

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM PONTE SOBRE O RIO TIETÊ
LOCALIZADA NA REGIÃO DE JAÚ - SP**

KAUÃ NASCIMENTO BARROS DE VASCONCELLOS

MACAÉ, RJ - BRASIL
MAIO – 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM PONTE SOBRE O RIO TIETÊ
LOCALIZADA NA REGIÃO DE JAÚ - SP**

KAUÃ NASCIMENTO BARROS DE VASCONCELLOS

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial necessário à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Anselmo Leal Carneiro

Coorientadora: Prof. M.Sc. Thais da Silva Rocha

MACAÉ, RJ - BRASIL

MAIO – 2019

ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM PONTE SOBRE O RIO TIETÊ LOCALIZADA NA REGIÃO DE JAÚ - SP

KAUÃ NASCIMENTO BARROS DE VASCONCELLOS

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ, COMO REQUISITO PARCIAL NECESSÁRIO À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO CIVIL.

Aprovada em 8 de Maio de 2019.

Comissão Examinadora:

Prof Anselmo Leal Carneiro, M.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof. Thais da Silva Rocha, M.Sc. (Coorientadora)
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof. Bruno Barzellay Ferreira da Costa. D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

MACAÉ, RJ – BRASIL
MAIO – 2019

Nascimento Barros de Vasconcellos, Kauã

Análise de Patologias em Ponte Sobre o Rio Tietê Localizada na Região de Jaú - SP/ Kauã Nascimento Barros de Vasconcellos – Macaé: UFRJ/Campus UFRJ-Macaé, 2019.

I, 131 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Anselmo Leal Carneiro
Coorientadora: Thais da Silva Rocha

Projeto de Graduação – UFRJ / Campus UFRJ-Macaé / Curso de engenharia civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 77-80.
Anexos: 81-119

1. Introdução. 2. Revisão Bibliográfica. 3. Metodologia. 4. Resultados. 5. Conclusões. 6. Sugestões para trabalhos futuros.

I. Carneiro, Anselmo Leal; Rocha, Thais da Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus UFRJ-Macaé, Curso de Engenharia Civil. III. Análise de Patologias em Ponte Sobre o Rio Tietê Localizada na Região de Jaú - SP.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e perseverança para que conseguisse superar todas as minhas dificuldades.

Aos meus pais Antônio e Adriana e irmãos Rayssa e Nuno, por todo amor, apoio e incentivo depositado para que eu pudesse atingir os meus objetivos.

A minha avó Oucy, que com toda sua fé e amor me deixou mais forte para a batalhar pelos meus sonhos.

A minha namorada Amanda, que desde o terceiro período da faculdade veio acompanhando de perto toda minha alegria e dificuldades para atingir esse sonho, e com sua empatia e senso de equilíbrio me ajudou bastante nessa conquista.

Aos meus amigos de faculdade, que com nossa parceria verdadeira e por viver intensamente o mesmo objetivo fomentou a superação das grandes dificuldades.

A Franchetti & Merola, por ter me dado a oportunidade de estagiar e adquirir um vasto conhecimento de engenharia que não tive oportunidade de aprender dentro da sala de aula, me tornando um profissional mais capacitado no mercado de trabalho além disso, agradeço também por ter cedido bastante material para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu amigo de trabalho Pedro Coutinho, por ter me ajudado com os seus conhecimentos sobre o assunto tratado nesse trabalho e por vários debates que agregaram a expansão do meu conhecimento.

A minha orientadora Thaís Rocha, pelo comprometimento, dedicação e organização, fazendo de tudo para que esse trabalho se tornasse realidade e com uma alta qualidade.

Aos professores, por todo conhecimento passado e por ter me demonstrado que engenharia civil é mesmo fascinante.

E todos aqueles que contribuíram diretamente ou indiretamente para minha evolução e formação, o meu sincero, muito obrigado, essa conquista é nossa.

RESUMO

As patologias ocorrem nas estruturas de concreto devido, principalmente, às falhas no projeto, na execução da obra ou até mesmo por falta de manutenção. A depender da localização da estrutura, sua função estrutural e das condições climáticas as quais estará submetida, ela pode estar sujeita a ataques químicos, físicos e/ou biológicos. As pontes são estruturas muito suscetíveis a desenvolver patologias pelo fato de estarem localizadas perto ou dentro de correntes de água e conseqüentemente sujeita a agentes agressivos com muita periodicidade. Este trabalho abordou a análise e identificação das patologias existentes em uma ponte localizada sobre o Rio Tietê, na região de Jaú em São Paulo. Foram reportadas a causa, localização e extensão das patologias além dos requisitos e ensaios para a identificação das mesmas. Metodologias de reparo foram sugeridas e uma discussão foi feita a respeito da importância da manutenção no controle de patologias.

Palavras-chave: patologia, ponte, inspeção, terapia.

ABSTRACT

The pathologies come in the concrete structure due to project failure, problem in the execution of the activity, or when do not do maintenance. Depending on the location of the structure, the structural function and the climatic conditions to which it will be subjected, it may be subject to chemical, physical and/or biological attacks. The bridges are structures very susceptible to develop pathologies because they are located near or in water currents and consequently subject to aggressive agents are very frequently. This work discussed the analysis and the identification of existing pathologies in the bridge located on the Tietê river, in the region of Jáu in São Paulo. The cause, location and extent of pathologies have been reported beyond the requirements and tests to identify them. Repair methodologies were suggested and a discussion was made regarding the importance of maintenance in the control of pathologies.

Keywords: pathology, bridge, inspection, therapy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico das causas de patologias.	4
Figura 2: Regra de Sitter.	9
Figura 3: Fissura na barreira rígida da ponte.	11
Figura 4: Fenda no muro da ala.	12
Figura 5: Esquema simplificado da carbonatação.	13
Figura 6: Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto com poros totalmente secos.	14
Figura 7: Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto saturado com água.	14
Figura 8: Avanço da frente de carbonatação.	15
Figura 9: Gráfico profundidade de carbonatação <i>versus</i> tempo.	15
Figura 10: Carbonatação sendo condicionada pela abertura de fissuras.	16
Figura 11: Crosta expansiva no entorno da armadura.	20
Figura 12: Tipos de corrosão em uma barra de aço imersa em meio de concreto.	21
Figura 13: Eflorescência no tabuleiro de uma ponte.	21
Figura 14: Estrutura disgregada devido ao choque mecânico de um veículo.	22
Figura 15: Manchas por infiltração por falta de buzinote.	23
Figura 16: Avaliação de dureza superficial pelo esclerômetro.	28
Figura 17: Área reticulado do ensaio.	29
Figura 18: Medição da profundidade carbonatada.	30
Figura 19: Ponte sobre o Rio Tietê.	36
Figura 20: Planta da pista da obra vistoriada.	37
Figura 21: Vista inferior da ponte.	37
Figura 22: Vista longitudinal da ponte do encontro leste ao pilar 5.	38
Figura 23: Vista longitudinal da ponte do pilar 5 ao encontro oeste.	38
Figura 24: Seção transversal do encontro.	39
Figura 25: Linhas de apoio com 6 tubulões e 3 pilares.	39
Figura 26: Linhas de apoio com 2 tubulões e 2 pilares.	40
Figura 27: Rede de utilidade nas laterais da ponte.	40
Figura 28: Presença de <i>dolphin</i> para proteção dos pilares.	41
Figura 29: Balanço laterais com presença de buzinotes.	41
Figura 30: Drenagem da pista-canaleta tipo trapezoidal.	41
Figura 31: (1) Mancha de infiltração na laje.	46
Figura 32: (2) Mancha de infiltração no bloco de fundação.	46
Figura 33: (3) Mancha de infiltração na viga travessa e transversina.	46
Figura 34: (4) Interrupção dos lábios poliméricos e desgastes nos perfis elastoméricos das juntas. ...	47
Figura 35: (5) Buzinotes ausentes causando mancha de infiltração.	47
Figura 36: (6) Eflorescência no balanço da ponte.	49
Figura 37: (7) Concreto desagregado na viga do primeiro vão.	50
Figura 38: (8) Concreto desagregado no bloco de fundação.	51
Figura 39: (9) Manchas enegrecidas no bloco do pilar.	52
Figura 40: (10) Fissura no bloco de fundação.	53
Figura 41: (11) Fissura no balanço.	53
Figura 42: (12) Fissura na barreira rígida.	53
Figura 43: (13) Corrosão das armaduras na barreira rígida central.	55
Figura 44: (14) Trinca tipo "couro de jacaré" na rodovia.	56
Figura 45: (15) Painel na rodovia.	57
Figura 46: (16) Corrosão das vigas metálicas.	57
Figura 47: Etapas de procimento para o tratamento de fissura.	64
Figura 48: Delimitação correta da área a ser tratada.	66
Figura 49: Procedimento de apicoamento.	66
Figura 50: Procedimento de escarificação.	67

Figura 51: Instalação do lábio polimérico.....	70
Figura 52: Demolição da face inferior da laje para o prolongamento do buzinote.	73
Figura 53: Planta da pista parte 1.	81
Figura 54: Planta da pista parte 2.	82
Figura 55: Planta da pista parte 3.	83
Figura 56: Planta da pista parte 4.	84
Figura 57: Planta da pista parte 5.	85
Figura 58: Planta da pista parte 6.	86
Figura 59: Vista inferior parte 1.	87
Figura 60: Vista inferior parte 2.	88
Figura 61: Vista inferior parte 3.	89
Figura 62: Vista inferior parte 4.	90
Figura 63: Vista inferior parte 5.	91
Figura 64: Vista inferior parte 6.	92
Figura 65: Planta de locação parte 1.	93
Figura 66: Planta de locação parte 2.	94
Figura 67: Planta de locação parte 3.	95
Figura 68: Planta de locação parte 4.	96
Figura 69: Planta de locação parte 5.	97
Figura 70: Planta de locação parte 6.	98
Figura 71: Seção transversal do pilar 1 e dos pilares de 6 a 10.	99
Figura 72: Seção transversal do pilar 2 e 5.	100
Figura 73: Seção transversal do encontro.	101
Figura 74: Seção Transversal do pilar 3 e 4.	102
Figura 75: Localização de manchas de infiltração no vão 3.	103
Figura 76: Localização de manchas de infiltração no bloco de fundação do pilar 5.	104
Figura 77: Localização de manchas de infiltração na seção transversal do pilar 8.	105
Figura 78: Localização de manifestações patológicas no início da pista.	106
Figura 79: Localização de manchas de infiltração no balanço do vão 10.	107
Figura 80: Localização da eflorescência no balanço lateral do vão 2.	108
Figura 81: Localização do concreto desagregado na viga do vão 1.	109
Figura 82: Localização do concreto desagregado no bloco do pilar 1.	110
Figura 83: Localização de manchas enegrecidas e fissura no bloco do pilar 1.	111
Figura 84: Localização de fissura no balanço do vão 6.	112
Figura 85: Localização de fissura e armadura exposta na barreira rígida.	113
Figura 86: Localização da corrosão das vigas metálicas.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipo de abertura <i>versus</i> espessura da abertura	11
Tabela 2: Correlação entre a resistividade do concreto e a taxa de corrosão provável.....	26
Tabela 3: Classificação da qualidade do concreto com base na velocidade dos pulsos.....	27
Tabela 4: Classes de agressividade ambiental.....	42
Tabela 5: Modelo de ficha de classificação da OAE.....	43
Tabela 6: Classificação da condição da OAE.....	44
Tabela 7: Quantitativo de manchas de infiltração.....	48
Tabela 8: Quantitativo de eflorescência.....	50
Tabela 9: Quantitativo do concreto desagregado.....	51
Tabela 10: Quantitativo de manchas enegrecidas.....	52
Tabela 11: Quantitativo de fissuração.....	54
Tabela 12: Resultados do ensaio de carbonatação.....	55
Tabela 13: Quantitativo de corrosão.....	56
Tabela 14: Ficha de classificação da ponte sobre o rio Tietê.....	58
Tabela 15: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas no tratamento de fissuras.....	60
Tabela 16: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para tratamento de fissuras menores que 3mm.....	63
Tabela 17: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para tratamento do concreto desagregado.....	65
Tabela 18: Equipamentos, materiais e ferramentas para tratamento de juntas de dilatação.....	68
Tabela 19: Parâmetros para recuperação das juntas.....	69
Tabela 20: Especificações técnicas para o reforço com argamassa à base de resina epóxi.....	70
Tabela 21: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizados no tratamento superficial de concreto.....	71
Tabela 22: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizados para o prolongamento do buzinote.....	72
Tabela 23: Equipamentos, materiais e ferramentas para recuperação do pavimento asfáltico.....	73
Tabela 24: Patologias encontradas nos elementos estruturais da ponte.....	115
Tabela 25: Patologias encontradas nos elementos estruturais da ponte (Continuação).....	115
Tabela 26: Terapia do concreto desagregado com armadura exposta.....	117
Tabela 27: Terapia para tratamento de fissuras.....	117
Tabela 28: Levantamento quantitativo de manchas de infiltração, manchas enegrecidas e eflorescência.....	118
Tabela 29: Levantamento quantitativo para o prolongamento do buzinote.....	118
Tabela 30: Levantamento quantitativo para recuperação das juntas de dilatação.....	118
Tabela 31: Levantamento quantitativo para recuperação do pavimento.....	119

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo geral	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 PATOLOGIAS EM PONTES E VIADUTOS	3
2.1.1 Causas e origens das patologias	3
2.1.1.1 Falhas na concepção da estrutura (projeto)	4
2.1.1.2 Má qualidade do material	5
2.1.1.3 Falhas na execução da estrutura	6
2.1.1.4 Utilização indevida e manutenção ausente	7
2.1.1.5 Cheias nos rios	9
2.1.2 Tipos de patologia	10
2.1.2.1 Fissuras e trincas	10
2.1.2.2 Determinação da reação álcali-agregado (RAA)	12
2.1.2.3 Carbonatação	12
2.1.2.5 Corrosão das armaduras	18
2.1.2.6 Eflorescência	21
2.1.2.7 Desagregação do concreto	21
2.1.5.8 Concreto disgregado	22
2.1.5.9 Manchas por infiltração	22
2.2 INSPEÇÕES EM PONTES	23
2.2.1 Tipos de Inspeções	23
2.2.1.1 Inspeção cadastral	24
2.2.1.2 Inspeção rotineira	24
2.2.1.3 Inspeção especial	24
2.2.1.4 Inspeção extraordinária	25
2.3. MÉTODOS E ENSAIOS EXECUTADOS NA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS	25
2.3.1. Ensaio em testemunhos extraídos do concreto	25
2.3.2 Determinação da reação álcali-agregado (RAA)	26
2.3.3 Determinação da resistividade elétrica	26
2.3.4 Ensaio de ultrassom	27
2.3.5 Pacometria	27
2.3.6 Esclereometria	28
2.3.7 Ensaio de carbonatação	29
2.4 TERAPIA EM PONTES	30
2.4.1 Reparos	31
2.4.1.1 Reparos rasos	31
2.4.1.2 Reparos semiprofundos	31
2.4.1.3 Reparos Profundos	32
2.4.1.4 Reparo Localizado	32
2.4.1.5 Reparos generalizados	33
2.4.2 Reforços estruturais	33
3. METODOLOGIA	36
4. RESULTADOS	45
4.1 ANÁLISE DE PATOLOGIAS NA PONTE	45
4.1.1 Manchas de infiltração	45
4.1.2 Eflorescência	49
4.1.3 Concreto desagregado	50
4.1.4 Manchas enegrecidas	52
4.1.5 Fissuras	52
4.1.5 Carbonatação	54
4.1.6 Corrosão da armadura	55
4.1.6 Problemas na pavimentação	56
4.1.7 Corrosão na estrutura metálica	57

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA OAE	57
4.3 RECUPERAÇÃO DA ESTRURA DE CONCRETO - TERAPIAS.....	59
4.3.1 Tratamento de fissuras	59
4.3.2 Tratamento de fissuras passivas ($A < 0,3\text{mm}$), fissuras colmatadas ou em elementos secundários	62
4.3.3 Preparo da superfície para tratamento do concreto desagregado.....	64
4.3.4 Tratamento superficial do concreto	71
4.3.5 Prolongamento dos buzinotes	71
4.3.6 Recuperação de pavimento asfáltico sobre a estrutura	73
4.4 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO	74
5. CONCLUSÕES	75
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO I.....	81
ANEXO II.....	103
ANEXO III.....	115
ANEXO IV	117

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde a antiguidade o homem se preocupa em construir estruturas que se adaptem a suas necessidades básicas como moradia, transporte, indústria e lazer. Para ganhar novos territórios e transpor grandes distâncias, especialmente quando havia água como obstáculo, foram criados elementos estruturais do tipo pontes, que mais tarde vieram a ser classificadas como obras de arte especiais (OAE).

