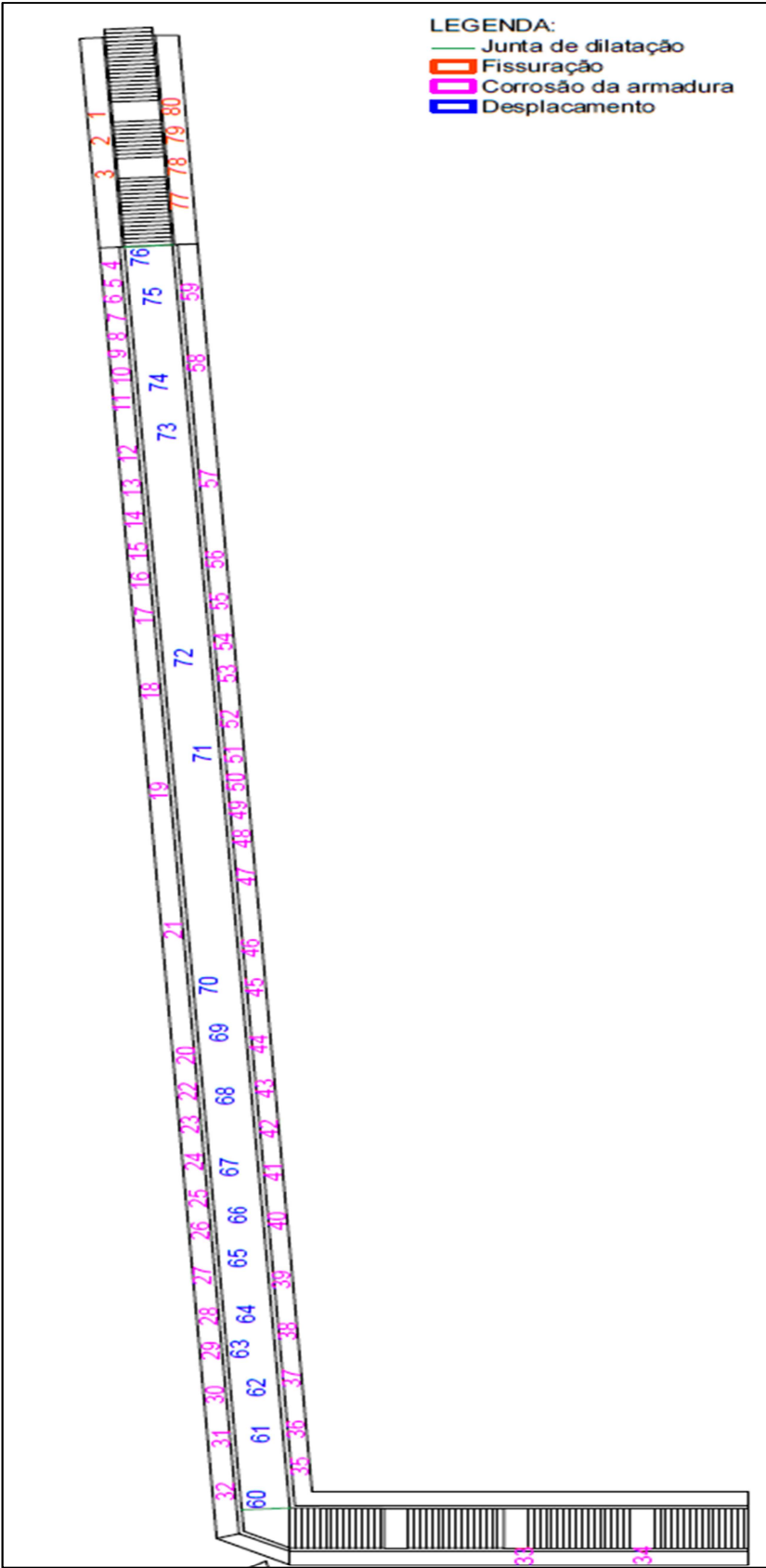


Figura 23. Mapeamento das manifestações patológicas encontradas

No mapeamento acima, pode-se observar os pontos onde foram encontradas as manifestações patológicas em estudo:

- a) Corrosão da armadura (em magenta):
 - No guarda-corpo do acesso: os pontos 33 e 34.
 - No guarda-corpo do tabuleiro: pontos de 04 à 32; e 35 à 59.
- b) Deslocamento (na cor azul):
 - No piso do tabuleiro: pontos do 60 ao 76.
- c) Fissuração (na cor laranja):
 - No guarda-corpo do acesso: pontos de 01 à 03; e de 77 à 80.

3.3. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO

Com o intuito de realizar uma análise da porcentagem de deterioração das passarelas vistoriadas, a estrutura foi dividida em famílias de elementos (guarda-corpo e piso) e as anomalias analisadas e medidas em campo foram: o deslocamento, a corrosão da armadura e a fissuração.

Assim, utilizar-se-á o método para determinação do grau de deterioração, como mostra a fórmula a seguir:

$$GD = \frac{AD}{AT} \times 100$$

Onde:

GD = grau de deterioração (%)

AD = área deteriorada (m²)

AT = área total (m²)

Em análise a fórmula anterior, pode-se perceber que a porcentagem do grau de deterioração é dada através da razão entre a área deteriorada pela área total. Assim, o esquema abaixo permite visualização das áreas consideradas nesta equação.

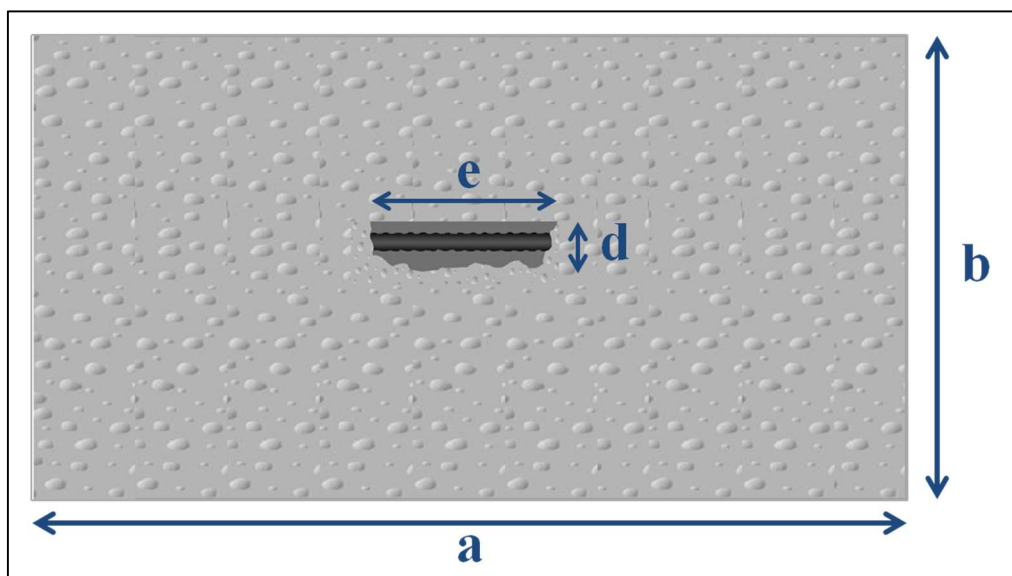


Figura 24. Esquema das áreas deteriorada e total, utilizando corrosão da armadura.

Fonte: os autores (2016).

Na Figura 24, utilizou-se a corrosão da armadura como exemplo de deterioração e assim, tem-se uma demonstração do elemento de concreto, com a área definida por “a” x “b”, (comprimento e largura do elemento) e a área de deterioração sendo o resultado da multiplicação de “e” por “d” (comprimento e largura da área de reparo).

Para o cálculo do GD de deslocamento e de corrosão da armadura, a área deteriorada foi considerada como a área de reparo. Já no caso de fissuração, a área considerada foi o comprimento da fissura pela sua abertura. Assim, é possível definir o grau de deterioração perante as manifestações patológicas encontradas em cada elemento durante as inspeções.

Ainda, levantou-se a média dos resultados das passarelas de cada zona geográfica, a fim de alcançar um grau de deterioração para cada região em análise. Assim, consegue-se analisar e comparar quais das regiões possui maior percentual de degradação para cada manifestação patológica em estudo.

Este capítulo apresentou os dados coletados no levantamento de campo, assim como localização, fotografias, mapeamento realizado e metodologia aplicada. Já o capítulo seguinte será apresentado e analisado os resultados coletados.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O capítulo a seguir apresenta os resultados dos graus de degradação referentes a cada manifestação patológica (corrosão, deslocamento e fissuração) das passarelas inspecionadas de acordo com sua zona, bem como uma análise comparativa entre eles.

O grau de degradação das passarelas foi calculado a partir da coleta de dados durante as inspeções. E, afim de organizar e facilitar essa coleta de dados, as passarelas foram divididas por elemento - Guarda-Corpo (GC) e Piso - e subdividida em Acesso (escadas e/ou rampas) e Tabuleiro, parte que sobrepõem o obstáculo. Para o cálculo do grau de degradação de cada zona, foi feito uma média dos graus de suas passarelas.

4.1. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA LESTE

Nesse item será apresentado o grau de corrosão, de deslocamento e de fissuração das passarelas Calmon Viana, Vila ABC e Vila Gertrudes, situadas na zona leste da região metropolitana de São Paulo.

4.1.1. Corrosão

A corrosão das passarelas vistoriadas na zona leste, será representada numericamente pelo seu grau de deterioração de corrosão. Para o cálculo desse, foi utilizado o método descrito no capítulo anterior.

A Tabela 3, que se encontra a seguir, apresenta os resultados referentes à cada elemento das passarelas, o total de cada uma, o total da zona e os dados utilizados para o cálculo.

Tabela 3. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Leste.

Passarela 3: Grau de Corrosão das Passarelas da Zona Leste					
Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
1	Passarela Calmon Viana	GC do acesso	267,04	13,70	5,13
		GC do tabuleiro	109,92	10,00	9,10
		Piso do acesso	179,40	0	0
		Piso do tabuleiro	220,20	0	0
		Subtotal	776,56	23,70	3,05%
2	Passarela Vila ABC	GC do acesso	300,83	8,26	2,75
		GC do tabuleiro	73,36	0,05	0,07
		Piso do acesso	273,49	0	0
		Piso do tabuleiro	88,20	0	0
		Subtotal	735,88	8,31	1,13%
3	Passarela Vila Gertrudes	GC do acesso	194,05	5,50	2,83
		GC do tabuleiro	137,23	3,85	2,80
		Piso do acesso	167,72	0,28	0,17
		Piso do tabuleiro	112,72	0	0
		Subtotal	611,72	9,62	1,57%
Grau De Corrosão Das Passarelas Da Zona Leste					1,92%

FONTE: os autores (2016).

Os resultados obtidos na Tabela 3 de cada passarela, foram expostos a seguir para uma melhor visualização no Gráfico 1.

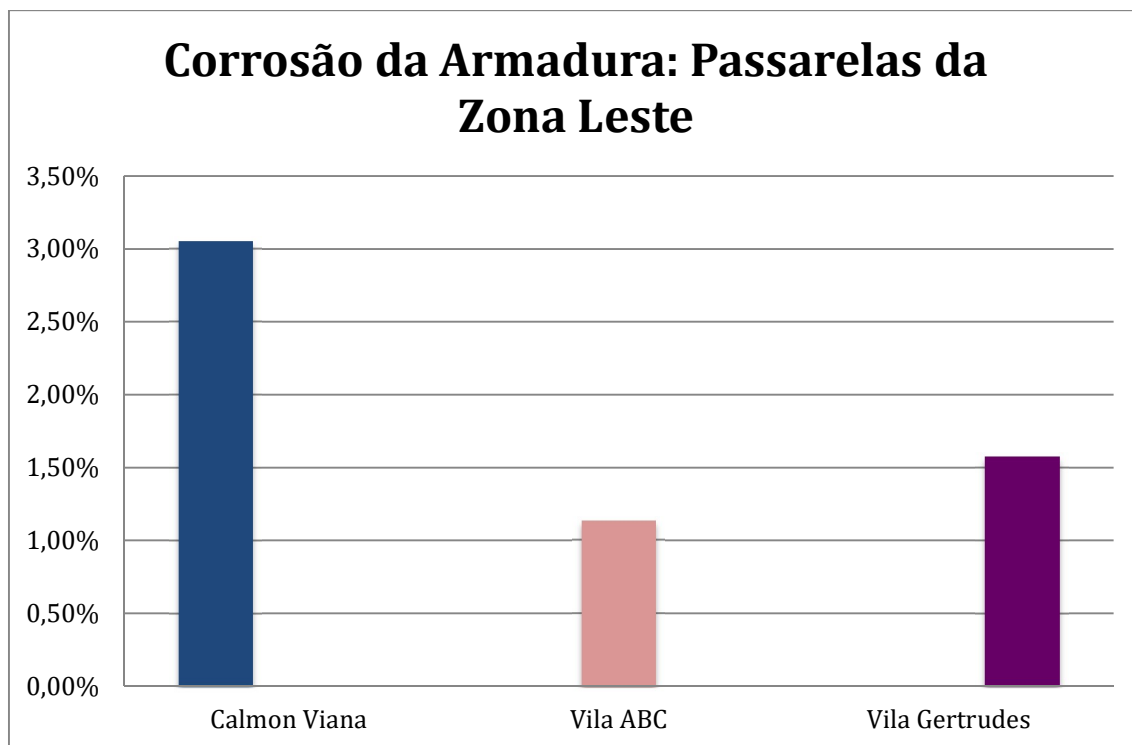


Gráfico 1. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Leste

Como é possível notar no Gráfico 1, a Passarela Calmon Viana apresentou o maior índice de corrosão (3,05%), sendo quase duas vezes maior do que a segunda colocada, a Passarela Vila Gertrudes, com 1,57%. Já a Passarela Vila ABC ficou com 1,13%, valor próximo à esta última.

4.1.2. Desplacamento

O grau de deterioração de deslocamento representa o deslocamento das passarelas, que futuramente será utilizado neste trabalho para realizar um comparativo entre as regiões de estudo. O método utilizado para esse cálculo, está detalhado no capítulo anterior.

A seguir, na Tabela 4, são apontados os resultados referentes às passarelas (cada elemento e estrutura total), o total por região e os dados utilizados para o cálculo.

Tabela 4. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Leste.

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
1	Passarela Calmon Viana	GC do acesso	267,04	0	0
		GC do tabuleiro	109,92	0	0
		Piso do acesso	179,40	9,15	5,10
		Piso do tabuleiro	220,20	0	0
		Subtotal	776,56	9,15	1,18%
2	Passarela Vila ABC	GC do acesso	300,83	0	0
		GC do tabuleiro	73,36	0	0
		Piso do acesso	273,49	5,84	2,14
		Piso do tabuleiro	88,20	9,27	10,51
		Subtotal	735,88	15,11	2,05%
3	Passarela Vila Gertrudes	GC do acesso	194,05	0,73	0,37
		GC do tabuleiro	137,23	0,41	0,30
		Piso do acesso	167,72	0,19	0
		Piso do tabuleiro	112,72	2,24	1,99
		Subtotal	611,72	3,57	0,58%
Grau De Desplacamento Das Passarelas Da Zona Leste					1,27%

FONTE: os autores (2016).

De acordo com o grau de deslocamento de cada passarela, foi elaborado o Gráfico 2 a seguir para uma melhor visualização desses dados.