Esse tipo de elemento estrutural, fundamental na construção de rodovias e ferrovias, é geralmente construído em concreto aparente e sua localização, perto do mar ou rio, o deixa vulnerável à ação de agentes agressivos e intempéries. Como são estruturas de médio a grande porte que possuem um elevado custo de execução, espera-se que atendam às condições de serviço para a qual foram projetadas por muitos anos, ou seja, que apresentem uma longa vida útil.

Segundo Araújo (2014), geralmente as normas de projeto consideram uma vida útil mínima de 50 anos para estruturas usuais dos edifícios, porém para obras mais importantes, é necessário estabelecer critérios para uma vida útil mais prolongada, no caso de ponte, é viável projetar vida útil para 100 anos.

Essa estrutura tem diferentes regiões de agressividade e nas regiões de variação de maré a classe de agressividade pode ser considerada máxima. Entretanto, fora dessa região, mesmo com uma menor agressividade, o ambiente também pode ser hostil, causando diversos tipos de patologias. Portanto é preciso traçar um plano de manutenção eficiente para que a vida útil de projeto seja alcançada, caso contrário, invariavelmente ela passará por algumas intervenções para corrigir os danos causados por diversas patologias que podem vir a atacá-la. Havendo um dano que implique em interdição de uma dessas estruturas, haverá também uma interdição da rodovia naquele ponto. Desvios longos e tempo destinados a recuperação das OAE's causam sérios prejuízos à economia nacional.

Sendo assim, este trabalho visa apresentar quais os procedimentos para identificação e causas das principais patologias em pontes e alerta para como a manutenção deste tipo de estrutura pode ser fundamental para evitar grandes intervenções e consequentemente aumentar sua vida útil.

1.2. JUSTIFICATIVA

Recentemente a mídia noticiou o caso de dois viadutos brasileiros que apresentaram problemas em sua estrutura por falta de manutenção e um deles veio a desabar. O primeiro deles foi um viaduto no Eixão Sul, na área central de Brasília, que chegou a desabar em 6 de fevereiro de 2018. E o segundo foi um viaduto na Marginal Pinheiros em São Paulo em 16 de novembro de 2018. Felizmente os dois episódios não tiveram vítimas mas especialistas afirmam que ambos os casos poderiam ter sido evitados caso as estruturas tivessem sido inspecionadas com periodicidade e uma rotina de manutenção fosse realizada.

Sendo assim, a motivação deste trabalho está pautada na importância de se difundir que as estruturas civis estão suscetíveis a patologias que podem reduzir sua vida útil de projeto e possivelmente causar acidentes como os reportados. Em nível de graduação, pouco se fala nas possíveis deteriorações que as estruturas, em especial as de concreto armado, estão sujeitas e é evidente a necessidade de formar engenheiros que sejam capazes de identificar e propor soluções para as patologias mais comuns, mas principalmente ter consciência de que a eficiência de uma estrutura vai além de resistência mecânica e implica em muito na manutenção realizada durante sua vida útil.

1.3. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

1.3.1 Objetivo geral

Esse trabalho teve como objetivo geral avaliar uma ponte sobre o rio Tietê, localizada na região de Jaú – SP, identificando quais são as patologias existentes e propondo uma solução para elas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Inspeccionar a ponte;
- Identificar as patologias existentes na ponte analisada;
- Identificar as causas das patologias existentes.
- Classificar a ponte de acordo com o tipo e grau de anomalia;
- Propor soluções de terapia para as patologias identificadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PATOLOGIAS EM PONTES E VIADUTOS

A NBR 9452 (ABNT, 2016, p.4) descreve patologia como sendo o "estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como as alterações por esta trazida ao elemento em análise à obras de artes especiais".

Segundo Lemos (2005), no Brasil, é comum encontrar pontes com diferentes problemas patológicos devidos, principalmente, a falta de manutenção rotineira e a utilização de estruturas que já excederam sua vida útil. Na maioria dos casos o que ocorre é um abandono parcial ou total dessas estruturas até que elas atinjam um elevado grau de deterioração, a ponto de requerer grandes intervenções a altos custos.

2.1.1 Causas e origens das patologias

O surgimento de problemas patológicos em estruturas indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade próprio a uma ou mais atividades. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 23)

As causas de patologias mais comuns apontadas por Souza e Ripper (1998) são:

- a) Falhas na concepção da estrutura (projeto);
- b) Má qualidade dos materiais;
- c) Erro na execução;
- d) Utilização para fins diferentes dos calculados em projeto;
- e) Falta de manutenção no decorrer do tempo.

A Figura 1, apresenta um gráfico com as porcentagens de ocorrência das principais causas de patologias indicadas acima. Observa-se que a maioria dessas causas podem ser evitadas em fase de projeto ou execução somente atendendo as

recomendações de projeto e/ou execução ou durante sua vida útil em que o usuário final deve prever manutenções periódicas na estrutura.

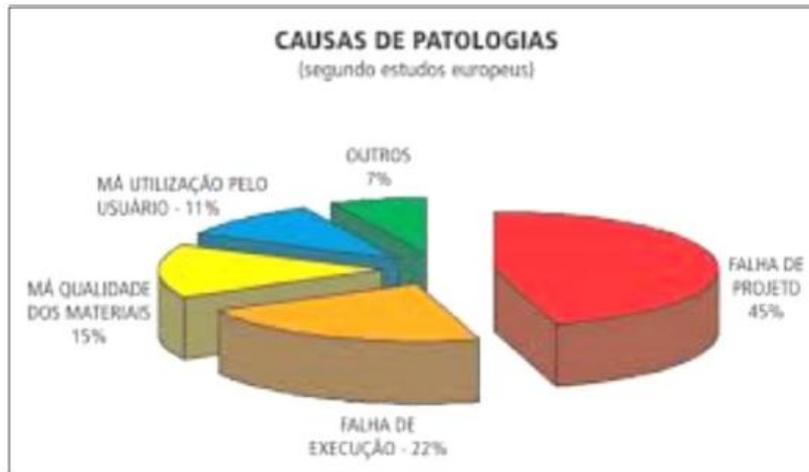


Figura 1: Gráfico das causas de patologias.
(COUTO, 2007)

No caso de estruturas do tipo pontes, uma das causas de patologias que não foram descritas por Souza e Ripper (1998) são as cheias dos rios, que podem inclusive levar ao colapso estruturas de pequeno porte.

Nos itens seguintes são descritas as principais causas de patologias citadas anteriormente.

2.1.1.1 Falhas na concepção da estrutura (projeto)

Segundo Souza e Ripper (1998), várias anomalias podem ser originadas na etapa de concepção da estrutura, devido a falhas durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto ou na elaboração do projeto de execução. Couto (2007) pontua os principais problemas que podem ocorrer durante a etapa de elaboração do projeto, sendo eles:

- a) Má definição das ações atuantes ou combinação mais desfavorável para a estrutura;
- b) Deficiência na avaliação de resistências do solo, podendo levar, por exemplo, a recalques inesperados ao longo da construção;
- c) Adoção de peças com espessura de cobrimento e relação água/cimento incompatíveis com tempo e as condições de exposição da estrutura;

- d) Especificação inadequada dos materiais;
- e) Dimensionamento que leva a grandes deformações na estrutura, levando ao surgimento de fissuras;
- f) Incompatibilização entre os projetos;
- g) Detalhes construtivos difíceis de serem executados;

As falhas originadas durante o estudo preliminar deficiente ou no anteprojeto são responsáveis, principalmente, pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da obra, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 24)

2.1.1.2 Má qualidade do material

Souza e Ripper (1998) afirmam que o controle adequado reduz substancialmente a utilização incorreta dos materiais de construção e deficiências na concretagem. Abaixo são listados, de acordo com Souza e Ripper (1998, p. 33), "os casos mais comuns de utilização incorreta dos materiais de construção":

- i. Utilização de concreto com f_{ck} inferior ao especificado, devido à encomenda errada, erro do fornecimento de concreto usinado e falhas na produção do concreto na própria obra;
- ii. Utilização de aço com características diferentes das especificadas, quer em termos de categorias, quer de bitolas;
- iii. Assentamento das fundações em camadas de solo com capacidade resistente ou características inferiores à requerida;
- iv. Utilização de agregados reativos, instaurando, desde o início, a possibilidade de geração de reações expansivas no concreto e potencializando os quadros de desagregação e fissuração do mesmo;
- v. Utilização inadequada de aditivos, alterando as características do concreto, em particular as relacionadas com resistência e durabilidade;

- vi. Dosagem inadequada do concreto, seja por erro no cálculo da mesma, seja pela utilização incorreta de agregados, tipo de cimento ou água. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 33-34)

Sendo assim, definidas especificações dos materiais na fase do projeto, é importante que haja controle na aquisição dos insumos durante a fabricação do concreto, para que o concreto não seja rejeitado e garanta suas especificações. É importante salientar que a caracterização dos materiais do concreto deve estar em conformidade com a NBR 12655 (ABNT, 2015).

A NBR 16697 (ABNT, 2018), que aborda os requisitos para o controle tecnológico do cimento, recomenda que diversos cuidados devem ser tomados para garantir sua adequabilidade. Alguns desses cuidados, de acordo com a referida norma, são: módulo de finura do cimento, tempo de início e fim de pega, resistência à compressão, calor de hidratação, perda ao fogo e resíduo insolúvel, entre outras recomendações.

Já para o controle de agregados, a NBR 7211 (ABNT, 2009), faz as recomendações de ensaios que são referenciados em norma, sendo a principal preocupação a respeito da análise mineralógica e química do material, que podem detectar a presença de contaminantes reativos no agregado; e a distribuição granulométrica e o formato dos grãos, pois diferenças nessas propriedades podem ocasionar alguma variabilidade nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

Além do cimento e dos agregados, a água de amassamento e os aditivos que por ventura venham a ser utilizados também devem atender as recomendações da NBR 16697 (ABNT, 2018), a fim de garantir que não ocorra contaminação do concreto.

2.1.1.3 Falhas na execução da estrutura

A execução da obra deve seguir uma sequência lógica, iniciando só após o término da concepção, ou seja, começando depois de encerrar os estudos sobre a obra, projetos relacionados a construção e a entrega de documentos. Esse cuidado deve ser tomado para que os erros de concepção não sejam levados adiante, provocando retrabalho, custos desnecessários e patologias associadas.

Iniciada a construção, podem ocorrer falhas de diversas naturezas. Souza e Ripper (1998), ressaltam como exemplo a falta de cuidado e motivação no trabalho, a não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e sabotagem.

Uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação profissional do engenheiro e do mestre de obras, podem, com facilidade, levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, escoramentos, fôrmas, posicionamento e quantidade de armaduras e a qualidade do concreto, desde o seu fabrico até a cura. (SOUZA & RIPPER, 1998, p.25)

Um erro comum de se observar nas construções é o surgimento de vazios nas peças de concreto, deixando visíveis os agregados graúdos, devido à má vibração após o lançamento do concreto. São recorrentes também o surgimento de fissuras devido a má qualidade do concreto e retirada do escoramento antes do tempo de cura.

A deficiência na formação profissional dos envolvidos no processo de construção civil, é considerado pelo C.E.B (1983), boletim 183, item 10.2, como o fator principal para não obtenção de estruturas duráveis ou de bom desempenho.

É importante dizer que o fornecimento das informações técnicas sobre os materiais utilizados e as especificações para construção da estrutura são primordiais para que os trabalhadores fiquem motivados e conseqüentemente aumentem as chances de se obter um produto final com maior qualidade.

2.1.1.4 Utilização indevida e manutenção ausente

Mesmo se o processo de execução for um sucesso, as estruturas podem apresentar problemas patológicos originados na má utilização ou da falta de uma manutenção adequada. Segundo Andrade e Silva (2005), o usuário final deve manter os cuidados com a estrutura para que ela mantenha suas características originais e atendam a vida útil para qual foram projetadas. Para isso é preciso

garantir que o uso da edificação seja para o fim para a qual foi projetada (carregamentos previstos em projeto não sejam extrapolados) e que durante sua vida útil seja feita uma rotina de manutenção periódica.

Já Souza e Ripper (1998) defendem que se os usuários fossem informados sobre as possibilidades e as limitações da obra, essas patologias seriam amenizadas. No caso de pontes, propor placas informativas que indiquem a carga limite bruta de um automóvel que possa trafegar na estrutura, conscientiza os usuários e evita sobrecargas imprevistas que pode prejudicar a mesma.

É importante salientar que de acordo com a NBR 7188 (ABNT, 2013) o trem-tipo para as OAE's é de 450 kN, porém muitas pontes antigas foram construídas com trem-tipo de 360 kN, seguindo a norma referente na época NB-6 (ABNT, 1960). Com passar do tempo houve o aumento do tráfego nessas estruturas, fazendo com que a maioria delas ficassem sobrecarregadas, gerando assim patologias devido ao excesso de carregamento não previsto em projeto.

Já em relação as manifestações patológicas geradas pela manutenção inadequada ou ausência dela, Souza e Ripper (1998), ressaltam que são devido ao desconhecimento técnico, incompetência e problemas econômicos. Além disso, afirmam que a falta de alocação de verbas para a manutenção é o principal fator para o surgimento de problemas estruturais consideráveis, implicando gastos significativos ou até a própria demolição da estrutura.

Ainda no ponto de vista econômico da manutenção, segundo Helene (1997), o custo de intervenção de uma estrutura para atingir o nível de durabilidade e proteção ideal, cresce exponencialmente quanto mais tarde for tomada a ação. A evolução desse custo se assemelha a progressão geométrica de razão 5, denominado por "Lei dos 5" ou regra Sitter. A Figura 2 apresenta a evolução dos custos em função da etapa em que a intervenção é feita na estrutura.



Figura 2: Regra de Sitter.
(HELENE, 1997)

De acordo com Helene (1997), o significado da lei dos 5 ou regra de Sitter, pode ser exposto conforme a intervenção ocorra em alguma das fases abaixo.

- Fase de projeto:** medidas tomadas durante o projeto com o intuito de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura. Exemplo: aumento do cobrimento da armadura, redução da relação água /cimento, aumento do f_{ck} , entre outras.
- Fase de execução:** medidas tomadas durante a fase de execução com um custo agregado cinco vezes superior ao custo que acarretaria se tivesse sido na fase de projeto.
- Fase de manutenção preventiva:** as operações isoladas de manutenção. Exemplo: pinturas frequentes, limpezas de fachada sem beirais e sem proteções, impermeabilizações de coberturas e reservatórios mal projetados, entre outras. Essas medidas podem custar até 25 vezes mais que aquelas tomadas na fase de projeto. Porém, podem ser cinco vezes mais baratas que uma manutenção corretiva;
- Fase de manutenção corretiva:** são os trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que não atendem mais a vida útil para qual foram projetadas e apresentam patologias. Podem ser até 125 vezes mais caras que se tivessem sido tomadas medidas na fase de projeto.

As cheias representam um fenômeno com capacidade de produzir graves danos a uma ponte por causa da rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades. A grande intensidade da força de arrasto aumenta o poder erosivo da água, que atinge maiores profundidades no leito do rio causando o solapamento das fundações, criando uma situação que pode provocar a ruptura estrutural da ponte. (VITÓRIO, 2016, p.8)

2.1.2 Tipos de patologia

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas características. A seguir serão analisados os principais tipos de patologias em OAE's, mostrando o porquê do surgimento das mesmas e uma breve descrição sobre elas.

2.1.2.1 Fissuras e trincas

Fissuras são aberturas na estrutura de concreto de profundidade variável podendo apresentar configuração horizontal, vertical, longitudinal, transversal e inclinada. De acordo com Castro (1994), o concreto é um material naturalmente microfissurado e as fissuras não são necessariamente um problema estrutural ou de funcionamento. Porém, deve-se garantir que as fissuras tenham abertura inferior a abertura limite estabelecida pela NBR 6118 (ABNT, 2014) de acordo com sua classe de agressividade ambiental.

A caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser um material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 57)

A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica os limites de fissuração em função da agressividade do ambiente, sendo:

- a) 0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré);
- b) 0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano, marinho e industrial);
- c) 0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

De acordo com Coutinho (2018), a formação de fissuras pode ser oriunda de deficiência estrutural, falha de projeto, tensões geradas por cargas (flexão, cortante e torção), pelo movimento da estrutura devido à carga de vento e carga de utilização, vibração, movimentação térmica, retração do concreto e recalque de fundações. A Tabela 1 apresenta a classificação do tipo de abertura em função da espessura da abertura.

Tabela 1: Tipo de abertura *versus* espessura da abertura (ROSSO, 1975).

Tipo de abertura	Espessura da abertura
Fissura	Até 0,5 mm
Trinca	De 0,5 mm até 1,0mm
Rachadura	De 1,0 mm até 1,5 mm
Fenda	Superior a 1,5 mm

A Figura 3 mostra o fissurômetro, instrumento utilizado para medição da abertura de fissuras.



Figura 3: Fissura na barreira rígida da ponte.
(AUTOR)

Quando uma fissura evolui com o decorrer do tempo significa que a anomalia está avançando para estágios mais críticos e com possibilidades de se tornar uma fenda. Neste caso, a estrutura pode deixar de ser funcional ou até mesmo chegar ao colapso caso não haja uma intervenção. A Figura 4 mostra o muro de uma ala sofrendo recalque na fundação, chegando assim no seu pior estágio, que é a fenda.



Figura 4: Fenda no muro da ala.
(COUTINHO, 2017)

2.1.2.2 Determinação da reação álcali-agregado (RAA)

Segundo Mizumotto (2009), a reação álcali agregado (RAA), é uma reação química envolvendo os hidróxidos alcalinos pertencentes a pasta de cimento e os minerais presentes nos agregados. Essa reação forma o gel sílico-alcalino, que na presença de umidade, possui caráter predominante expansivo e pode levar a fissurações no concreto devido as tensões trativas causadas pela expansão..

2.1.2.3 Carbonatação

Geralmente a carbonatação do concreto é condição essencial para o início da corrosão das armaduras. Nas superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade, obtida principalmente às custas da presença de Ca(OH)_2 liberado nas reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo. Esta redução ocorre essencialmente pela redução do CO_2 do ar, além dos outros gases ácidos tais como SO_2 e H_2S . Esse processo é chamado de carbonatação e, felizmente, dá-se a uma velocidade lenta, atenuando-se com o tempo. Isto pode ser explicado pela hidratação

crescente do cimento, além dos próprios produtos da reação de carbonatação (CaCO_3) que colmatam os poros superficiais, dificultando cada vez mais o acesso de CO_2 presente no ar, ao interior do concreto. (CASCUDO, 1997, p. 50)

De acordo com Souza e Ripper (1998), caso a carbonatação ficasse limitada a uma espessura inferior ao cobrimento de armadura, poderia ser benéfico ao concreto devido ao preenchimento dos poros o que levaria a um aumento de resistência mecânica e química.

O processo de carbonatação está relacionado com a concentração de CO_2 presente no meio, segundo Souza e Ripper (1998), o pH do concreto reduz de acordo com o aumento da concentração de CO_2 , podendo a chegar a valores inferiores a 9, caso isso ocorra a camada carbonatada se torna muito espessa.

Já Cascudo (1997) caracteriza o processo a partir da frente de carbonatação, que separa duas zonas com pH muito diferentes, uma sendo menor que 9 (carbonatada) e outra maior que 12 (não carbonatada). Essa frente de carbonatação deve ser sempre mensurada com relação à espessura do concreto de cobrimento da armadura. É importante que ela não atinja a armadura, sob pena de despassivá-la. A Figura 5 mostra um esquema simplificado do processo de carbonatação.

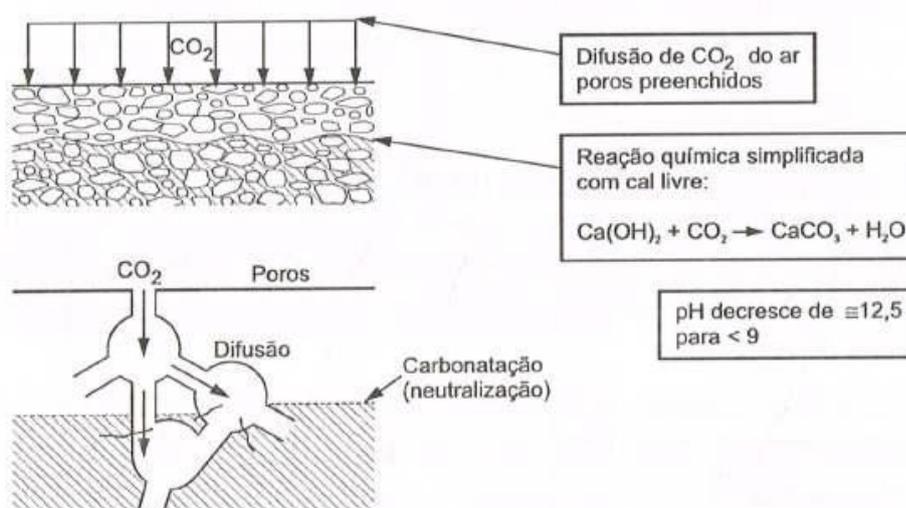


Figura 5: Esquema simplificado da carbonatação.
(CASCUDO, 1997)

O nível de água preenchido no concreto, faz grande diferença no processo de carbonatação. Segundo Cascudo (1997), se os poros estão secos o CO_2 irá se

difundir no interior deles, mas a carbonatação não ocorrerá por falta de água (Figura 6). Já se os poros estiverem totalmente preenchidos de água, não haverá quase nenhuma carbonatação devido à baixa taxa de difusão de CO_2 na água (Figura 7). Por fim, se os poros estiverem parcialmente preenchidos por água, a frente de carbonatação avança até a profundidade onde os poros de concreto apresentam essa condição favorável. Essa situação é prejudicial, no ponto de vista da despassivação da armadura.

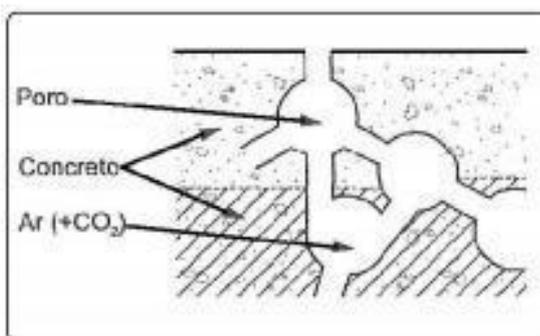


Figura 6: Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto com poros totalmente secos.
(CASCUDO, 1997)

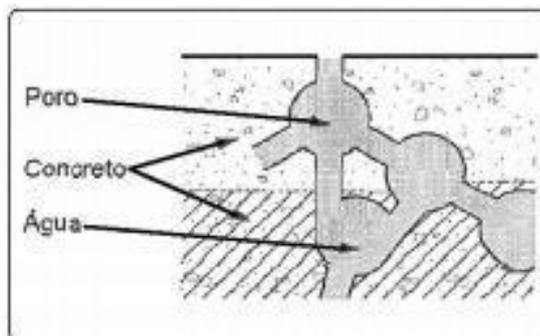


Figura 7: Representação esquemática da carbonatação parcial do concreto saturado com água.
(CASCUDO, 1997)

Cascudo (1997) afirma que o processo de carbonatação está diretamente relacionado a qualidade do concreto, ou seja, se ele foi lançado, adensado e curado corretamente, tipo de cimento utilizado, entre outros parâmetros. Quanto maior a relação água/cimento (menor qualidade do concreto) maior será a carbonatação.

Com a carbonatação, descaracterizada a camada passivadora, acontece a corrosão generalizada do aço, tal como se estivesse

simplesmente exposto a atmosfera sem qualquer proteção, porém com o agravante de que a umidade permanece no interior do concreto e, portanto, em contato com a armadura muito mais tempo do que se esta estivesse exposta ao ar, já que o concreto absorve umidade muito rapidamente, mas seca bem lentamente (CASCUDO, 1997, p. 53).

A Figura 9 apresenta a evolução da profundidade de carbonatação com o tempo.

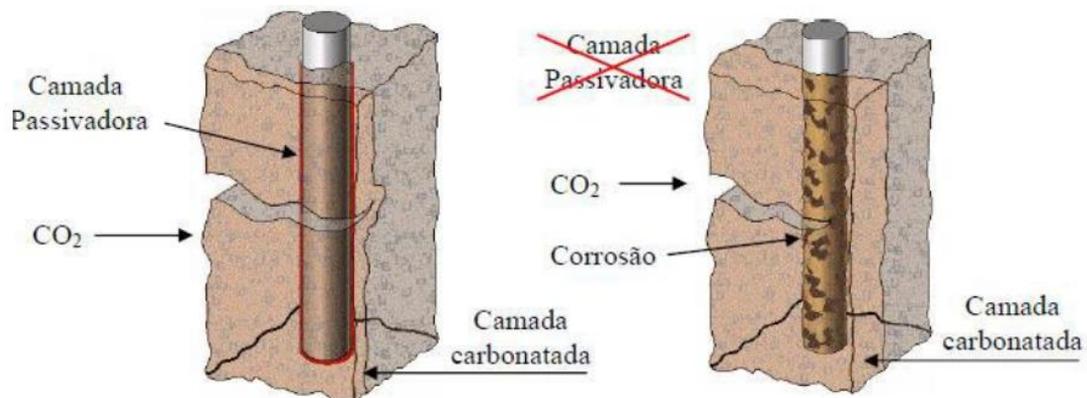


Figura 8: Avanço da frente de carbonatação.
(TULA, 2000)

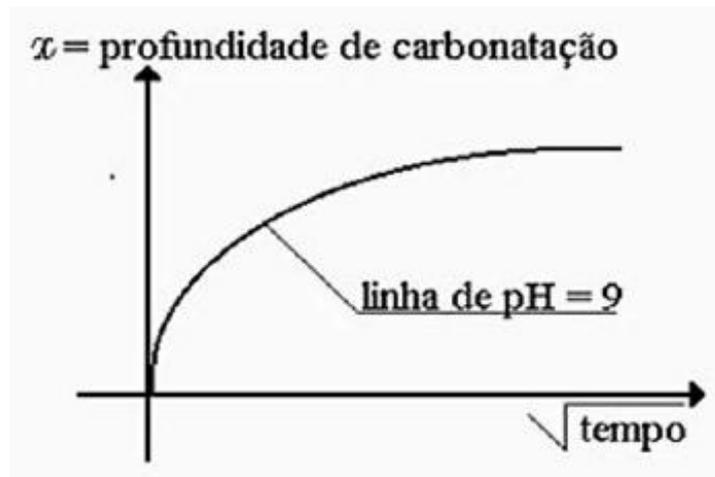


Figura 9: Gráfico profundidade de carbonatação *versus* tempo.
(SOUZA E RIPPER, 1998)

De acordo com Souza e Ripper (1998), sendo a abertura de fissuras significativa, a frente de carbonatação pode ser acelerada e a orientação se dará da

abertura até as barras da armadura, ocorrendo assim a corrosão. A Figura 10 apresenta esse mecanismo onde a carbonatação é orientada pela abertura de fissuras até atingir as armaduras.

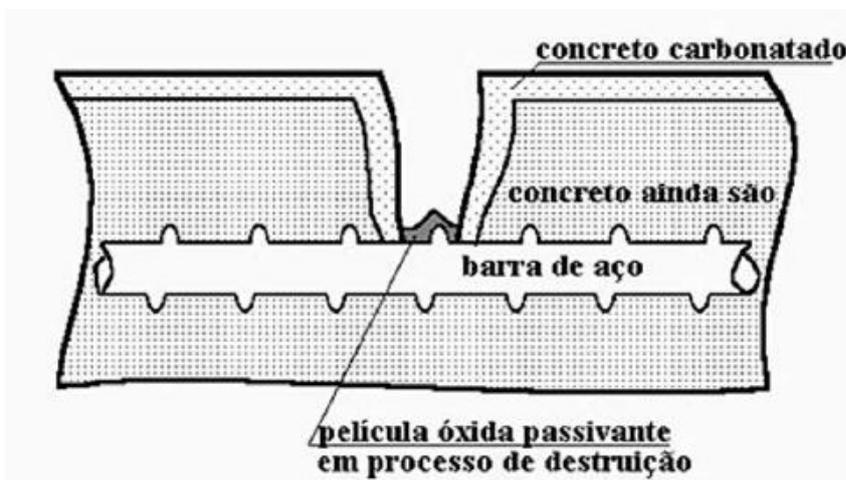


Figura 10: Carbonatação sendo condicionada pela abertura de fissuras.
(SOUZA E RIPPER, 1998)

2.1.2.4 Ação dos cloretos

Nenhum outro contaminante comum está tão extensivamente documentado na literatura como causador de corrosão dos metais no concreto como estão os cloretos. Esses íons podem ser introduzidos intencionalmente no concreto, como agente acelerador de pega e endurecimento, e podem vir através de agregados e água de amassamento contaminados (nestes casos diz-se que eles são incorporados à massa de concreto). Ou podem penetrar por sais anticongelantes (empregados nos invernos rigorosos de países frios), salmouras industriais e maresia ou névoa de ambiente marinho, situação esta bastante comum em nosso país (nestes casos diz-se que a contaminação se deu por impregnação da superfície de concreto pelos agentes agressivos externos). (CASCUDO, 1997, p. 41)

Cascudo (1997) afirma que existem alguns mecanismos responsáveis pelo movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto, são eles: a absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica. O transporte não apenas de cloreto, mas de outras substâncias dissolvidas, como líquidos em

geral e de gases no interior do concreto, é influenciado pela estrutura porosa de pasta de cimento endurecida. Nesse cenário a interconexão dos poros que indica a porosidade aberta e a distribuição do tamanho de poros, são fatores bastante pertinentes. Sendo que a porosidade aberta possibilita o transporte das substâncias e caracteriza a permeabilidade da pasta e o tamanho dos poros interfere na velocidade de transporte.

Segundo o relatório do Comitê 222 (ACI, 1997), existem três teorias modernas para explicar os efeitos dos íons de cloreto sobre a corrosão do aço, sendo: a teoria do filme de óxido que se baseia no período de iniciação do processo, a teoria da adsorção e do complexo transitório que estão ligadas ao período de propagação da corrosão.

Portanto, Cascudo (1997) salienta que a ação do cloreto pode ser muito danosa as armaduras, provocando desde a despassivação delas até a participação no processo corrosivo. Além disso, deve-se essencialmente aos cloretos a ocorrência da corrosão localizada por pite, que é um tipo crítico de patologia.

Andrade (1992), afirma que a presença de cloretos no concreto pode destruir a proteção da camada passivadora do aço, provocando uma corrosão localizada. Estes cloretos podem ter sido adicionados ao concreto devido a contaminação de seus componentes ou penetrando pelo seus poros. Esta última situação ocorre preferencialmente em ambientes marinhos ou quando se utilizam sais de degelo em estradas ou pontes, em climas frios. Parte dos cloretos presentes na água de amassamento contaminada combina-se com as fases alumino-ferríticas formando principalmente cloroaluminatos, que ficam incorporados às fases sólidas do cimento hidratado. Só podem causar danos ao concreto os cloretos que ficam dissolvidos na fase aquosa dos poros. As normas e códigos estabelecem limite de cloretos, abaixo do qual não deve existir risco de despassivação do aço. De acordo com CEB 162 (1983), de maneira geral considera-se este limite em torno de 0,4% de cloretos totais em relação ao peso do cimento.