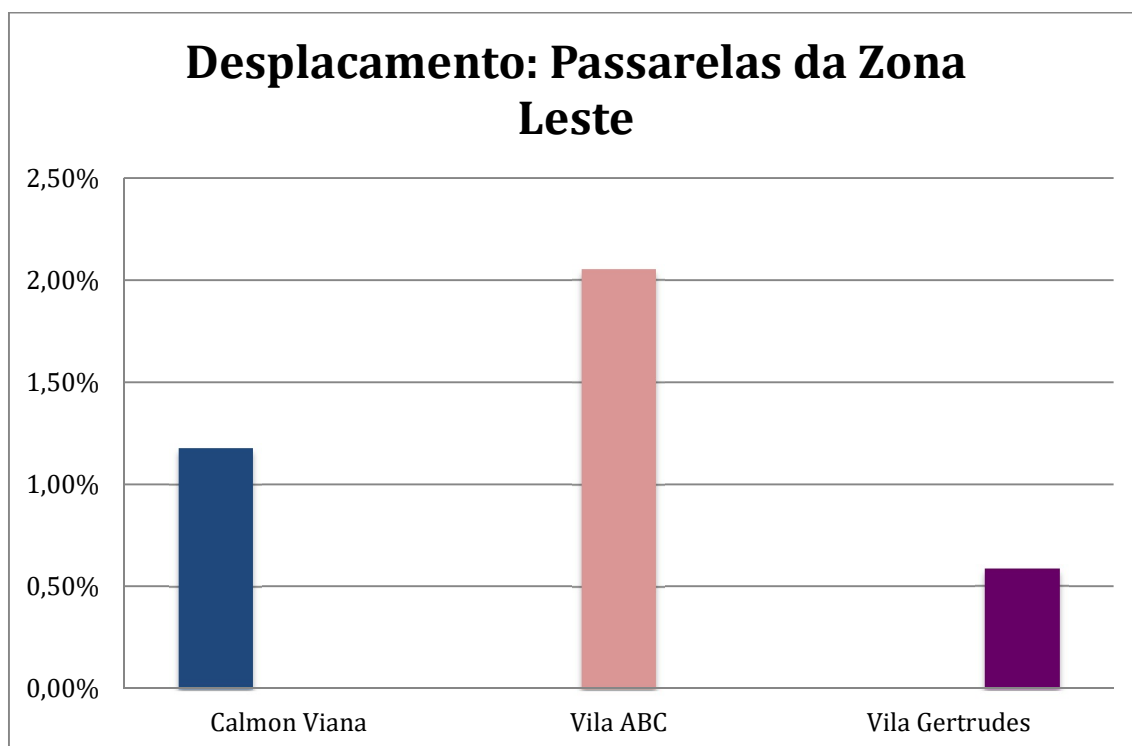


Gráfico 2. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Leste

A partir de uma breve análise entre os valores obtidos em cada passarela, nota-se que os valores seguem uma projeção geométrica de razão 2, aproximadamente. Sendo a Passarela Vila ABC com o maior índice de deslocamento (2,05%) e a Passarela Vila Gertrudes com o menor, 0,58%, nesse caso a diferença entre eles passa a ser na ordem de aproximadamente 3,50 (Tabela 4).

4.1.3. Fissuração

A fissuração das passarelas inspecionadas na zona leste serão representadas por seu grau de degradação referente à fissuração, e, posteriormente comparadas às passarelas das demais regiões analisadas.

Na Tabela 5 encontram-se os dados obtidos em campo e o cálculo do grau de deterioração das passarelas pertencentes à região como um todo.

Tabela 5. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Leste

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
1	Passarela Calmon Viana	GC do acesso	267,04	0	0
		GC do tabuleiro	109,92	0	0
		Piso do acesso	179,40	0	0
		Piso do tabuleiro	220,20	0	0
		Subtotal	776,56	0	0%
2	Passarela Vila ABC	GC do acesso	300,83	0	0
		GC do tabuleiro	73,36	0	0
		Piso do acesso	273,49	0	0
		Piso do tabuleiro	88,20	0	0
		Subtotal	735,88	0	0%
3	Passarela Vila Gertrudes	GC do acesso	194,05	0	0
		GC do tabuleiro	137,23	0	0
		Piso do acesso	167,72	0	0
		Piso do tabuleiro	112,72	0	0
		Subtotal	611,72	0	0%
Grau De Fissuração Das Passarelas Da Zona Leste					0%

FONTE: os autores (2016).

Como mostrado na Tabela 5, pode-se observar que os resultados de área deteriorada foram nulos. Isso se deve ao fato de que as passarelas da região tiveram seu Guarda-Corpo pintado recentemente. E em relação ao piso das passarelas, não foram encontradas fissuras expressivas.

4.2. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA SUDESTE

Nessa Seção, se encontram os resultados dos Graus de Corrosão, de Desplacamento e de Fissuração das Passarelas Vila Augusto e Vila Gomes, situadas na Zona Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo e o valor obtido para a zona dentro de cada uma dessas manifestações patológicas citadas.

4.2.1. Corrosão

O cálculo do grau de degradação de corrosão das passarelas inspecionadas na zona sudeste, representará a corrosão existente nessas passarelas. Com isso será possível visualizar a gravidade do estado em que a passarela se encontra e compará-lo com o de outras regiões.

Os resultados desse cálculo estão representados na Tabela 6, sendo subdivididos em elementos, sub-elementos da estrutura e seus totais.

Tabela 6. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Sudeste

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
4	Passarela Vila Augusto	GC do acesso	89,27	9,20	10,31
		GC do tabuleiro	160,34	126,69	79,01
		Piso do acesso	118,69	0	0
		Piso do tabuleiro	152,14	0	0
		Subtotal	520,44	135,89	26%
5	Passarela Vila Gomes	GC do acesso	125,15	10,70	2,70
		GC do tabuleiro	271,44	145,49	36,69
		Piso do acesso	122,22	0	0
		Piso do tabuleiro	296,76	0	0
		Subtotal	815,57	156,19	19%
Grau De Corrosão Das Passarelas Da Zona Sudeste					22,5%

FONTE: os autores (2016).

A seguir, o Gráfico 3, representa o grau de degradação de corrosão das passarelas inspecionadas na Zona Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo.

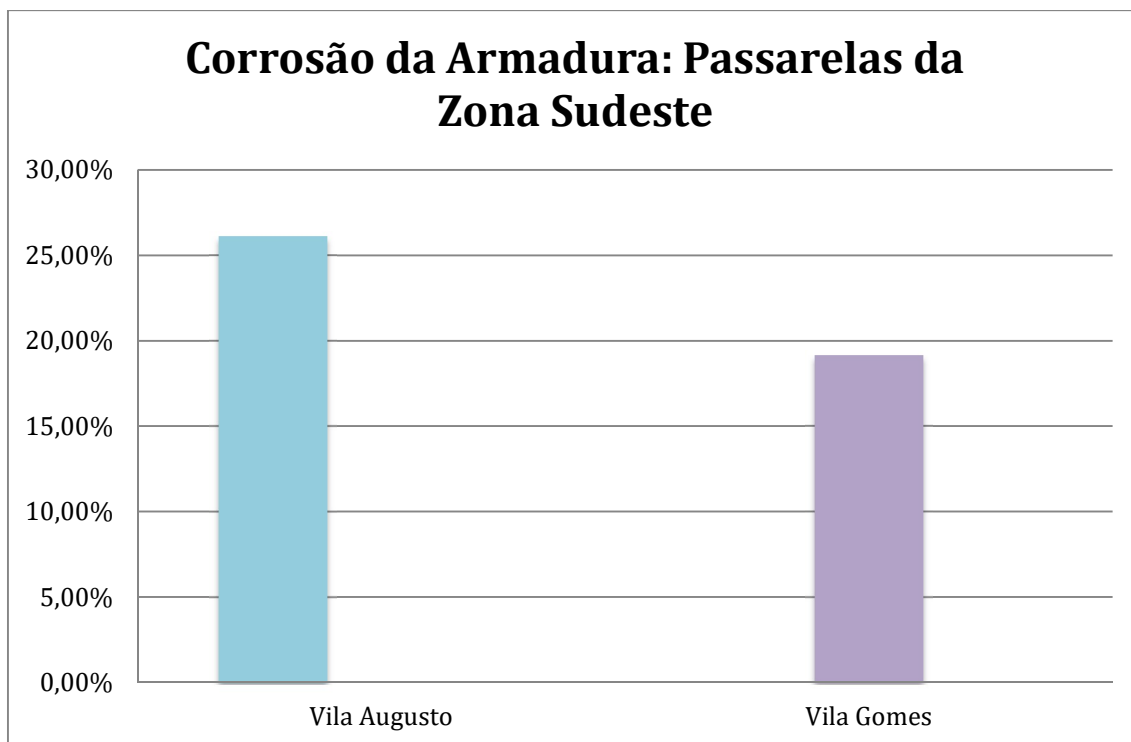


Gráfico 3. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Sudeste

Como mostrado na Tabela 6 e representado pelo Gráfico 3, as duas passarelas da zona sudeste foram as que apresentaram o maior índice de corrosão dentre todas as passarelas vistoriadas nesse trabalho. Isso ocorreu pois ao longo de grande parte de seus Guarda-Corpos foram encontradas armaduras expostas e corroídas, resultando em 26% de armadura corroída na passarela da Vila Augusto e 19% na Vila Gomes.