Em relação ao limite de cloretos é necessário lembrar que parte dos cloretos presentes na água de amassamento combina-se com as fases alumino-ferríticas formando principalmente cloroaluminatos, que ficam incorporadas as fases sólidas do cimento hidratado. Só resultam perigo os cloretos que ficam dissolvidos na fase aquosa dos

poros. De todas as formas, as normas referem-se sempre ao limite de cloretos “totais” porque os cloretos combinados podem voltar à dissolução por efeito de processos como a carbonatação. (ANDRADE, 1992, p. 26)

2.1.2.5 Corrosão das armaduras

Segundo Souza e Ripper (1998), o processo de corrosão do aço, inicia-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito (a solução aquosa existente no concreto) em contato com um condutor metálico (a barra de aço). A passagem de átomos instala a diferença de potencial, criando-se um efeito pilha onde a corrosão instala-se pela geração de uma corrente elétrica dirigida do ânodo para o cátodo, através da água, e do cátodo para o ânodo, através da diferença de potencial.

No caso do concreto armado, as regiões de menor concentração de O_2 são as anódicas. Da combinação do cátion Fe^{++} com os ânions OH resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no ânodo; no cátodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço. (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 67)

Para o melhor entendimento desse processo, Cascudo (1997), ressalta que uma vez que a armadura é despassivada pela frente de carbonatação ou pela ação dos cloretos, ou então pela ação simultânea desses dois processos, ela fica vulnerável a corrosão. A partir disso, inicia-se pelo modelo de Tuutti a propagação do fenômeno que deve conter eletrólito, diferença de potencial e oxigênio, e em certos casos podem existir agentes agressivos.

O eletrólito é essencial na corrosão eletroquímica uma vez que, em todo o processo, há o movimento de elétrons de regiões anódicas para regiões catódicas da armadura e o circuito eletroquímico é fechado pelo movimento iônico através do mencionado eletrólito. Ele se apresenta sob a forma de uma película sobre a superfície do aço e é fornecido pela presença de umidade do concreto. (CASCUDO, 1997, p. 54)

Segundo Cascudo (1997), a diferença de potencial (DDP) formada entre duas regiões adjacentes ao longo da armadura, estabelece o ânodo e o cátodo. Essa DDP pode ser originada devido a solicitações diferenciais no aço e no concreto, diferenças na composição química e superfície do aço (incluído heterogeneidades da fase metálica), e também por conta do fenômeno de aeração diferencial que é caracterizado por regiões com diferentes compacidades, concentração salina diferencial, entre outros.

Quanto melhor for a qualidade do concreto menos suscetível ele será a este tipo de patologia. A relação água/cimento, que é um dos principais fatores que determinam a compacidade e porosidade do concreto, deve ser cuidadosamente atendida e neste caso haverá uma maior proteção contra a corrosão das armaduras.

Uma baixa relação água/cimento retardará a difusão de cloretos, dióxido de carbono e oxigênio e oxigênio, além de dificultar a entrada de umidade e agentes agressivos para o interior do concreto. Notadamente diminuindo-se a relação água/cimento, tem-se também uma redução no volume de poros e na permeabilidade, fatores estes tão intimamente ligados ao processo de corrosão. (CASCUDO, 1997, p. 74)

O oxigênio é necessário para formação de ferrugem. Segundo Cascudo (1997), a reação catódica básica no caso da corrosão é a redução do oxigênio, que possibilita o consumo de elétrons provenientes das áreas anódicas, além de produzir OH^- que poderá reagir com íons de ferro a fim de formar produtos de corrosão. O oxigênio é determinado de acordo com teor de umidade do concreto, no caso do concreto úmido, estará principalmente difundindo-se em solução, entretanto se o concreto estiver seco, a difusão do oxigênio gasoso é mais rápida. O Comitê 222 do ACI (1997), afirma que embora exista a presença de cloretos, a taxa de corrosão será baixa se o concreto estiver saturado com água, isso ocorre devido a dificuldade de difusão de oxigênio nessas condições. Além do exposto, Cascudo (1997) ainda salienta que os agentes agressivos também contribuem para intensificar a corrosão visto que eles aumentam a condutividade elétrica do eletrólito.

Cascudo (1997) afirma que os produtos gerados pela corrosão (óxidos e hidróxidos) ocupam o interior do concreto, podem causar tensões trativas internas maiores que 15 MPa, devido a criação de "crostas" ao redor da armadura e que

podem levar a fissuração da peças de concreto. A Figura 11 mostra os produtos gerados pela corrosão.



Figura 11: Crosta expansiva no entorno da armadura.
(CASCUDO, 1997)

Além disso, Cascudo (1997) afirma que nem sempre se produz fissuras quando as armaduras se corroem. Quando o concreto está úmido, os óxidos são gerados a uma velocidade constante e podem emigrar através da rede poros, aparecendo na superfície sob forma de manchas marrom-avermelhadas, que inclusive podem não coincidir com a posição das armaduras. Nesta situação, a durabilidade das estruturas é basicamente afetada pela perda de seção das armaduras e pelo comprometimento à aderência aço/concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998) os mecanismos de corrosão, mostrados na Figura 12, podem ser classificados em:

- Corrosão por tensão fraturante: quando o aço é submetido a esforços mecânicos elevados (protensão) e estando em um ambiente agressivo, pode fraturar de maneira frágil;
- Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- Corrosão por pite: pode revelar-se segundo duas formas:
 - Localizada: caracterizada pela ação de íons agressivos (cloretos, em especial), sempre que houver umidade e oxigênio;
 - Generalizada: em função da redução do pH do concreto para valores inferiores a 9 pela ação dissolvente do CO₂ existente no ar atmosférico (carbonatação).

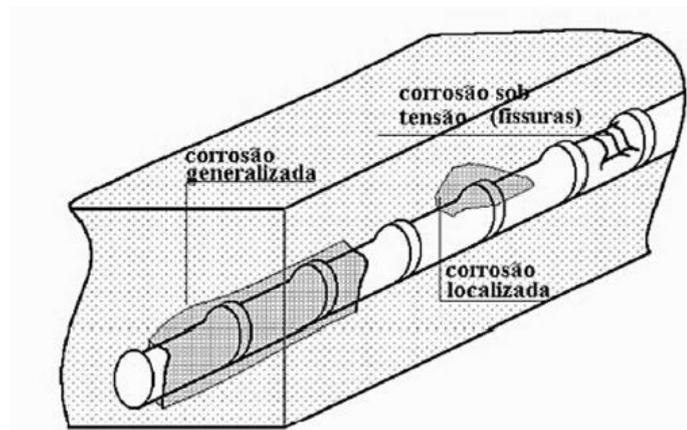


Figura 12: Tipos de corrosão em uma barra de aço imersa em meio de concreto.
(SOUZA E RIPPER, 1998)

2.1.2.6 Eflorescência

Segundo Mehta *et al.* (1994), as águas provenientes da condensação de neblina, vapor e da chuva (contendo uma quantidade muito pequena ou nula de cálcio) quando em contato com a pasta de cimento tendem a hidrolisar ou dissolver os produtos que contém cálcio. Por conta da grande solubilidade do hidróxido de cálcio em água, ele tende a lixiviar, provocando perda de resistência mecânica e manchas esbranquiçadas na superfície do concreto (devido a interação entre o hidróxido de cálcio e o CO_2 presente na atmosfera, resultando na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio. Este fenômeno é conhecido como eflorescência. A Figura 13 mostra um exemplo da ocorrência desta patologia.



Figura 13: Eflorescência no tabuleiro de uma ponte.
(COUTINHO, 2018)

2.1.2.7 Desagregação do concreto

Segundo Souza e Ripper (1992), as causas para desagregação do concreto pode ser a fissuração, movimentação das fôrmas, corrosão do concreto, calcinação do concreto e ataques biológicos. Em todos os casos, o processo resulta no deslocamento do concreto, com perda do monolitismo e, em muitos casos, perda da capacidade de engrenamento dos agregados.

2.1.5.8 Concreto disgregado

Vitório (2016, p. 32) afirma que o concreto disgregado "caracteriza-se pela ruptura do concreto, em especial nas partes salientes da estrutura. O concreto disgregado geralmente apresenta as características originais de resistência, porém não foi capaz de suportar a atuação de esforços anormais". De acordo com o DNIT (2004), este processo pode ocorrer devido a reações expansivas ou até mesmo choques mecânicos. A Figura 14 apresenta um região de concreto disgregado em função de um choque mecânico.



Figura 14: Estrutura disgregada devido ao choque mecânico de um veículo.
(COUTINHO, 2018)

2.1.5.9 Manchas por infiltração

As manchas de infiltração decorrem de algum vazamento de água por motivo de falhas no processo de drenagem ou até inexistência de juntas de dilatação. Esse acontecimento pode causar manchas na superfície do concreto. A Figura 15 mostra uma mancha de infiltração devido a um problema de drenagem.



Figura 15: Manchas por infiltração por falta de buzinote.
(COUTINHO, 2018)

2.2 INSPEÇÕES EM PONTES

Segundo a NBR 9452 (ABNT, 2014), a inspeção em estruturas de concreto consiste no conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários à formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, visando manter ou reestabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e durabilidade.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), descreve como parâmetro estrutural aquele referente à estabilidade e capacidade portante da estrutura. O funcional diz respeito aos aspectos da OAE como visibilidade, gabaritos verticais, horizontais e ao conforto e segurança dos seus usuários. O parâmetro de durabilidade está diretamente associado a vida útil da estrutura, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções de serviço.

A inspeção de uma ponte deve seguir uma sequência lógica e padronizada para que o trabalho seja bem executado. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), na direção longitudinal a numeração dos elementos deve ser para o sentido de maior quilometragem e na direção transversal a numeração deve ser feita da esquerda para direita.

2.2.1 Tipos de Inspeções

Os tipos de inspeções abordados a seguir são as apresentadas na NBR 9452 (ABNT, 2016).

2.2.1.1 Inspeção cadastral

É a primeira inspeção realizada na obra, e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário (NBR 9452, 2016).

De acordo com Mitre (2005), esse tipo de inspeção tem como objetivo coletar dados cadastrais sobre a geometria, estado funcional, estrutural e de durabilidade da OAE, tratando-se de uma inspeção prioritariamente visual, de abordagem geral e pouco aprofundada.

2.2.1.2 Inspeção rotineira

Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período. (NBR 9452, 2016, p.5)

Além disso, segundo Mitre (2005), esse tipo de inspeção pode modificar a classificação do estado da obra, ou alertar para necessidade de execução de uma inspeção mais detalhada ou de medidas emergenciais em caso de dano mais severo ou acidente.

Coutinho (2018) salienta que caso a OAE não tenha feito a inspeção cadastral, a inspeção rotineira passa a ser cadastral.

2.2.1.3 Inspeção especial

Segundo a norma NBR 9452 (ABNT, 2016), a inspeção especial deve ser feita de 5 e 5 anos, podendo ser adiada para até 8 anos, caso a classificação da OAE, seja de intervenção a longo prazo com notas 4 ou 5 e a estrutura tenha o total acesso a todos elementos constituintes na mesma.

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT, 2004), a inspeção especial deve ser realizada em todas pontes consideradas excepcionais, podendo

ser pelo seu porte, seu sistema estrutural, seu comportamento problemático, ou sempre que julgado necessário por uma inspeção rotineira.

2.2.1.4 Inspeção extraordinária

De acordo com NBR 9452 (ABNT, 2014), a inspeção extraordinária ocorre, quando é necessário avaliar com mais critério certo elemento ou parte da OAE, e quando ocorre impacto de veículos ou de eventos da natureza na obra.

A equipe dessa inspeção deve ter discernimento, competência e autoridade, para avaliar a gravidade dos danos, limitar as cargas de tráfego ou mesmo, interromper e restabelecer o tráfego, bem como solicitar inspeção especial (DNIT, 2004).

2.3. MÉTODOS E ENSAIOS EXECUTADOS NA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS

Segundo Coutinho (2018), os ensaios realizados nos concretos são de extrema importância para o controle da capacidade portante da estrutura. Esses ensaios são executados em uma pequena parte do concreto especificada pelo projetista e podem ser tratados como ensaios de rotina ou de uma etapa de execução da obra.

Sempre que for considerada necessária, a realização de extração de testemunhos deve ser precedida de estudos com base nos documentos disponíveis (projetos, memórias de cálculo, memoriais descritivos e outros), de forma a balizar a obtenção de informações consistentes e evitar extrações desnecessárias, que podem minorar a capacidade resistente da estrutura em avaliação (NBR 7680, 2015).

2.3.1. Ensaio em testemunhos extraídos do concreto

Os testemunhos de concreto devem ser extraídos de acordo com as prescrições da NBR 7680 (ABNT, 2015). Destinam-se a avaliar a resistência do concreto, módulo de deformação, permeabilidade ou absorção de água, determinação de cloretos e sulfatos, carbonatação, reconstituição do traço do concreto, entre outros. Depois de retirados, deverão ser cuidadosamente acondicionadas, dependendo das exigências dos ensaios (GRANATO, 2002).

2.3.2 Determinação da reação álcali-agregado (RAA)

Segundo a NBR 15577-3 (ABNT, 2008), a fim de verificar a existência de eventuais reações expansivas, toda OAE que estiver próxima a corpos hídricos, deve ser feita a extração de corpos-de-prova de concreto para ensaios de reatividade álcali-agregado. Em seguida, é recomendada a recomposição da seção de concreto removida.

2.3.3 Determinação da resistividade elétrica

A resistividade elétrica é uma propriedade de cada material e esse parâmetro é o inverso da condutividade. Sua unidade de medida é Ωm e suas diretrizes seguem a NBR 9204 (ABNT, 2012).

A resistividade elétrica do concreto é um excelente parâmetro na verificação da existência da corrosão das armaduras, visto que um concreto com alta resistividade elétrica possui pouca possibilidade de apresentar corrosão das armaduras (MAZER, 2012).

De acordo com Granato (2002) o ensaio de resistividade elétrica pode ser feito a partir de amostras extraídas para testes em laboratório ou *in loco*. Para esse tipo de ensaio o grau de saturação dos poros das amostras é mais relevantes que o grau de hidratação da pasta de cimento e da presença de sais dissolvidos. Os parâmetros utilizados no ensaio de resistividade elétrica são: tipo de cimento, adições orgânicas, a relação água/cimento, a porosidade da estrutura, etc.

O CEB 162 (1983), apresenta na Tabela 2 a correlação entre a resistividade elétrica do concreto e a taxa de corrosão provável das armaduras. Nela se observa que quanto maior for a resistividade do concreto, menor será a taxa de corrosão, ou seja, esses dois parâmetros são inversamente proporcionais.

Tabela 2: Correlação entre a resistividade do concreto e a taxa de corrosão provável.
(CEB 162, 1983)

Resistividade do concreto (Ωm)	Taxa de corrosão provável
> 200	Despresível
100 a 200	Baixa
50 a 100	Alta
< 50	Muito Alta

2.3.4 Ensaio de ultrassom

Mazer (2012) afirma que o ultrassom é baseado em vibrações próximas das do som e tem como objetivo detectar descontinuidade interna nos materiais, através do fenômeno de reflexão de ondas acústicas, que ocorre quando encontram obstáculos à sua propagação dentro do material. De acordo com Gonçalves (2015), este é um ensaio considerado não-destrutivo e pode ser usado para verificar a homogeneidade do concreto, detectar falhas internas, profundidades das fissuras, e monitorar as variações das propriedades do concreto.

O instrumento utilizado nesse ensaio faz a leitura do valor de cada ponto auscultado, detectando o índice de vazio na massa de concreto. O ensaio, regulamentado pela NBR 8802 (ABNT, 2013), consiste na realização de ultrassom transmitido pelo transdutor, de maneira a percorrer o material ensaiado. Efetua-se a verificação dos ecos recebidos de volta, pelo mesmo ou por outro transdutor. Quanto maior a velocidade do pulso ultrassônico, melhor qualidade do ensaio realizado. A Tabela 3 mostra a qualidade do concreto de acordo com a velocidade dos pulsos longitudinais.

Tabela 3: Classificação da qualidade do concreto com base na velocidade dos pulsos.
(MAZER, 2012)

Velocidade de pulsos longitudinais (km/s)	Qualidade do concreto
> 4,5	Excelente
3,5 – 4,5	Boa
3,0 – 3,5	Duvidosa
2,0 – 3,0	Pobre
< 2,0	Muito Pobre

2.3.5 Pacometria

Consiste em determinar a localização das armaduras. Equipamentos mais sofisticados também determinam diâmetro e cobrimento. O princípio da medição do cobrimento por pacometria consiste em medir as perturbações provocadas pela presença de um objeto metálico colocado num campo eletromagnético emitido por um sistema de bobinas. O aparelho analisa os sinais induzidos por este campo e

calcula o cobrimento e/ou o diâmetro dos aços situados no aprumo do sensor (MAZER, 2012).

2.3.6 Esclereometria

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012), esclereometria trata-se de um método não-destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido. Segundo Mazer (2012), a avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão consiste fundamentalmente de uma massa martelo que quando comprimida com o concreto, impulsiona uma mola se chocando através de uma haste com ponta em forma de calota esférica com a área de ensaio, parte dessa energia é conservada elasticamente, gerando assim que no final do impacto ocorra o retorno do martelo. A Figura 16 descreve este processo.

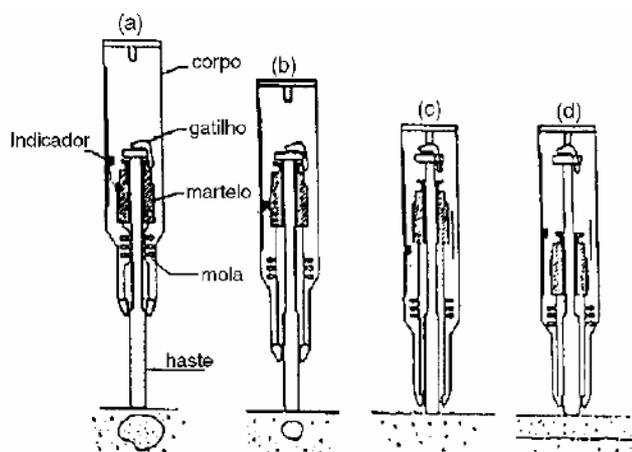


Figura 16: Avaliação de dureza superficial pelo esclerômetro. (GRANATO, 2002)

De acordo com Mazer (2012), na realização deste ensaio deve-se garantir que as superfícies estejam secas ao ar, limpas e preferencialmente planas. As superfícies irregulares, ásperas, curvas e talhadas não fornecem resultados homogêneos e devem ser evitadas. Coutinho (2018) ressalta que deve-se atentar também para que o ensaio não seja feito sobre a armadura e caso seja necessário saber a localização da armadura utiliza-se o ensaio de pacometria descrito anteriormente.

Em cada área de ensaio, segundo Mazer (2012), deve ser feito no mínimo 9 e no máximo 16 impactos, sendo que a distância mínima entre os impactos deve ser de 30 mm e eles devem estar distribuídos uniformemente. Caso não respeite essa distância mínima o valor lido não deve ser considerado no cálculo dos resultados. A Figura 17 apresenta o reticulado formado de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012).

É bom salientar que cada ensaio mencionado nessa seção tem sua particularidade e aplicação e devem ser feitos considerando a não homegeidade do concreto dentre outras propriedades a fim de se evitar equívocos.

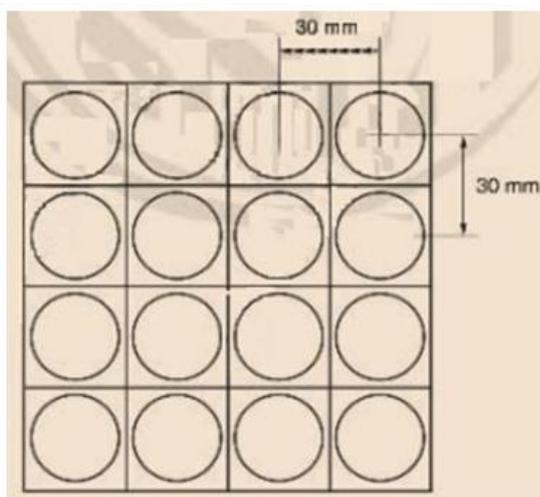


Figura 17: Área reticulada do ensaio.
(NBR 7584, 2012)

2.3.7 Ensaio de carbonatação

A descrição do ensaio de carbonatação segue a norma francesa RILEM CPC18 (1996). O método consiste em evidenciar a diferença de pH entre o concreto e a frente de carbonatação por meio de aspensão de indicadores químicos, sendo os mais comuns a fenolftaleína e timolftaleína.

A timolftaleína, por ter um pH de modificação teórico aproximadamente igual a 10,5, deve ser preferida em relação à fenolftaleína (pH de “viragem” igual a 9,5). Isto porque com um pH de 10,5 não se assegura a estabilidade dos óxidos de ferro passivos que garantem a proteção química da armadura. Sendo assim, ao se usar exclusivamente a fenolftaleína, poder-se ter uma situação de início de despasseivação das armaduras com um pH em torno de 10-

10,5, que não seria acusado pelo indicador, o qual ainda apresentaria a cor vermelha carmim característica do pH superior a 9,5. (CASCUDO, 1997, p.93)

Cascudo (1997), ressalta que a relação entre a espessura carbonatada e a espessura de cobertura é de suma importância na medição de carbonatação. Essa relação não deve ser igual ou superior a um, referente ao acesso da frente de carbonatação nas armaduras. A magnitude da espessura carbonatada, tomada isoladamente, não tem um significado consistente, caso não se tenha referência da espessura de cobertura.

O ensaio consiste da seguinte forma: Inicialmente, faz-se uma abertura no concreto até expor a armadura. Aplica-se em forma de spray a solução de fenolftaleína ou timolftaleína, de preferência timolftalína, aguarda-se até cerca de 15 minutos (não mais de 20 minutos) e faz-se a leitura da profundidade de carbonatação (medida da zona incolor), a partir da superfície do concreto. A Figura 18 apresenta um corpo-de-prova sob ensaio de carbonatação.



Figura 18: Medição da profundidade carbonatada.
(COUTINHO, 2018)

Este ensaio é simples e econômico, podendo ser executado em várias partes da estrutura de concreto, para se determinar o estágio e velocidade de carbonatação da estrutura (GRANATO, 2002).

2.4 TERAPIA EM PONTES

As pontes podem apresentar vários tipos de manifestações patológicas e para reverter o quadro e garantir integridade estrutural pode ser necessário executar algumas medidas terapêuticas.

2.4.1 Reparos

Souza & Ripper (1998), afirmam que reparo é quando o serviço de recuperação não implica na introdução de materiais que tem como finalidade aumentar ou reconstituir a capacidade portante da estrutura. Já Silva (2016), argumenta que reparo são ações que têm como objetivo reconduzir as estruturas às condições normais de uso, reduzindo ou interrompendo o processo de deterioração, a fim de recuperar a integridade.

Os reparos podem ser divididos em relação a sua profundidade como rasos, semiprofundos, profundos e de acordo com a reconstituição da seção podendo ser localizado ou generalizado.

2.4.1.1 Reparos rasos

Souza & Ripper (1998, p.129) definem reparos rasos como sendo "são aqueles cuja profundidade é inferior a 2,0 cm, sendo considerados em pequenas áreas os que forem executados em superfícies de até 15 cm², e em grandes áreas os demais". Reis (2001) reporta que alguns exemplos característicos de reparos são: o enchimento de falhas, regularização de lajes, reconstituição de quinas quebradas, erosões ou desgaste, calcinação, dentre outros.

2.4.1.2 Reparos semiprofundos

Souza & Ripper (1998, p.129) definem reparos semiprofundos como sendo "aqueles cuja profundidade está entre 2,0 e 5,0 cm, normalmente atingindo as armaduras. Ao redor da armadura a ser substituída deve ser efetuada uma limpeza de 2,0 a 3,0 cm de profundidade". Os reparos semiprofundos normalmente requerem a montagem de fôrmas com cachimbos e verificação da necessidade de escoramentos. Segundo Reis (2001), a reconstituição da seção pode ser feita com

graute de base mineral com retração compensada e alta resistência mecânica, com cura úmida.

2.4.1.3 Reparos Profundos

Os reparos profundos são aqueles que atingem profundidades superiores a 5,0 cm. Para sua execução, as cavidades deverão ser cuidadosamente preparadas, removendo-se todo o concreto danificado até que o concreto sã seja atingido, quando então a superfície deve ser regularizada, mas nunca alisada, de forma a que a aderência com o material de reparo não seja prejudicada. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 129)

2.4.1.4 Reparo Localizado

Os reparos localizados consistem na recuperação de uma pequena área de patologia na estrutura. Quando se trata de corrosão das armaduras, Cascudo (1997) recomenda que deve feita a exposição da armadura nos trechos corroídos e posteriormente a reconstituição da seção de concreto.

O tratamento das armaduras, além da limpeza superficial, pode envolver o emprego de pinturas protetoras de base mineiral ou orgânica, destacando-se neste último caso as pinturas à base de resina epóxi por sua grande capacidade de aderência ao substrato metálico e por suas satisfatórias resistências química e mecânica. Atualmente tem-se empregado pintura epoxídicas ricas em zinco como tratamentos superficiais das armaduras, tendo o zinco o papel de atuar como ânodo de sacrifício em benefício da durabilidade do aço. (CASCUDO, 1997, p. 99)

De acordo com Cascudo (1997), a reconstituição do concreto pode ser feita utilizando argamassa comum ou especiais de reparo. Entretanto, dependendo da circunstância do reparo, deve-se atentar se tais argamassas apresentam a tixotropia adequada para ser aplicada com a mão ou colher de pedreiro. Em reparos mais profundos recomenda-se utilizar a argamassa autodensável, pois ela consegue atingir locais de difícil acesso.

Cascudo (1997), afirma que se existir um alto grau de dissiminação de cloretos por todo o concreto do elemento estrutural, essa solução mencionada acima se torna paliativa, uma vez que as regiões remanescentes próximas aos reparos localizados que permanecem contaminadas certamente propiciarão o desenvolvimento da corrosão.

2.4.1.5 Reparos generalizados

De acordo com Cascudo (1997), os reparos generalizados podem ser executados quando se deseja remover concretos contaminados por cloretos ou carbonatados, como forma de prevenir à manifestação recorrente da patologia.

Em concretos contaminados por cloretos via impregnação externa ou em concretos carbonatados, caso que há formação de uma “frente de cloretos” ou “frente de carbonatação”, uma vez que estas frentes não tenham atingido a armadura, faz-se necessária como medida preventiva a remoção desse concreto superficial. Procedimentos como escarificação manual ou mecânica, jateamento de areia ou hidrojateamento são recomendáveis para a retirada do concreto impróprio. Em concretos com cloretos, sempre é interessante o uso do hidrojateamento, mesmo que em conjunto com outras técnicas, devido à sua capacidade de dissolução e lixiviação de sais, o que torna mais eficiente a descontaminação dos íons Cl^- do concreto. Nos casos em questão, que pressupõe uma retirada parcial do concreto do tipo “raspagem” superficial, especialmente em se tratando de grandes áreas de elementos estruturais a recuperar, a reconstituição da seção do concreto em geral é feita mediante concreto projetado, tendo em vista seus elevados índices de produção dos serviços, a alta compacidade do concreto obtido a satisfatória aderência deste novo concreto ao concreto velho. (CASCUDO, 1997, p. 100)

2.4.2 Reforços estruturais

Nakamura (2009) afirma que o reforço estrutural é um tipo de intervenção que tem como objetivo principal o aumento da capacidade da estrutura de resistir às solicitações as quais está submetida.

Os motivos pelos quais são necessários trabalhos de reforço em uma estrutura de concreto ou em um ou mais de seus elementos estruturais são os seguintes: correção de falhas de projeto ou de execução; aumento da capacidade portante da estrutura, para permitir modificações em seu uso; regeneração da capacidade portante, diminuída em virtude de acidentes (choques, incêndios, etc.) ou de desgaste ou deterioração; e modificação da concepção estrutural, como o corte de uma viga, por exemplo, por necessidade arquitetônica ou de utilização. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 142)

Souza & Ripper (1998) recomendam que sempre que houver a necessidade de alteração da funcionalidade da estrutura ou aumento da carga de utilização, que seja feita uma revisão do cálculo estrutural. Reis (2001) afirma que os reforços possuem como desvantagem a interferência na arquitetura e o tempo gasto até que a estrutura possa ser recolocada em serviço.

De acordo com Souza & Ripper (1998), somente através de cálculos pode-se ter subsídios para estabelecer alguns fatores como:

- a) Definição precisa das peças da estrutura em que será necessário proceder-se ao reforço - e a extensão desta intervenção - e daquelas em que será suficiente apenas a recuperação entendendo-se como tal a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais;
- b) Determinação da capacidade resistente residual da estrutura, ou da peça estrutural, e, conseqüentemente, definição do tipo, intensidade e extensão do reforço necessário;
- c) Indicação da necessidade ou não da adoção de procedimentos de escoramento durante os trabalhos;
- d) Avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, antes, durante e depois da execução do reforço;
- e) Escolha da técnica executiva a utilizar;
- f) Determinação das tarefas necessárias e das quantidades reais de trabalho a realizar, isto é, definição do custo real da empreitada, em conjunto com os elementos da inspeção técnica realizada. (SOUZA & RIPPER, 1998, p. 105)

A recuperação devido a corrosão das armaduras, pode ser executada através de reparos ou reforço estrutural. Helene (1992), afirma que o reforço estrutural é necessário quando a corrosão está em um estágio avançado, sendo assim deve aumentar as dimensões originais de pilares, vigas e lajes, aplicar revestimento de proteção ou dependendo do caso demolir e reconstituir.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho consiste em uma metodologia descritiva qualificativa e quantitativa da análise das manifestações patológicas apresentadas na ponte analisada.

A ponte foi construída em 2001 e localiza-se sobre o Rio Tietê, na Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros, km 225, em São Paulo. Apresenta estrutura em grelha, trem tipo de 45 tf, comprimento total de 524,10 m, pista dupla com duas faixas cada, em ambos os lados, leste/oeste, possui largura útil de 9,30m, não apresentando acostamento pelas laterais, apenas faixas de segurança. Essa OAE apresenta traçado retilíneo, normal em relação ao obstáculo, com os tabuleiros em rampa, formando curva convexa, na transposição ao leito navegável do rio. A Figura 19 apresenta a localização da OAE. A Figura 20 apresenta parte da planta da pista vistoriada. A planta completa encontra-se no Anexo I.