4.2.2. Desplacamento

O grau de deterioração calculado nesse item representa o deslocamento encontrado nas passarelas vistoriadas. E como já mencionado neste trabalho, será utilizado para comparar as regiões analisadas.

A Tabela 7 apresenta o resultado do grau de deterioração de deslocamento comentado no parágrafo anterior.

Tabela 7. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
4	Passarela Vila Augusto	GC do acesso	118,69	0,00	0
		GC do tabuleiro	152,14	0,00	0
		Piso do acesso	118,69	0,00	0
		Piso do tabuleiro	152,14	1,26	0,83
		Subtotal	541,65	1,26	0,23%
5	Passarela Vila Gomes	GC do acesso	125,15	2,30	1,84
		GC do tabuleiro	271,44	66,88	24,64
		Piso do acesso	122,22	0,00	0
		Piso do tabuleiro	296,76	6,05	2,04
		Subtotal	815,57	75,24	9,23%
Grau De Deslocamento Das Passarelas Da Zona Sudeste					4,73%

FONTE: os autores (2016).

Abaixo, encontram-se representados graficamente o grau de deslocamento referente as passarelas inspecionadas da Zona Sudeste da região Metropolitana de São Paulo (Gráfico 4).

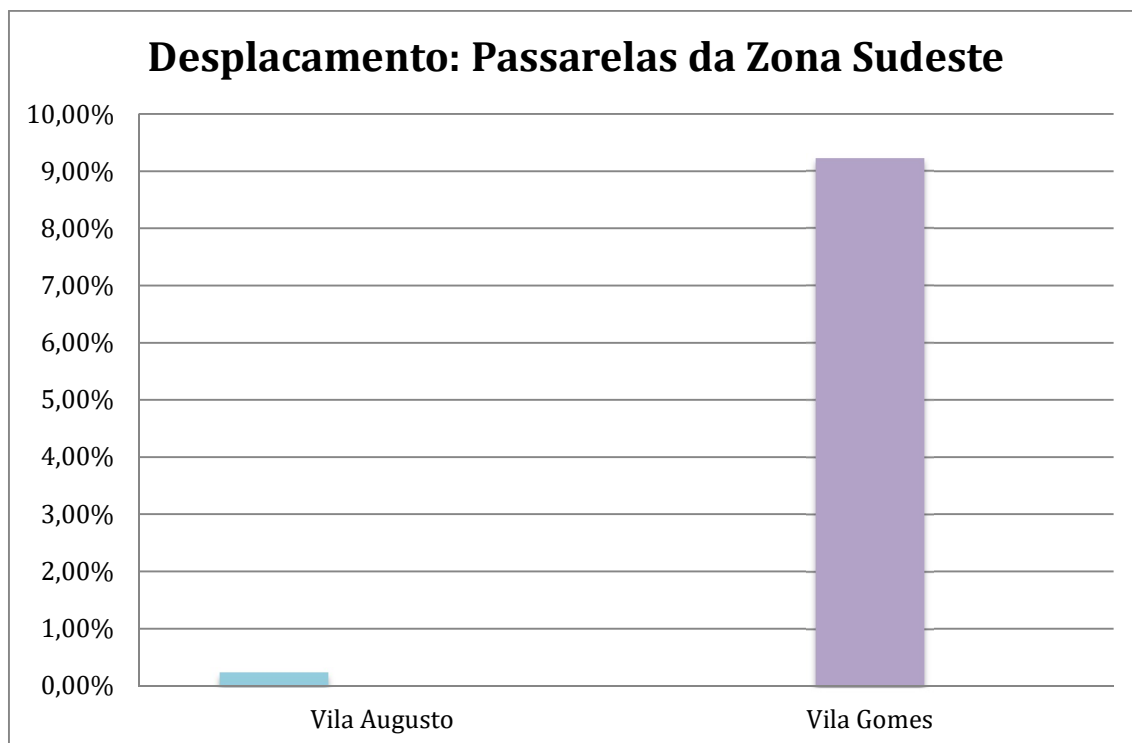


Gráfico 4. Grau de Deslocamento do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.

No Gráfico 4 pode-se notar a disparidade dos valores encontrados para o deslocamento entre as passarelas da zona sudeste, totalizando 9 pontos percentuais. A Passarela Vila Augusto apresentou baixo índice de deslocamento 0,23%, se comparado a Passarela Vila Gomes com 9,23%.

4.2.3. Fissuração

A fissuração das passarelas da Zona Sudeste foram representadas pelo grau de degradação de fissuração que serão calculados e apresentados neste item.

A Tabela 8 apresenta o grau de fissuração da Passarela Vila Augusto e Vila Gomes.

Tabela 8. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
4	Passarela Vila Augusto	GC do acesso	118,69	0,00	0
		GC do tabuleiro	152,14	0,00	0
		Piso do acesso	118,69	0,00	0
		Piso do tabuleiro	152,14	0,14	0,09
		Subtotal	541,65	0,14	0,03%
5	Passarela Vila Gomes	GC do acesso	125,15	0,00	0
		GC do tabuleiro	271,44	0,00	0
		Piso do acesso	122,22	0,03	0,03
		Piso do tabuleiro	296,76	0,06	0,02
		Subtotal	815,57	0,09	0,01%
Grau De Fissuração Das Passarelas Da Zona Sudeste					0,02%

FONTE: os autores (2016).

Os resultados obtidos na tabela anterior referente ao grau de fissuração encontram-se representados no Gráfico 5.

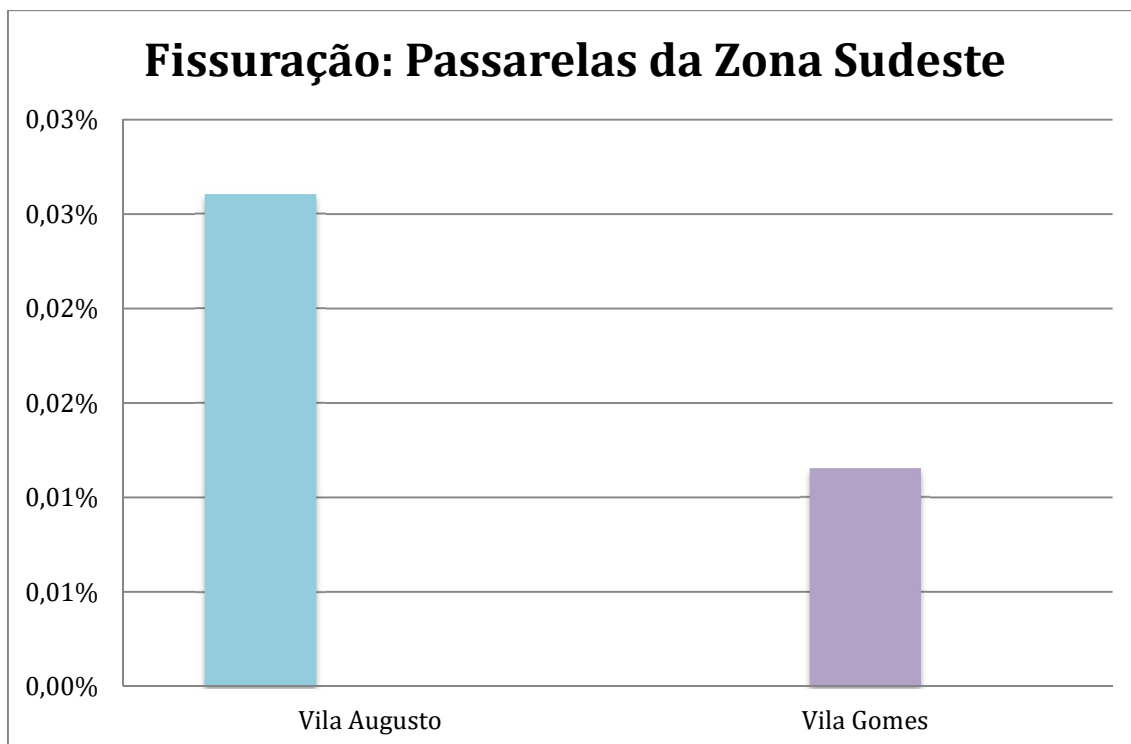


Gráfico 5. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Sudeste.