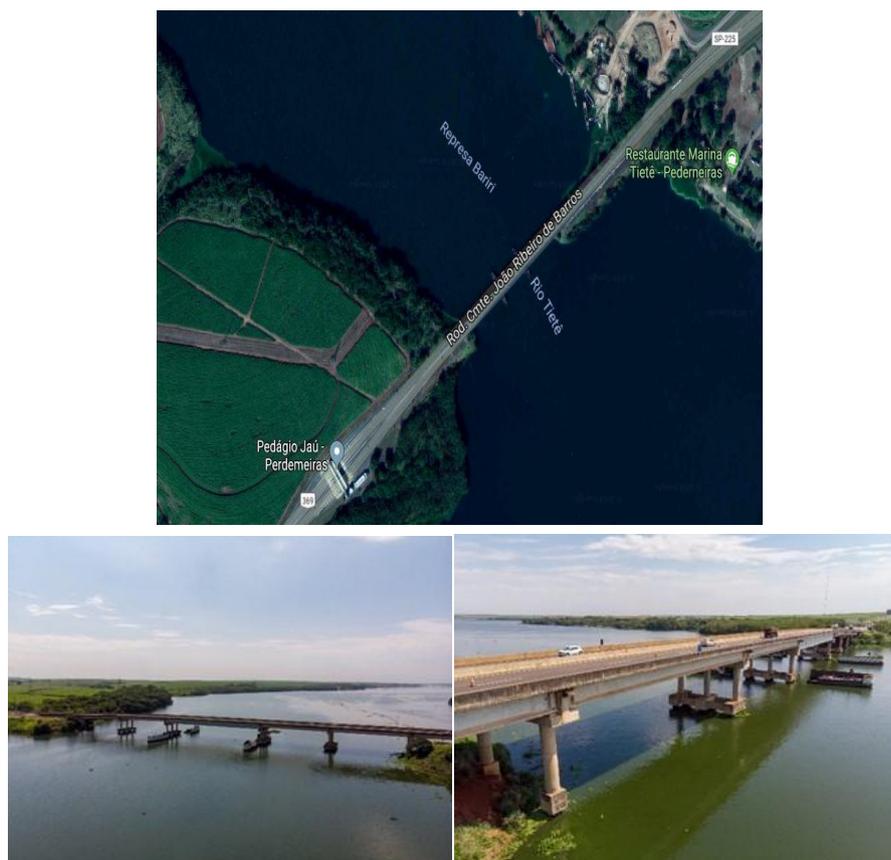


Figura 19: Ponte sobre o Rio Tietê.
(AUTOR)

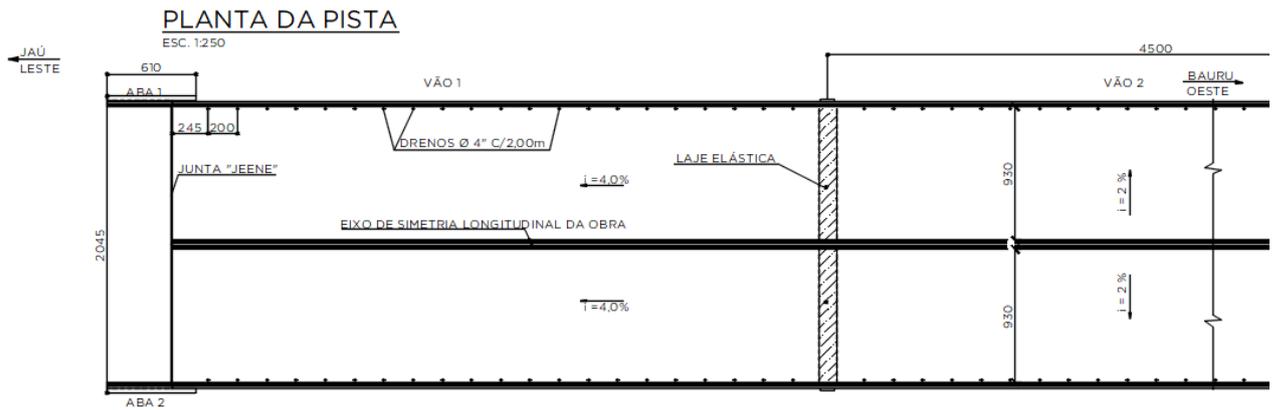


Figura 20: Planta da pista da obra vistoriada (em cm).
(AUTOR)

A ponte vistoriada possui 11 vãos, sendo 10 vãos com superestrutura em concreto e somente o quarto vão apresentando superestrutura mista (concreto e aço). Os vãos apresentam medidas que variam de 43,95 m a 76,0 m. A laje sob o pavimento da pista de rodagem é de concreto armado em toda extensão. Transversalmente, a OAE apresenta largura total de 19,75 m, com exceção do tabuleiro do vão 4. O arranjo estrutural contém 6 vigas longarinas isostáticas protendidas e pré-moldadas em seção “I” interligadas por transversinas somente sobre a projeção dos apoios. O tabuleiro do vão 4, também é caracterizado pelo total de 6 vigas longarinas, porém, constituídas por chapas metálicas em perfis laminados “I”, interligadas por vigas transversinas de vão e sobre os apoios. As vigas transversinas de vão são compostas por estruturas treliçadas, constituídas por chapas em perfis laminados “L” (cantoneiras). Já as vigas locadas sobre os apoios 4 e 5, são caracterizadas apenas por chapas transversais de ligação entre as longarinas. A Figura 21 apresenta parte da vista inferior da ponte.

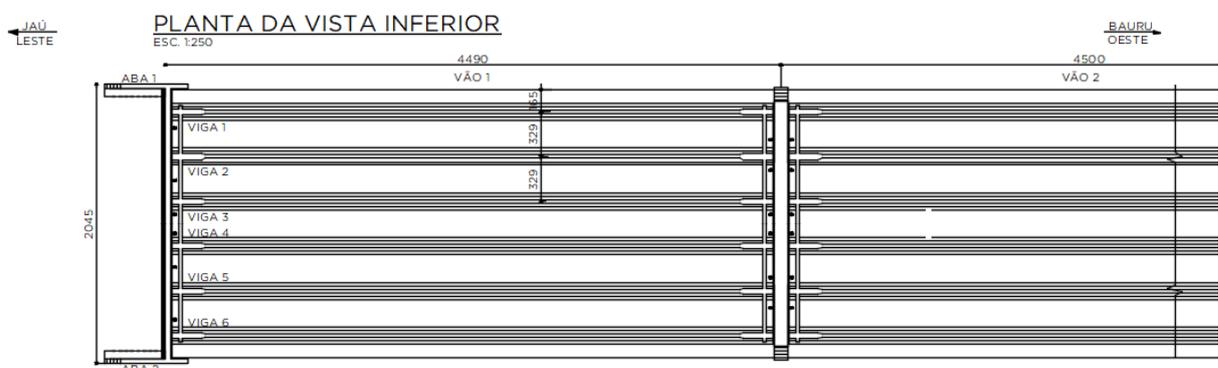


Figura 21: Vista inferior da ponte (em cm).
(AUTOR)

A mesoestrutura da ponte é formada por 132 aparelhos de apoio de neoprene tipo vasoflon, locados sobre berços de concreto. Os apoios são compostos por pórticos em concreto armado com dois pilares de seção circular com exceção dos apoios 2 a 5, que são compostos por pórtico de três pilares de seção circular. Estão posicionadas 4 linhas de apoio no leito do rio, apoios 3 a 6, com as demais estruturas, distribuídas na margem do rio e junto aos taludes dos encontros. As Figuras 22 e 23 apresentam a vista longitudinal da ponte destacando os apoios e encontros.

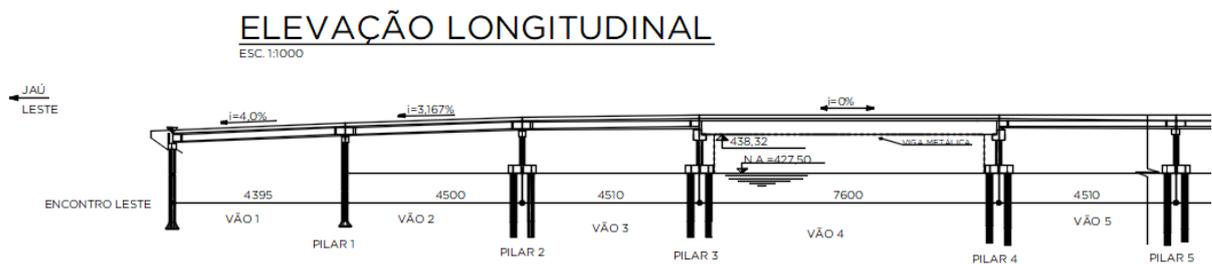


Figura 22: Vista longitudinal da ponte do encontro leste ao pilar 5 (em cm).
(AUTOR)

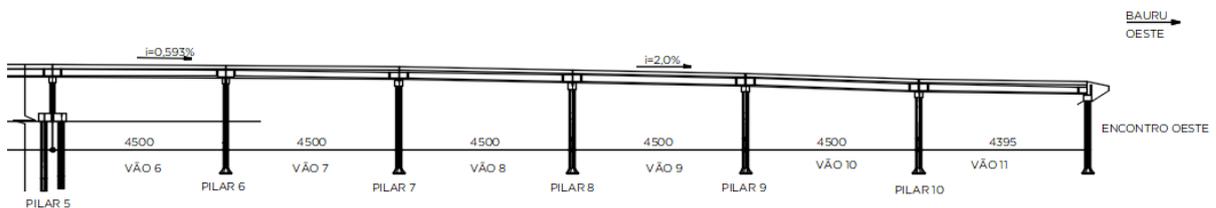


Figura 23: Vista longitudinal da ponte do pilar 5 ao encontro oeste (em cm).
(AUTOR)

As estruturas dos encontros são caracterizadas por vigas travessas de apoio da superestrutura, com cortina e alas laterais engastadas na viga travessa para contenção do maciço de solo do terrapleno, com todos os elementos em concreto armado. A Figura 24 mostra a seção transversal dos encontros.

SEÇÃO TRANSVERSAL ENCONTRO

ESC.:50

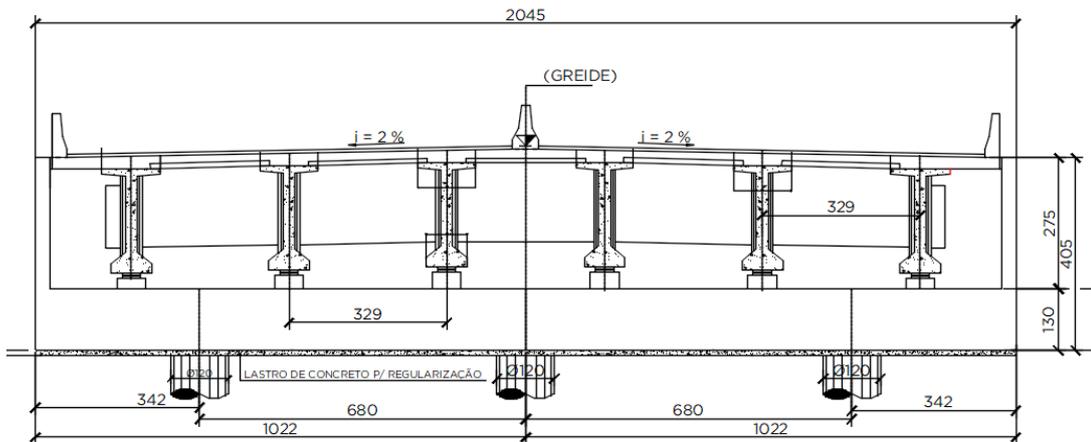


Figura 24: Seção transversal do encontro (em cm).
(AUTOR)

A infraestrutura encontra-se parcialmente visível nas linhas de apoio 3 a 6. Os blocos e tubulões são compostos por três vigas de cintas entre os blocos de fundação com total de 6 tubulões para cada linha de apoio (Figura 25). As linhas dos apoios 2 e 7 e de 8 a 11 são compostas por dois pilares com blocos individuais e um tubulão em cada (Figura 26). Os blocos são de concreto armado de seção retangular e sob esses blocos existem 2 tubulões alinhados.

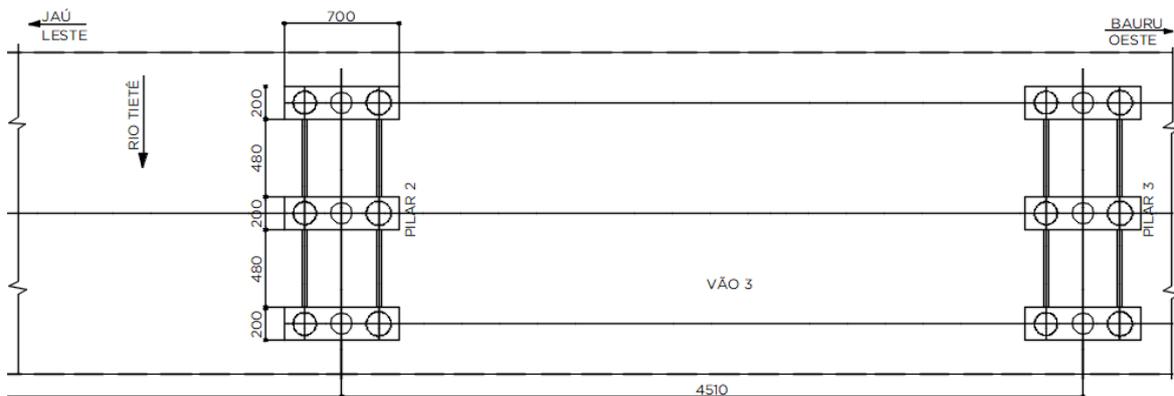


Figura 25: Linhas de apoio com 6 tubulões e 3 pilares (em cm).
(AUTOR)

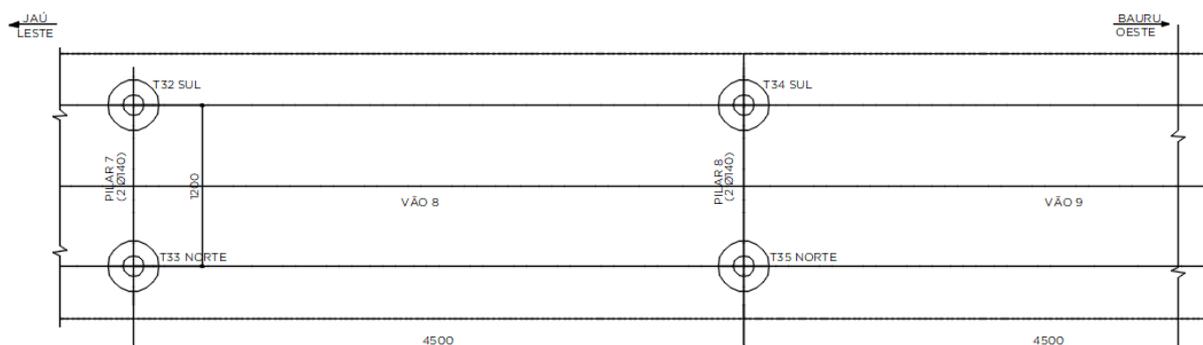


Figura 26: Linhas de apoio com 2 tubulões e 2 pilares (em cm).
(AUTOR)

A OAE apresenta barreiras rígidas tipo New Jersey de concreto entre as pistas leste e oeste, e nas laterais da face externa há a presença de rede de utilidades (Figura 27) em toda extensão. A ponte contém *dolphins* (Figura 28), que são estruturas de proteção contra o impacto utilizado na proteção dos pilares de pontes sobre canais navegáveis no caso de haver colisão com embarcações.

O sistema de drenagem da ponte possui buzinetes (Figura 29) nos bordos norte e sul, no sentido leste e oeste do balanço das lajes, a cada 2,0 m em toda extensão, com um total de 240 buzinetes distribuídos. Em ambos os lados foram vistoriados buzinetes danificados e ausentes. A drenagem na aproximação da pista leste é através da canaleta lateral tipo trapezoidal de concreto, apresentada na Figura 30 e a drenagem na aproximação da pista oeste acompanha a declividade das rampas longitudinais do pavimento.



Figura 27: Rede de utilidade nas laterais da ponte.
(AUTOR)



Figura 28: Presença de *dolphin* para proteção dos pilares.
(AUTOR)



Figura 29: Balanço laterais com presença de buzinetes.
(AUTOR)



Figura 30: Drenagem da pista-canaleta tipo trapezoidal.
(AUTOR)

Este trabalho consiste em analisar as patologias da ponte sobre o rio Tietê, classificar a mesma de acordo com seu grau de durabilidade, funcionalidade e estrutural e propor possíveis reparos ou reforço estrutural para as patologias identificadas.

Para análise dessa ponte foi feita uma inspeção especial liderada por um engenheiro diplomado registrado no conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA) e um auxiliar técnico. A inspeção foi coordenada de forma ordenada e sistemática, para assegurar que todos os elementos estruturais visíveis fossem vistoriados e reportados na ficha de inspeção. Para a verificação da ocorrência de deformações ou vibrações excessivas, a estrutura foi observada durante a passagem de veículos do próprio tráfego.

Os recursos empregados na vistoria foram equipamentos de medição a laser, trena de fita, binóculos, máquina fotográfica digital, fissurômetro e solução alcoólica de fenolftaleína para o ensaio de carbonatação.

Foram tiradas fotos das vistas gerais, juntas, detalhes dos apoios, dos defeitos eventualmente encontrados e das anomalias minuciosamente investigadas. O banco de dados dessa ponte possui a descrição e a localização de cada elemento da estrutura, o tipo e a quantidade de patologias identificadas e o número da foto correspondente.

O desenho da ponte, foi feito no software AutoCAD® versão 2018, com as dimensões em centímetros, separado em cadastro geométrico (Anexo I) e localização das fotos desse trabalho (Anexo II), com o objetivo de apresentar a estrutura e a localização das manifestações patológicas.

A classe de agressividade da ponte seguiu NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme apresentada na tabela 4, onde essa classificação está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concretos independente das ações previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Tabela 4: Classes de agressividade ambiental.
(NBR 6118, 2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação Geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	

IV	Muito Forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Para promover a classificação dessa OAE, seguiu-se o modelo da NBR 9452 (ABNT, 2016), onde a nota distribuída para uma ponte pode ser de 1 a 5 (crítica até excelente), sendo que essa nota está associada aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. A nota final da estrutura como um todo foi a menor nota atribuída em cada parâmetro analisado. A Tabela 5 apresenta o modelo de ficha de classificação da OAE. A Tabela 6 apresenta como classificar a ponte de acordo com cada parâmetro, onde o parâmetro estrutural está ligado com a segurança da estrutura e sua capacidade portante sob os critérios do Estado Limite Último (ELU). O funcional deve proporcionar segurança e conforto aos usuários com requisitos geométricos adequados como visibilidade e guarda-corpos íntegros. O de durabilidade está relacionado a vida útil da estrutura.

Após a identificação das patologias e classificação da estrutura, são propostas terapias, podendo ser um reparo ou até um reforço estrutural, para cada tipo de patologia. Em seguida, foi realizada uma análise crítica acerca da importância da manutenção para garantir uma vida útil longa e com menos intervenções.

Tabela 5: Modelo de ficha de classificação da OAE.
(NBR 9452, 2016)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Super Estrutura	Meso Estrutura	Infra Estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional							
Durabilidade							

Tabela 6: Classificação da condição da OAE.
(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 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 isoladas sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta alguns danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança aos usuários.	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 aos usuários com defeitos que requerem ações a 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, mas sem risco iminente. Sua evolução pode vir a levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	A OAE com funcionalidade visivelmente comprometida e com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata.	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.

4. RESULTADOS

A primeira inspeção dessa ponte foi executada logo após o término da construção em maio de 2001, depois tiveram inspeções rotineiras a cada ano, sendo a última executada em fevereiro de 2017 e uma inspeção especial ocorrida em outubro de 2011.

A inspeção desse trabalho, ocorreu em dezembro de 2018, durante dois dias e o autor do mesmo redigiu o relatório de inspeção especial para a concessionária. A inspeção especial foi feita do sentido leste para oeste. O início dela foi pelos elementos abaixo do pavimento, começando pelo encontro leste, passando pelo primeiro vão, onde podem ser analisadas as vigas longarinas e o vão entre elas. Mais adiante foi analisado o primeiro apoio, que foi considerado o bloco, travessa e os pilares 1, sul e norte. Essa sequência ordenada foi executada até o final da ponte, ou seja, até chegar ao encontro oeste. Por fim, foi feita uma vistoria no pavimento e nas barreiras rígidas.,

As localizações das fotos mostradas abaixo estão nos desenhos executados pelo software AutoCAD® versão 2018, encontrados no anexo II. O número entre parêntese (“x”) no início da legenda da foto, corresponde sua numeração no desenho de localização.

No Anexo III foram identificadas as principais anomalias encontradas em cada elemento. Se o elemento não tiver sido mencionado nesse anexo, significa que não foi encontrada manifestação patológica.

.

4.1 ANÁLISE DE PATOLOGIAS NA PONTE

.

4.1.1 Manchas de infiltração

Alguns elementos estruturais apresentavam manchas marrons que foram classificadas como devido a infiltração. Estas manchas foram detectadas na laje (Figura 31), bloco de fundação (Figura 32), viga travessa e transversina (Figura 33). Esta patologia foi identificada na viga travessa e transversina, devido as juntas de dilatação estarem com os lábios poliméricos interrompidos e com os perfis elastoméricos desgastados (Figura 34), permitindo a infiltração. Os buzinotes estavam danificados ou ausentes (Figura 35), e como esse sistema de drenagem é

responsável pelo escoamento de águas pluviais, pode ter sido também causador da infiltração dos elementos mencionados acima, principalmente nos balanços das lajes.



Figura 31: (1) Mancha de infiltração na laje.
(AUTOR)



Figura 32: (2) Mancha de infiltração no bloco de fundação.
(AUTOR)



Figura 33: (3) Mancha de infiltração na viga travessa e transversina.
(AUTOR)



Figura 34: (4) Interrupção dos lábios poliméricos e desgastes nos perfis elastoméricos das juntas.
(AUTOR)



Figura 35: (5) Buzinotes ausentes causando mancha de infiltração.
(AUTOR)

A Tabela 7 apresenta o levantamento quantitativo das regiões em que as manchas de infiltração foram detectadas.

Tabela 7: Quantitativo de manchas de infiltração.

Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Área
Encontro leste	17,0	0,9	15,3
Encontro Oeste	17,0	0,9	15,3
Parede laje de encontro	17,0	0,9	15,3
Pilar 6 -Sul	2,0	1,0	2,0
Viga longitudinal 6- Vão 11	8,3	2,0	16,6
Balanço Sul – Vão 2	7,0	3,0	21,0
Balanço Norte – Vão 10	5,0	5,0	25,0
Balanço Norte – Vão 9	2,36	1,0	2,36
Travessa Oeste – Pilar 8	16,0	1,2	19,2
Balanço Norte – Vão 8	2,36	3,6	8,48
Travessa Leste – Pilar 8	17,0	1,2	20,4
Balanço Sul – Vão 8	0,3	0,3	0,09
Balanço Norte – Vão 7	2,36	2,1	4,95
Travessa Leste – Pilar 6	4,32	1,3	5,62
Pilar 5 - Sul	2,0	1,0	2,0
Pilar 5 - Norte	2,0	1,0	2,0
Bloco pilar 5 – Face Norte	3,1	2,2	6,82
Bloco pilar 5 – Face Leste	15,6	2,2	34,32
Travessa Leste – Pilar 5	9,88	1,3	12,84
Vão VL3/VL4- Vão 5	0,9	1,4	1,26
Vão VL1/VL2- Vão 5	3,0	2,0	6,0
Bloco pilar 4 – Face Oeste	13,6	2,2	29,92
Travessa Leste – Pilar 4	13,6	2,2	29,92
Travessa Oeste – Pilar 4	9,65	2,6	25,09
Bloco pilar 4 – Face Leste	15,6	2,2	34,32
Travessa Leste – Pilar 3	9,88	1,3	12,84
Balanço Sul – Vão 4	0,9	0,45	0,41

Bloco pilar 3 – Face Oeste	15,6	2,2	34,32
Bloco pilar 3 – Face Norte	3,1	2,2	6,82
Bloco pilar 3 – Face Leste	15,6	2,2	34,32
Travessa Oeste – Pilar 3	9,88	1,3	12,84
Bloco pilar 2 – Face Leste	15,6	2,2	34,32
Vão VL3/VL4- Vão 3	3,0	2,4	7,2
Balanço Sul – Vão 3	1,0	4,0	4,0
Pilar 2 – Face Oeste	1,98	1,3	2,57
Total geral (m ²)			505,71

4.1.2 Eflorescência

A precipitação e acumulação de sais na superfície de concreto causam a eflorescência. Essa anomalia foi detectada na estrutura devido a manchas esbranquiçadas nas faces dos elementos. Foram encontradas principalmente nos balanços das lajes (Figura 36), devido a falha no sistema de drenagem.

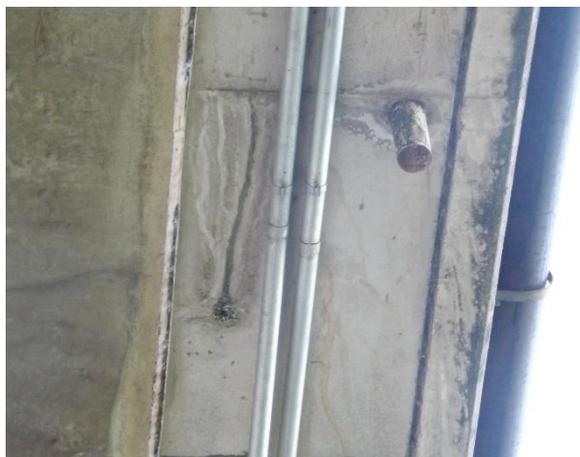


Figura 36: (6) Eflorescência no balanço da ponte.
(AUTOR)

A Tabela 8 apresenta o levantamento quantitativo das regiões onde foram identificadas eflorescência.

Tabela 8: Quantitativo de eflorescência.

Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)
Balanço Norte – Vão 2	1,25	0,7	0,88
Balanço Norte – Vão 2	2,0	0,2	0,4
Balanço Norte – Vão 9	1,7	1,0	1,7
Barreira Norte – Vão 8	1,9	0,4	0,76
Balanço Norte – Vão 7	2,0	1,0	2,0
Balanço Norte – Vão 6	0,8	0,25	0,2
Balanço Norte – Vão 4	1,0	0,5	0,5
Balanço Norte – Vão 4	0,4	0,3	0,12
Total geral (m ²)			6,56

4.1.3 Concreto desagregado

O concreto desagregado foi encontrado na viga do primeiro vão (Figura 37), e no bloco de fundação (Figura 38). A identificação foi feita através da visualização do desgaste superficial progressivo em que são expostos os agregados miúdos e graúdos e pela fissuração aleatória com a perda de coesão do concreto.



Figura 37: (7) Concreto desagregado na viga do primeiro vão.
(AUTOR)



Figura 38: (8) Concreto desagregado no bloco de fundação.
(AUTOR)

A Tabela 9 apresenta o levantamento quantitativo das regiões onde foram encontrados trechos de concreto desagregado.

Tabela 9: Quantitativo do concreto desagregado.

Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)
Estrutura complementar-face norte	2,41	0,5	1,2
Viga longitudinal 2 – Vão 1	22,2	0,85	18,87
Viga longitudinal 3 – Vão 1	1,57	0,4	0,63
Viga longitudinal 5 – Vão 2	0,74	0,85	0,63
Travessa Leste- Pilar 10	2,78	1,0	2,78
Viga longitudinal 4- Vão 8	1,11	0,85	0,94
Viga longitudinal 2- Vão 7	22,2	0,85	18,87
Viga longitudinal 2- Vão 7	12,95	0,85	11,01
Bloco – Pilar 1	2,78	0,2	0,56
Viga longitudinal 3 – Vão 5	0,93	2,0	1,85
Viga longitudinal 6- Vão 6	2,2	2,0	4,44
Viga longitudinal 5- Vão 6	0,93	0,85	0,79
Viga longitudinal 3- Vão 6	1,11	0,85	0,94
Pilar 5 – Face Oeste	1,3	0,6	0,78
Viga longitudinal 4 – Vão 3	1,11	0,6	0,67
Total Geral (m ²)			64,94

4.1.4 Manchas enegrecidas

As manchas enegrecidas (Figura 39) foram identificadas em alguns blocos dos pilares através de sua área escura. Esse tipo de anomalia ocorreu devido a utilização de chamas próximo ao bloco.



Figura 39: (9) Manchas enegrecidas no bloco do pilar.
(AUTOR)

A Tabela 10 apresenta o levantamento quantitativo das regiões onde foram identificadas manchas enegrecidas.

Tabela 10: Quantitativo de manchas enegrecidas.

Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)
Pilar 1 – Face Norte	2,2	2,0	4,4
Bloco pilar 7 – Face Sul	2,0	1,0	2,0
Pilar 1 – Face Sul	1,7	1,2	2,04
	Total geral (m ²)		8,44

4.1.5 Fissuras

As fissuras foram encontradas nos blocos de fundação junto a base dos pilares (Figura 38), balanços das lajes (Figura 39) e na barreira rígida (Figura 40). Elas foram detectadas através da abertura no concreto e apresentaram profundidade variável. As fissuras podem ter ocorrido devido a solicitações da flexão, torção, cortante, retração e variação da temperatura.



Figura 40: (10) Fissura no bloco de fundação.
(AUTOR)

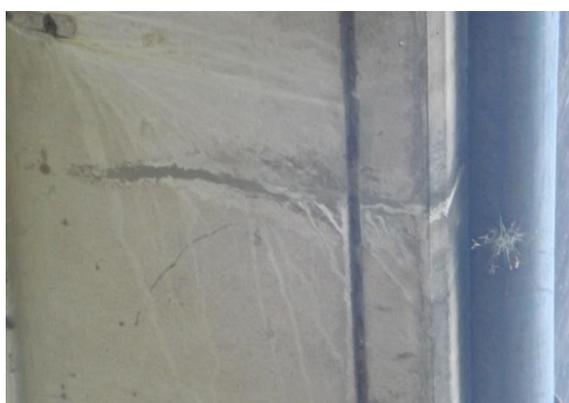


Figura 41: (11) Fissura no balanço.
(AUTOR)



Figura 42: (12) Fissura na barreira rígida.
(AUTOR)

O levantamento quantitativo do comprimento e abertura das fissuras identificadas são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Quantitativo de fissuração.

Localização	Comprimento (m)	Abertura (mm)
Barreira rígida sul – Pista Leste	0,9	0,30
Pilar 5 - Norte	1,9	0,30
Bloco pilar 1 - Norte	1,2	0,1
Bloco pilar 4 - Norte	0,7	0,1
Bloco pilar 4 - Norte	0,5	0,1
Bloco pilar 4 - Centro	1,1	0,5
Balanço Norte – Vão 6	0,6	0,3
Balanço Norte – Vão 6	0,8	0,2
Viga longitudinal 3 – Vão 5	0,9	0,2
Encontro Oeste	6,8	0,2
Pilar 2 - Sul	0,9	0,2
Pilar 2 - Sul	1,1	0,3

4.1.5 Carbonatação

Por se tratar de uma ponte, a estrutura tem grande risco de sofrer carbonatação. Para verificar se a estrutura está dentro do grau de carbonatação aceitável foi realizado o procedimento de contrastes empregando soluções químicas indicadoras de pH. O teste químico consiste em aplicar sobre uma superfície de concreto, recém exposta, a solução alcoólica de fenoftaleína a 1%.

A solução foi preparada conforme sugere o CPC-18/RILEM (1988), em que a fórmula possui a quantidade de 1 grama de fenolftaleína em álcool etílico de 70%. Nesse caso a fenolftaleína adquire a coloração róseo-avermelhada para pH igual ou superior a 9,5. O CPC-18/RILEM (1988) avalia a conformidade de aceitação do nível de carbonatação, relacionado ao cobrimento da armadura, em torno de 40 mm.

No quadro de amostras realizadas (Tabela 12), pode ser observado a medida de carbonatação para 6 corpos-de-provas extraídos.

Tabela 12: Resultados do ensaio de carbonatação.

CP	Localização	Medida do CP (mm)	Medida da carbonatação (mm)
1	Transversina do encontro leste entre V5 e V6	195,0	12,48
2	Viga 6	130,0	13,26
3	Bloco do P1 Norte	160,0	31,00
4	Pilar 8 Sul	80,0	23,40
5	Transversina Pilar 8	170,0	6,23
6	Pilar 7 sul	130,0	18,21

Observando a Tabela 12, é possível notar que o estado de carbonatação está em nível de contaminação aceitável, pois em nenhum corpo-de-prova a medida de carbonatação foi superior a 40 mm.

4.1.6 Corrosão da armadura

A corrosão é uma patologia muito comum em pontes, porém nessa estrutura só foi detectada nas barreiras rígidas da pista conforme apresentado na Figura 43. A identificação foi feita através da exposição da armadura por conta do deslocamento do concreto gerado pela corrosão da armadura e consequentemente o aumento da seção de aço.



Figura 43: (13) Corrosão das armaduras na barreira rígida central.
(AUTOR)

A Tabela 13 apresenta o levantamento quantitativo da região onde foi identificada corrosão na abreira rígida.