Os dados ilustrados no Gráfico 5, apontam um grau de fissuração de 0,03% na Passarela Vila Augusto e 0,01% na Passarela Vila Gomes, não possuindo grande defasagem entre si.

4.3. RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASSARELAS DA ZONA OESTE

Nesse item será apresentado o Grau de Corrosão, de Deslocamento e de Fissuração das Passarelas Luigi Greco e Rua do Curtume, situadas na Zona Oeste de São Paulo.

4.3.1. Corrosão

Seguindo o mesmo procedimento das Passarelas da Zona Leste e Sudeste, calculou-se o grau de deterioração de corrosão nas Passarelas da Zona Oeste.

Na tabela a seguir encontra-se o grau de deterioração de corrosão calculado para a Passarela Luigi Greco e Rua do Curtume (Tabela 9).

Tabela 9. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Oeste.

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
6	Passarela Luigi Greco	GC do acesso	326,13	88,20	27,04%
		GC do tabuleiro	175,13	29,92	17,08%
		Piso do acesso	328,86	0,00	0%
		Piso do tabuleiro	136,64	1,40	1,02%
		Subtotal	966,76	119,52	12,36%
7	Passarela Rua do Curtume	GC do acesso	269,08	65,77	24,44%
		GC do tabuleiro	87,74	1,32	1,50%
		Piso do acesso	142,89	0,00	0%
		Piso do tabuleiro	229,92	0,00	0%
		Subtotal	729,63	67,09	9,19%
Grau De Corrosão Das Passarelas Da Zona Oeste					10,78%

FONTE: os autores (2016).

O Gráfico 6 apresenta o grau de corrosão das passarelas inspecionadas da Zona Oeste calculado por meio da Tabela 9.

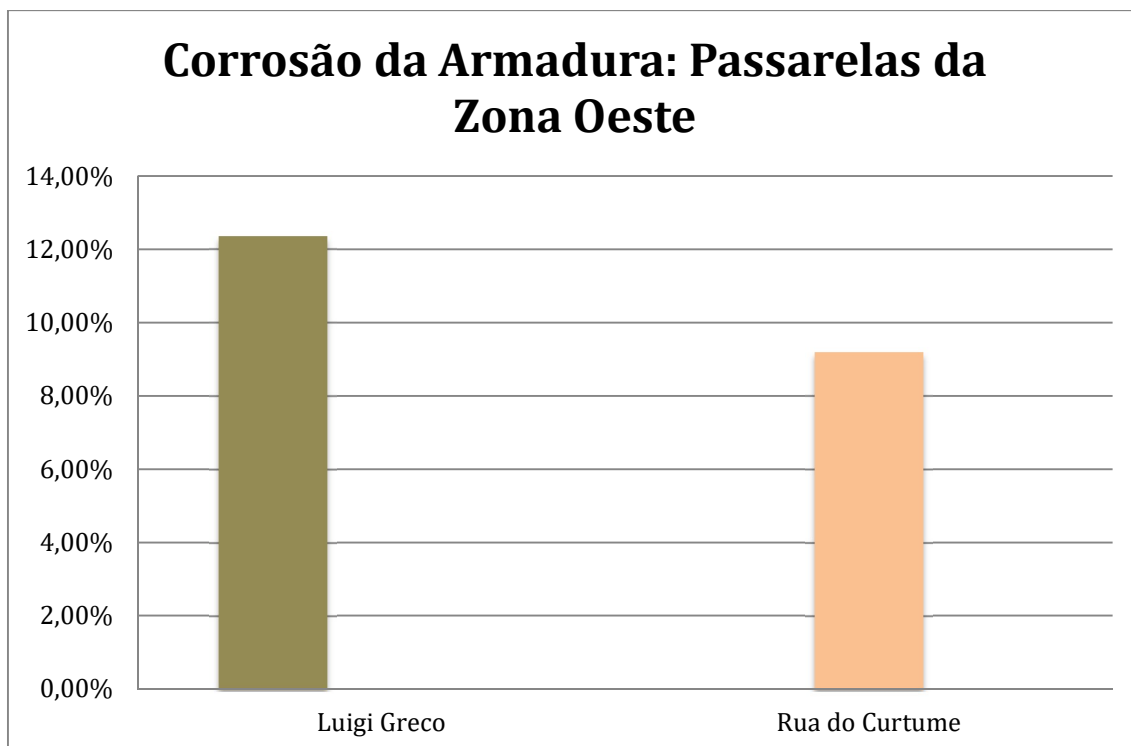


Gráfico 6. Grau de Corrosão da Armadura das Passarelas da Zona Oeste.

Com base nos resultados obtidos através da Tabela 9 e ilustrados no Gráfico 6, observa-se que entre as duas passarelas da zona oeste não há muita discrepância, tendo a passarela Luigi Greco 12,36% de índice de corrosão e a passarela Rua do Curtume 9,19%.

4.3.2. Desplacamento

O grau de deterioração de deslocamento calculado nesse item será utilizado para comparar tal manifestação patológica entre as passarelas das demais regiões de estudo.

Na Tabela 10, são apontados os resultados referentes à cada elemento das passarelas, subtotal, total e os dados utilizados para o cálculo.

Tabela 10. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.

Código	Nome	Região	Área do	Área	Grau de
--------	------	--------	---------	------	---------

		elemento	deteriorada	deterioração
		m²	m²	%
6	Passarela Luigi Greco	GC do acesso	326,13	0,00
		GC do tabuleiro	175,13	0,00
		Piso do acesso	328,86	7,70
		Piso do tabuleiro	136,64	90,04
		Subtotal	966,76	97,74
7	Passarela Rua do Curtume	GC do acesso	269,08	0,00
		GC do tabuleiro	87,74	0,00
		Piso do acesso	142,89	0,00
		Piso do tabuleiro	229,92	7,14
		Subtotal	729,63	7,14
Grau De Desplacamento Das Passarelas Da Zona Oeste				5,55%

FONTE: os autores (2016).

No Gráfico 7, a seguir, são encontrados os valores calculados para cada passarela analisada da região.

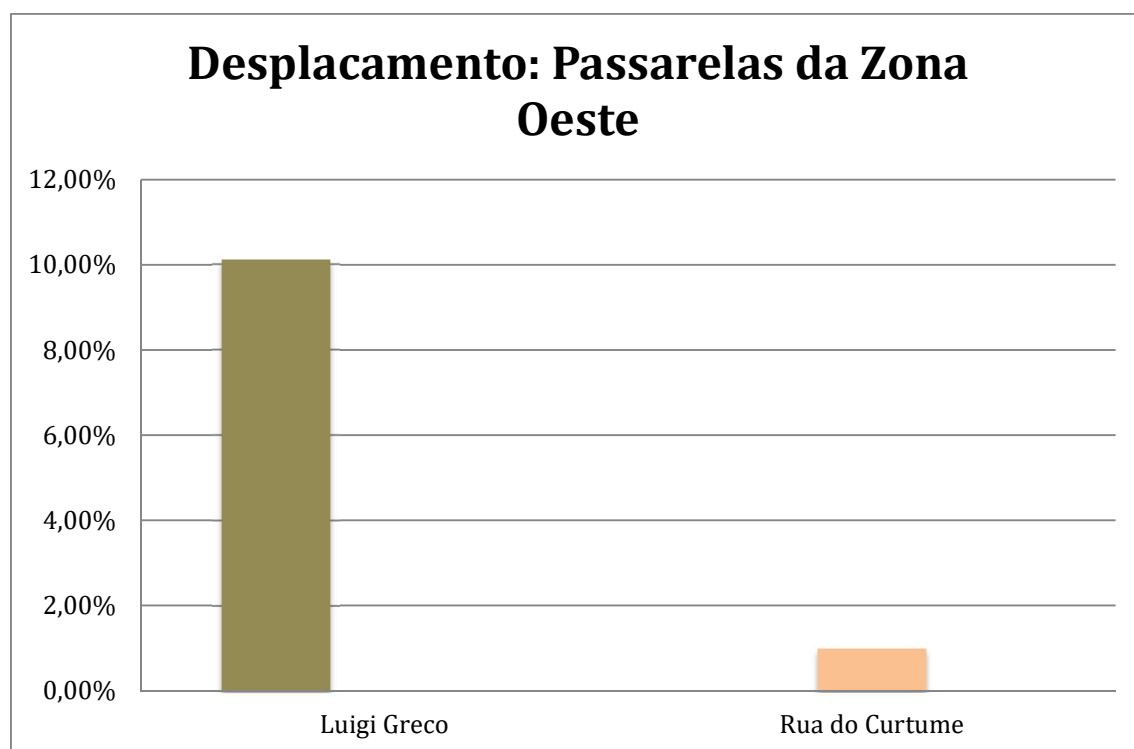


Gráfico 7. Grau de Desplacamento do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.

O deslocamento encontrado nas passarelas dessa zona de localização gerou um índice de degradação no valor de 10,11% na Passarela Luigi Greco e

0,98% na Passarela Rua do Curtume, como mostrado na Tabela 10. A disparidade no valor desses dados é de mais de dez pontos percentuais.

4.3.3. Fissuração

Nesse item será apresentado o grau de fissuração encontrado nas passarelas vistoriadas na Zona Oeste.

A seguir, na Tabela 11, pode-se verificar o valor encontrado para o grau de deterioração de fissuração dessas passarelas, bem como os dados utilizados para o seu cálculo.

Tabela 11. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.

Código	Nome	Região	Área do elemento m²	Área deteriorada m²	Grau de deterioração %
6	Passarela Luigi Greco	GC do acesso	326,13	0,00	0%
		GC do tabuleiro	175,13	0,00	0%
		Piso do acesso	328,86	0,04	0,012%
		Piso do tabuleiro	136,64	0,01	0,007%
		Subtotal	966,76	0,05	0,01%
7	Passarela Rua do Curtume	GC do acesso	269,08	0,00	0%
		GC do tabuleiro	87,74	0,00	0%
		Piso do acesso	142,89	0,00	0%
		Piso do tabuleiro	229,92	0,00	0%
		Subtotal	729,63	0,00	0%
Grau De Fissuração Das Passarelas Da Zona Oeste					0,01%

FONTE: os autores (2016).

O Gráfico 8, apresenta os resultados do grau de fissuração das Passarelas Luigi Greco e Rua do Curtume pertencentes à Zona Oeste de São Paulo.

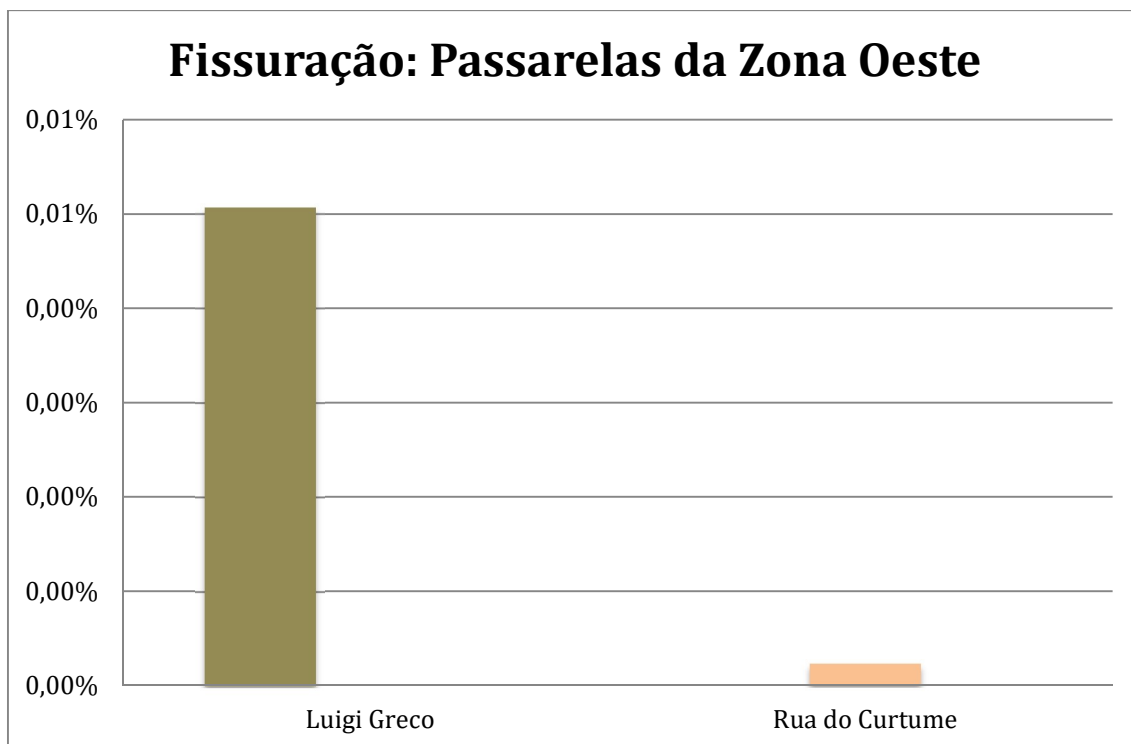


Gráfico 8. Grau de Fissuração do Concreto nas Passarelas da Zona Oeste.

A partir da Tabela 11, percebe-se que não foram encontradas fissuras significativas na Passarela Rua do Curtume. E a Passarela Luigi Greco apresentou um índice de 0,01% de fissuração.

4.4. COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO GRAU DE DEGRADAÇÃO ENTRE AS ZONAS

Como mencionado anteriormente, o cálculo do grau de degradação foi realizado a partir da área de cada passarela em razão da área afetada pelas manifestações patológica observada.

Já para a obtenção do grau de degradação de uma zona foi utilizado a média dos resultados apresentados por suas passarelas em relação à cada manifestação patológica. Esses resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. **Grau de Deterioração das regiões por manifestação patológica.**

Nome	Grau de deterioração por manifestação patológica (%)		
	Corrosão	Desplacamento	Fissuração
Zona Leste	1,92	1,27	0,00
Zona Sudeste	22,50	4,73	0,02
Zona Oeste	10,78	5,55	0,01

FONTE: os autores (2016).

Como é possível observar na Tabela 12, a Zona Sudeste da região metropolitana de São Paulo apresentou os maiores índices para corrosão e fissuração, sendo 22,50% e 0,02% respectivamente. E o deslocamento se mostrou mais significativo na Zona Oeste, com 5,55%.

O grau de corrosão apresenta grandes variações entre as passarelas. Tendo sua maior diferença de aproximadamente 20 pontos percentuais entre as passarelas da zona sudeste e leste. Uma hipótese para tal variação pode ser devido ao fato de alguns elementos das passarelas da zona leste terem sido pintados recentemente, maquiando assim a situação real.

Em relação ao grau de deslocamento observa-se que o valores obtidos para a zona sudeste e oeste estão muito próximos, 4,73% e 5,55% respectivamente. Tendo a maior diferença entre os resultados de a 4,28 pontos percentuais, entre a zona leste e oeste.

Os valores obtidos pela fissuração, apresentam-se expressivamente menores do que os de deslocamento e corrosão por possuírem áreas insignificantes se comparado às áreas dessas manifestações e da própria estrutura. A Zona Sudeste apresentou o maior grau de fissuração, com 0,02%, seguido da Zona Oeste, com 0,01%. A Zona Leste apresentou grau nulo para essa anomalia.

Este capítulo expôs os resultados obtidos pelo levantamento de campo e realizou análise comparativa. No próximo capítulo serão apresentadas as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentar-se-á as considerações finais deste trabalho, bem como sugestões para novos estudos na área.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao contrário da hipótese na qual a Zona Leste seria a mais deteriorada para todas as manifestações patológicas analisadas, o que se obteve como resultado foram maiores índices de corrosão da armadura e fissuração na Zona Sudeste da região metropolitana de São Paulo e o deslocamento se mostrou mais significativo na Zona Oeste.

Buscando uma correlação entre a resistência do concreto e o estado de degradação das passarelas em estudo, conseguiu-se levantar alguns projetos mostrando que as estruturas foram concebidas com resistência característica entre 15 e 18 MPa. Tais dados mostram pequena variação das resistências adotadas, acreditando-se assim, que este quesito não tenha influenciado na durabilidade estrutural. Ainda, estas resistências de projeto atendem a resistência característica mínima de 9 MPa solicitada na Norma vigente na época, a NB 1 de 1978, da ABNT.

Por fim, acredita-se que as passarelas 4 e 5 pertencentes a Zona Sudeste obtiveram maiores índices de degradação por estar localizadas próximas ao curso de água da Represa Billings e a vasta área verde da Serra do Mar da Rodovia Anchieta/Imigrantes, localizadas a 4 quilômetros da passarela 4 e apenas 1 quilômetro da passarela 5. Também, pode haver influência da Baía de Santos, já que estas são as passarelas mais próximas do litoral.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de melhorar a metodologia desenvolvida neste trabalho, sugere-se para trabalhos futuros:

- a) Aplicação da metodologia desenvolvida em maior número de passarelas e maior abrangência de regiões;
- b) Realização de inspeções nas faces externas da estrutura das passarelas;
- c) Adequação da metodologia do grau de deterioração para passarelas com estruturas metálicas e mistas;
- d) Verificação da estimativa das manifestações patológicas existentes em passarelas, utilizando a metodologia proposta;
- e) Realização de ensaios destrutivos e não destrutivos para maiores informações referente as causas prováveis de aparecimento das manifestações patológicas analisadas;
- f) Determinação do procedimento de recuperação para as manifestações patológicas estudadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NB 1 – Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 1978.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Texto 2010.

CAFANGE, D. M. P. J. **Estudo de métodos e medidas auxiliares para o controle da resistência à carbonatação de concretos estruturais de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual de projeto de obras de arte especiais**. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Patologias do concreto – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

GOMES, I. **Sistemas construtivos de pontes e viadutos com ênfase em lançamento de vigas com treliças lançadeiras**. TCC em Engenharia Civil. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006.

LANER, F. J. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Porto Alegre: UFRS, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia). Porto Alegre: UFRS, 2010.

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

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.

THOMAZ, E. **Qual a diferença entre lixiviação e carbonatação? Quais patologias podem advir desses fenômenos? Como evitá-los?** Revista Técnica, ed. 151. Out. 2009.

7. APÊNDICE

Tabela 13. Área das anomalias encontradas na Passarela 1 - Calmon Viana			
Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	
01: A=0,15x0,30m	11: A=0,20x0,30m	55: A=0,50x0,30m	77: A= 0,48x0,30m
02: A=0,20x4,70m	12: A=0,35x0,70m	56: A=0,30x2,05m	78: A= 0,15x0,30m
03: A=0,55x0,90m	13: A=0,75x0,60m	57: A=0,30x0,85m	79: A= 0,25x0,30m
04: A=2,20x0,30m	14: A=0,25x0,40m	58: A=0,30x2,00m	80: A= 0,30x0,30m
05: A=0,30x4,70m	15: A=0,25x0,40m	59: A=1,30x0,30m	81: A= 0,20x0,30m
06: A=0,20x0,30m	16: A=0,25x0,40m	60: A=0,75x0,30m	82: A= 0,70x0,30m
07: A=0,20x0,20m	17: A=1,20x0,80m	61: A=0,30x0,30m	83: A= 0,60x0,30m
08: A=0,80x1,55m	18: A=0,50x0,70m	62: A=0,30x0,20m	84: A= 1,32x0,30m
09: A=0,30x4,70m	19: A=0,20x0,30m	63: A=1,00x0,30m	
10: A=0,50x0,40m	20: A=0,40x0,65m	64: A=1,20x0,30m	
	21: A=1,40x1,30m	65: A=1,30x0,30m	
	22: A=0,50x1,30m	66: A=0,20x0,30m	
	23: A=1,00x0,80m	67: A=0,50x0,30m	
	24: A=0,28x0,65m	68: A=0,30x0,30m	
	25: A=0,30x0,50m	69: A=0,50x0,30m	
	26: A=1,96x0,40m	70: A=0,40x0,30m	
	27: A=1,56x0,40m	71: A=2,70x0,30m	
	28: A=0,15x0,40m	72: A=2,90x0,30m	
	29: A=0,30x0,40m	73: A=2,90x0,30m	
	30: A=0,40x0,30m	74: A= 2,90x0,30m	
	31: A=0,30x1,40m	75: A= 1,10x0,30m	
	32: A=2,00x0,30m	76: A= 0,65x0,30m	

LEGENDA:

-  Fissuração
-  Corrosão da armadura
-  Deslocamento

Tabela 14. Área das anomalias encontradas na Passarela 2 - Vila ABC

Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	Piso do Tabuleiro
03:A=0.30x0.40m	11:A=0.20x0.15m	01:A=0.80x0.35m	06:A=1.70x2.40m
04:A=0.70x0.40m	13:A=0.15x0.15m	02:A=0.30x0.40m	07:A=0.50x3.00m
05:A=0.40x0.40m		16:A=0.30x0.20m	08:A=0.70 X 0.30m
14:A=0.70x1.5m		22:A=0.77x0.75m	09:A=0.98 X 0.76m
15:A=0.85x0.70m		30:A=1.60x3.00m	10:A=1.20x1.20m
17:A=0.20x0.25m			12:A=1.30x1.00m
18:A=0.30x0.15m			
20:A=0.27x0.15m			
23:A=0.30x0.60m			
24:A=0.80x0.50m			
27:A=0.97x0.46m			
28:A=1.29x0.40m			
29:A=0.40x0.85m			
31:A=0.20x0.73m			
32:A=0.85x2.85m			
33:A=2.30x0.64m			

LEGENDA:

 Fissuração

 Corrosão da armadura

 Desplacamento

Tabela 15. Área das anomalias encontradas na Passarela 3 - Vila Gertrudes

Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	Piso do Tabuleiro
01: A=1.00x0.30m	08: A=0.25x0.20m	02: A=0.75x0.25m	16: A=0.40x0.55m
03: A=1.30x0.50m	09: A=0.30x0.30m	23: A=0.40x0.60m	19: A=1.55x1.30m
04: A=1.25x2.00m	10: A=0.30x0.30m	25: A=0.20x0.20m	
05: A=0.50x0.70m	11: A=0.20x0.15m		
06: A=0.50x0.55m	12: A=1.50x1.05m		
07: A=0.35x0.20m	13: A=0.40x0.65m		
20: A=1.10x0.55m	14: A=0.80x0.25m		
21: A=0.40x0.10m	15: A=3.50x0.50m		
22: A=0.40x0.30m	17: A=0.30x0.50m		
24: A=0.35x0.10m	18: A=0.30x0.20m		
26: A=1.50x0.50m			
27: A=0.40x0.35m			
28: A=0.60x0.45m			
29: A=0.35x0.05m			
30: A=0.20x0.50m			

LEGENDA:

-  Fissuração
 Corrosão da armadura
 Deslocamento

Tabela 16. Área das anomalias encontradas na Passarela 4 - Vila Augusto

Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	Piso do Tabuleiro	
01: A=0.70x0.60m	17: A=0.50x0.80m	06: L=0.52m e=0.4mm	09: L=2.05m e=0.4mm	29: L=2.43m e=1.4mm
02: A=0.35x0.35m	48: A=43.16x1.00m	07: L=0.36m e=0.6mm	10: L=0.54m e=1.3mm	30: L=2.10m e=1.8mm
03: A=7.00x1.00m	49: A=41.91x1.00m	08: L=0.64m e=0.9mm	11: L=1.88m e=0.8mm	31: L=2.20m e=4.0mm
04: A=0.30x0.80m	50: A=7.59x1.00m		12: L=1.53m e=1.2mm	32: L=2.00m e=5.0mm
05: A=0.70x1.00m	51: A=7.00x1.00m		13: L=0.56m e=0.5mm	33: L=2.06m e=5.0mm
57: A=2.13x0.30m	52: A=8.35x1.00m		14: L=1.04m e=0.9mm	34: L=2.09m e=5.0mm
58: A=0.20x0.40m	53: A=4.72x1.00m		15: L=1.80m e=1.2mm	35: L=2.05m e=5.0mm
	54: A=5.04x1.00m		16: L=1.28m e=1.1mm	36: L=2.00m e=5.0mm
	55: A=3.24x1.00m		18: L=2.40m e=1.2mm	37: L=2.10m e=5.0mm
	56: A=5.20x1.00m		19: L=1.73m e=0.7mm	38: L=1.94m e=2.0mm
	59: A=0.20x0.40m		20: L=1.00m e=0.8mm	39: L=2.13m e=1.5mm
			21: L=2.18m e=1.2mm	40: L=1.95m e=1.3mm
			22: L=1.02m e=1.4mm	41: L=0.70m e=1.0mm
			23: L=1.24m e=1.0mm	42: L=1.74m e=1.2mm
			24: L=2.25m e=1.0mm	43: L=2.24m e=1.5mm
			25: L=2.10m e=5.0mm	44: L=2.33m e=3.5mm
			26: L=2.20m e=1.8mm	45: L=1.57m e=1.3mm
			27: A=1.40x0.90m	46: L=2.24m e=3.0mm
			28: L=1.32m e=2.0mm	47: L=2.30m e=1.4mm

LEGENDA:

 Fissuração

 Corrosão da armadura

 Deslocamento

Tabela 17. Área das anomalias encontradas na Passarela 5 - Vila Gomes

Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	Piso do Tabuleiro
01: A=0.52x0.70m	03: A=3.00x0.25m	60: L=1.10m e=1.0mm	46: A=2.50x1.60m
02: A=3.91x1.15m	04: A=0.80x0.40m	61: L=7.20m e=3.0mm	47: L=3.00m e=1.1mm
11: A=0.43x0.06m	05: A=1.00x0.60m	62: L=9.20m e=1.1mm	48: L=4.20m e=1.4mm
12: A=0.56x0.07m	06: A=3.80x0.25m		49: A=2.10x0.90m
13: A=0.15x0.09m	07: A=1.40x0.25m		50: L=1.40m e=0.8mm
14: A=0.26x0.09m	08: A=1.40x0.50m		51: L=1.60m e=0.7mm
15: A=0.14x0.08m	09: A=0.40x0.30m		52: L=1.90m e=0.6mm
16: A=0.30x0.10m	10: A=2.10x0.30m		53: L=0.80m e=0.8mm
17: A=0.15x0.05m	22: A=3.00x0.91m		54: L=1.40m e=0.8mm
18: A=0.85x0.08m	23: A=1.50x1.15m		55: L=1.60m e=0.7mm
19: A=0.35x0.08m	31: A=0.25x0.20m		56: L=4.20m e=1.2mm
20: A=0.31x0.07m	32: A=0.46x0.23m		57: L=1.80m e=0.9mm
21: A=0.70x0.30m	33: A=1.05x0.40m		58: L=4.00m e=1.2mm
24: A=0.45x0.15m	34: A=2.27x0.01m		59: L=1.30m e=1.8mm
25: A=0.32x0.11m	35: A=3.30x0.53m		
26: A=0.70x0.30m	36: A=0.20x0.20m		
27: A=0.66x0.11m	37: A= 2.80x0.36m		
28: A=0.91x1.15m	38: A=1.74x0.60m		
29: A=0.44x0.16m	39: A=0.60x0.26m		
30: A=0.91x0.40m	40: A=1.14x0.20m		
44: A=3.36x1.15m	41: A=0.95x0.28m		
45: A=1.68x1.15m	42: A=51.66x1.15m		
	43: A=62.73x1.15m		
	63: A=1.50x1.15m		
	64: A=24.04x1.15m		
	65: A=32.60x1.15m		

LEGENDA:

-  Fissuração
 Corrosão da armadura
 Deslocamento

Tabela 18. Área das anomalias encontradas na Passarela 6 - Luigi Greco

Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Acesso	Piso do Tabuleiro
06:A=0,30x0,55m	40:A=0,30x2,80m	01:L= 2,09m e=7,5mm	21:A=2,78x2,05m
07:A=0,55x5,10m	41:A=0,30x1,90m	02:L= 1,84m e=4,5mm	23:A=0,60x0,60m
09:A=0,30x1,30m	42:A=0,30x2,00m	03:L= 2,11m e=1,1mm	24:A=0,90x1,00m
10:A=0,60x2,20m	43:A=0,60x2,00m	04:L= 0,85m e=1,2mm	25:A=0,50x1,00m
11:A=0,45x1,00m	44:A=0,30x1,50m	05:L= 1,82m e=2,0mm	28:A=0,40x0,40m
12:A=0,40x1,30m	45:A=0,20x1,50m	08:L= 2,10m e=1,0mm	29:A=2,30x2,80m
13:A=0,50x0,60m	46:A=0,60x1,20m	17:A=2,75x2,80m	30:L=1,2m e=4,5mm
14:A=0,60x2,00m	47:A=0,60x1,70m	18:L= 2,5m e=3,0mm	31:L=0,7m e=3,0mm
15:A=0,70x2,60m	48:A=0,60x0,70m		32:A=2,80x2,80m
16:A=0,70x0,85m	49:A=0,25x0,80m		
19:A=0,50x1,00m	50:A=0,30x0,40m		
20:A=0,30x0,90m	51:A=0,30x0,70m		
37:A=0,30x0,40m	52:A=0,50x0,60m		
38:A=0,30x0,30m	53:A=0,20x0,40m		
39:A=0,60x2,70m			

LEGENDA:

- Fissuração
- Corrosão da armadura
- Deslocamento

Tabela 19. Área das anomalias encontradas na Passarela 7 - Rua do Curtume			
Guarda-Corpo (GC) do Acesso	Guarda-Corpo (GC) do Tabuleiro	Piso do Tabuleiro	
01: L=0,40m e=0,45mm	04: A=0,20x1,50m	60: A=1,10x0,40m	
02: L=0,40m e=0,40mm	05: A=0,15x0,90m	61: A=0,10x1,20m	
03: L=0,40m e=0,45mm	06: A=0,30x0,90m	62: A=1,10x0,20m	
33: A= 0,30x0,50m	07: A=0,40x0,50m	63: A=1,70x0,20m	
34: A=1,30x0,90m	08: A=0,30x0,40m	64: A=0,30x0,40m	
77: L=0,40m e=0,35mm	09: A=0,15x0,10m	65: A=0,40x0,30m	
78: L=0,40m e=0,40mm	10: A=0,15x0,10m	66: A=1,00x0,20m	
79: L=0,40m e=0,55mm	11: A=0,20x0,20m	67: A=2,20x0,30m	
80: L=0,45m e=1,30mm	12: A=0,10x0,15m	68: A=0,30x2,20m	
	13: A=0,20x0,30m	69: A=0,30x0,70m	
	14: A=0,10x0,15m	70: A=1,60x0,20m	
	15: A=0,20x0,40m	71: A=0,30x1,70m	
	16: A=0,20x0,50m	72: A=0,30x0,40m	
	17: A=1,50x0,90m	73: A=0,30x1,40m	
	18: A=0,30x0,70m	74: A=0,30x1,20m	
	19: A=0,15x0,40m	75: A=2,00x0,20m	
	20: A=0,40x0,40m	76: A=0,80x2,40m	
	21: A=14,0x0,90m		
	22: A=0,30x0,50m		
	23: A=0,60x0,40m		
	24: A=1,40x0,50m		
	25: A=0,50x0,60m		
	26: A=4,80x0,90m		
	27: A=1,70x0,90m		
	28: A=3,30x0,90m		
	29: A=1,10x0,40m		
	30: A=0,50x0,90m		

LEGENDA:

 Fissuração
 Corrosão da armadura
 Deslocamento