Tabela 13: Quantitativo de corrosão.

Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)
Barreira Rígida central	0,5	0,5	0,25
	Total geral (m ²)		0,25

4.1.6 Problemas na pavimentação

Na pavimentação foram encontradas duas anomalias na pista asfáltica, uma conhecida por trinca tipo “couro de jacaré” (Figura 44) e a outra conhecida como panela (Figura 45).

A trinca do tipo “couro de jacaré” ocorreu, provavelmente, devido ao excesso de carga, a variações volumétricas em decorrência da retração do concreto, variações térmicas e alternância do ciclo de molhagem e secagem. Embora essa patologia não tenha um aspecto visual agradável, ela não apresenta uma deficiência estrutural. A panela, que é o desgaste e deslocamento do asfalto, ocorreu devido ao excesso de carga no pavimento.



Figura 44: (14) Trinca tipo "couro de jacaré" na rodovia.
(AUTOR)



Figura 45: (15) Panela na rodovia.
(AUTOR)

4.1.7 Corrosão na estrutura metálica

Uma mancha de corrosão foi identificada no vão 4 da estrutura metálica (Figura 46), em função das manchas superficiais e pela visualização de ferrugem aparente. Para este caso específico de patologias em elementos metálicos não será proposto metodologia de recuperação, pois o escopo do trabalho é patologia em concreto.



Figura 46: (16) Corrosão das vigas metálicas.
(AUTOR)

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA OAE

Conforme mencionado anteriormente, a classificação dessa OAE seguiu a NBR 9452 (ABNT, 2016), onde foi analisado os três parâmetros, funcional, estrutural e de durabilidade. Os requisitos de classificação foram mostrados na Tabela 7.

A estrutura apresenta anomalias que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Em relação ao parâmetro funcional, a maioria das anomalias apresentadas não causam desconforto ao usuário exceto a interrupção dos lábios poliméricos e desgastes nos perfis elastoméricos das juntas de dilatação, pois eles fazem com que os automóveis tenham um maior impacto nesse trecho da ponte.

A durabilidade e sua vida útil estão diretamente ligadas as ações que vêm sendo tomadas e ações a serem tomadas para mitigar as patologias verificadas. No caso dessa OAE, as inspeções contribuíram para identificar a incidência de infiltrações e a necessidade de reparos no encontro leste e nas travessas provenientes das juntas de dilatação; concreto desagregado em pontos das mesas inferiores das vigas longarinas; a necessidade de recuperação das juntas de dilatação, perfis elastoméricos e lábios poliméricos; necessidade da vedação dos buzinos, bem como implantação dos buzinos faltantes e/ou danificados.

A Tabela 14 foi montada a fim de classificar a OAE de acordo com os parâmetros mencionados acima. Para a classificação de cada parâmetro deve-se tomar a menor nota avaliada.

Tabela 14: Ficha de classificação da ponte sobre o rio Tietê.
(NBR 9452, 2016)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Super Estrutura	Meso Estrutura	Infra Estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	4	4	4	4	4	4
Funcional	4	NA	NA	4	4	3	3
Durabilidade	4	4	4	4	4	4	4

Sendo assim, de acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2016), podemos concluir as seguintes classificações:

- **Estrutural:** Nota 4, apresentando poucos e pequenos danos, sem comprometer a segurança estrutural.
- **Funcional:** Nota 3, apresentando desconforto ao usuário, com os defeitos que requerem ações de médio prazo.

- **Durabilidade:** Nota 4, apresentando pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

É importante atentar com o parâmetro de funcionalidade da estrutura, pois ele foi classificado como regular, necessitando de uma nova vistoria a médio prazo, para evitar problemas futuros.

4.3 RECUPERAÇÃO DA ESTRURA DE CONCRETO - TERAPIAS

Essa seção tem por objetivo apresentar as sugestões de metodologias para recuperação estrutural, funcional e de durabilidade a serem aplicadas nas principais anomalias encontradas durante a inspeção especial realizada na ponte analisada.

Toda a metodologia e logística de execução foi concebida atendendo as recomendações e especificações dos fabricantes dos diversos produtos que foram utilizados e também seguiram as normas vigentes que tratam do assunto em questão.

4.3.1 Tratamento de fissuras

Existe vários métodos para tratamento de fissuras, o que se deve observar para optar pela melhor decisão é ver como está se comportando as fissuras, quais são as espessura delas e se estão secas ou úmidas.

4.3.1.1 Tratamento de fissuras superficiais com posicionamento aleatório (mapeadas)

A necessidade de selagem ou colmatação de fissuras superficiais de pequena abertura tem por finalidade reconstituir a integridade das peças ao longo das fissuras e impedir o acesso de elementos tais como água, gás carbônico, íons de cloro e de outros agentes nocivos ao concreto, as armaduras.

A especificação aqui descrita se aplica apenas aos casos em que não exista a necessidade de injeção das fissuras. A Tabela 15, mostra os equipamentos, materiais e ferramentas necessárias para o procedimento de recuperação da patologia.

Tabela 15: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas no tratamento de fissuras.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas / Outros
Hidrojateadora (wap)	Água	Lixa nº 100
Lixadeira elétrica	Argamassa para estucamento	Desempenadeira metálica
Furadeira com hélice misturadora	Manta tipo bidim ou curaflex	Espátula de aço / espuma
Compressor com filtro	Hidrofugante	Reservatório de água
Gerador		Pulverizador manual de água
		Vassouras ou broxas

Segundo a Ecorodovias (2014), a sequência de recuperação pode ser feita seguindo as seguintes etapas:

a) Limpeza inicial das superfícies de concreto com hidrojateamento

Retirada das partículas soltas e pulverulentas da superfície de concreto, através de hidrojateamento com pressão de 10 MPa e bico tipo zero.

b) Lixamento superficial do concreto aparente

- Lixamento mecânico preliminar, executado com lixadeira elétrica equipada com discos de lixa de carbureto de silício com 24 a 36 grãos/cm² (lixa grossa).
- A lixa deve ser mantida paralela à superfície em tratamento, procurando-se fazer movimentos circulares, uniformizando ao máximo a superfície, substituindo-se a lixa sempre que necessário, evitando-se a ocorrência de manchas e “queima” superficial do concreto.

c) Limpeza e saturação das superfícies de concreto com hidrojateamento

- Fazer uma nova lavagem para eliminação do pó proveniente do lixamento; anteriormente à lavagem, o material pulverulento pode ser removido com vassouras ou broxas de pelo macio.

- Após a limpeza das superfícies, promover a saturação do concreto, através de hidrojateamento de água (equipamento de jato d'água, pressão de 1500 Psi - 10 MPa, bico em "leque") ou pulverização, até início de escorrimento superficial da água lançada, indicando a saturação do concreto.

d) Estucamento da superfície lixada do concreto aparente

- Aplicação de pasta de estucamento em toda a superfície de concreto (já na condição de saturada e seca), tamponando-se os poros e regularizando a superfície do concreto, de modo que somente os poros e pequenas irregularidades sejam preenchidos e não haja formação de camada ou película sobre a superfície (estruque raspado);
- Para preparação da pasta de estuque, misturar manualmente e diretamente num caixote, cimento Portland (CP-II-E, CP-II-F ou CP-II-II-Z), cimento branco estrutural, resina acrílica e água no traço 2:1:1:1 em volume. Se necessário para melhorar a eficiência do processo de mistura, utilizar um misturador. A proporção relativa entre os componentes cimento poderá ser alterada para obtenção de colorações mais claras ou mais escuras de modo a obter uma tonalidade similar à da estrutura original;
- A aplicação poderá ser feita com espátula, desempenadeira metálica, betumadeira ou espuma;
- Após 4 a 8 minutos, concluir a aplicação com espátula de aço pressionando-se a mesma fortemente, de modo a evitar a formação de uma camada, com bolhas de ar aprisionadas, sobre o concreto, ou seja, a argamassa de estucamento deverá ter uma consistência tal que permita preencher furos, cavidades, vazios, bolhas ou microfissuras, sem que haja formação de película sobre o concreto;
- O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, ou feltrada (espuma) dependendo do acabamento que se queira conferir à superfície.

e) Cura do estuque raspado

- Decorrida cerca de duas horas deverá ser iniciado o processo de cura do estuque, através de aplicação de borrifos de água sobre a superfície, utilizando-se pulverizador manual de água, mantendo-se a superfície úmida pelo menos por três dias
- Nestas primeiras 36 horas deverá ser evitada a radiação solar direta através do uso de anteparos.

f) Retirada dos excessos de estuque

Após a cura do estuque, retirar os excessos (camadas superficiais) através de lixamento manual com lixa nº 100, deixando apenas o material depositado nos poros e pequenas cavidades.

g) Limpeza das superfícies lixadas

Após o lixamento superficial, limpar as superfícies através de hidrojateamento, retirando todo o material pulverulento; anteriormente à lavagem, o material pulverulento pode ser removido com vassouras ou broxas de pelo macio.

h) Aplicação de hidrofugante

Caso seja especificada a pintura da superfície, após o lixamento final, já com a superfície limpa e seca, deverá ser aplicado o primer específico para o acabamento especificado.

4.3.2 Tratamento de fissuras passivas ($A < 0,3\text{mm}$), fissuras colmatadas ou em elementos secundários

A selagem ou colmatação de fissuras pequenas é utilizada nos casos de aberturas inferiores a 0,3mm em elementos estruturais, fissuras colmatadas por eflorescências (onde não é possível a injeção) ou fissuras de qualquer abertura em elementos secundários como cortinas e barreiras rígidas. Os equipamentos e materiais utilizados nesse tratamento são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para tratamento de fissuras menores que 3mm.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas / outros
serra circular com disco diamantado (305mm)	água	ponteiro/talhadeira
gerador	giz (cera ou escolar)	martelo ou marreta
compressor com filtro	resina epoxídica	escovas com cerdas de aço

De acordo com a Ecorodovias (2014), a sequência de recuperação pode ser feita seguindo as seguintes etapas:

a) Preparo da área a ser reparada

- Hidrojateamento com pressão 10 MPa, de modo a remover toda a fuligem aderida na superfície;
- Demarcação da área de corte sobre a junta existente com giz estaca;
- Abertura de sulco sobre e ao longo da fissura com seção retangulares sendo 10 mm de largura e 5 mm de profundidade, com utilização de disco de corte e ferramenta manual dotada de ponta de vídea;
- Jateamento de ar comprimido para eliminação do pó proveniente do corte.

b) Calefatação com argamassa epóxi

- Aplicação de argamassa epóxi (superfícies secas) ou poliéster (superfícies úmidas) ao longo da fissura, de forma a criar uma faixa de pelo menos 10 mm de largura e 5 mm de espessura.

O procedimento descrito na etapa da área a ser reparada e da calefatação com a argamassa epóxi está indicado na Figura 47.

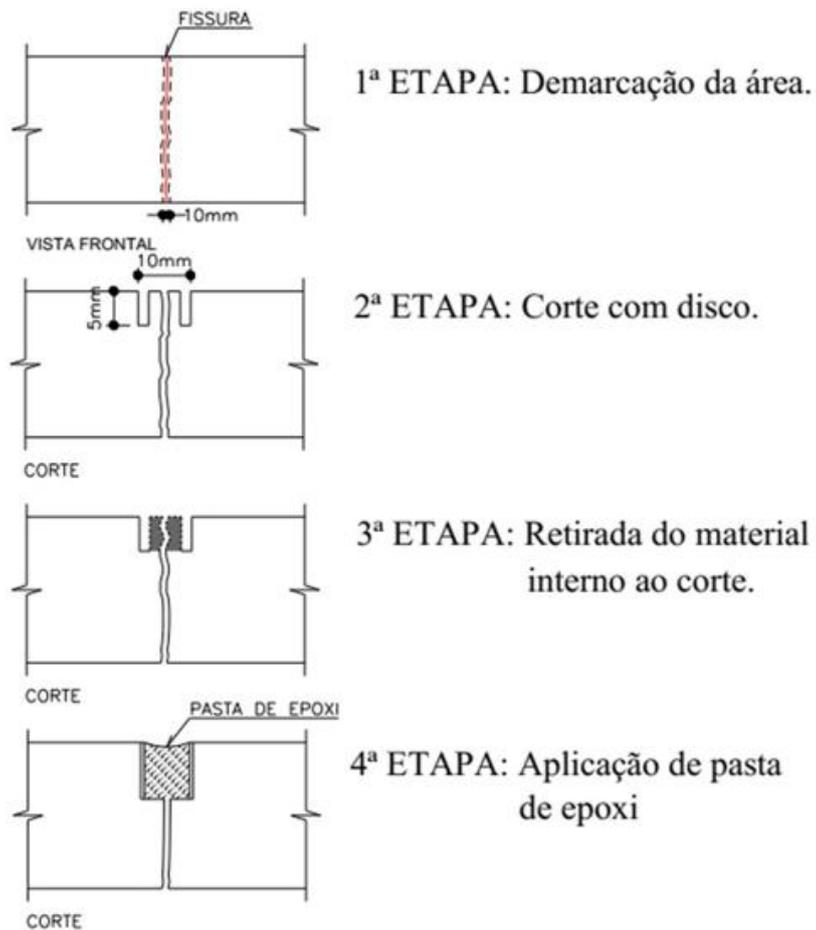


Figura 47: Etapas de procimento para o tratamento de fissura. (ECORODOVIAS, 2014)

4.3.3 Preparo da superfície para tratamento do concreto desagregado

Esta metodologia deverá ser aplicada em todas as regiões onde se observa concreto desagregado, com ou sem armaduras corroídas. No caso da ponte em análise as armaduras não estão corroídas. Os equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para o tratamento do concreto desagregado são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para tratamento do concreto desagregado.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas / outros
serra circular com disco diamantado (305 mm)	água	ponteiro / talhadeira
martetele (elétrico ou hidráulico)	giz (cera ou escolar)	martelo ou marreta
compressor com filtro	primer para proteção da armadura	mangueiras com bicos direcionais
gerador	anôdo de sacrifício (opcional)	reservatório de água
Hidrojateadora tipo “wap” ou equivalente		escovas com cerdas de aço
Aspirador de ar industrial (opcional)		escovas ou vassourões

De acordo com a Ecorodovias (2014), a sequência de recuperação pode ser feita seguindo as seguintes etapas:

a) Limpeza da superfície

- A superfície de concreto a ser tratada deve estar limpa e livre de pasta de cimento, resquício de solo ou outro material que prejudique a visualização da região a ser tratada;
- Aplicar jato e água de alta pressão (com ou sem auxílio de ar comprimido) ou lixamento mecânico em toda a superfície do concreto, caso necessário.

b) Delimitação da área a ser tratada

- Identificar com o giz de cera ou lápis estaca as regiões com anomalias a serem reparadas, criando figuras geométricas retas (quadradas ou retangulares) que envolvam com folga estas áreas. Não se deve utilizar demarcações em figuras circulares ou onduladas. A Figura 48 apresenta o método para execução da demarcação;

- Na delimitação das regiões a serem reparadas, deve ser utilizada serra elétrica circular dotada de disco de corte diamantado, tipo Makita, com a profundidade de aproximadamente 1 cm. Esta medida pode variar em função do cobrimento das armaduras (estribos), no entanto deve apresentar no mínimo 0,5 cm;
-

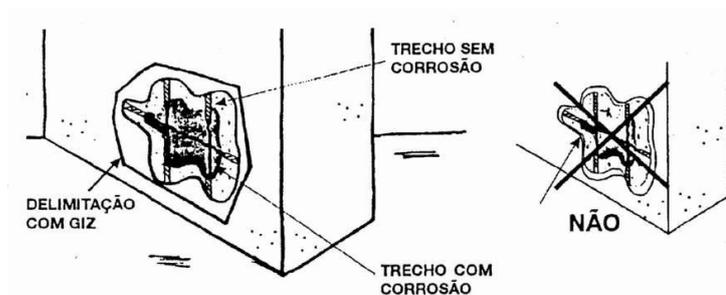


Figura 48: Delimitação correta da área a ser tratada.
(ECORODOVIAS, 2014)

- O apicoamento do concreto na superfície deve ser feito dentro da área delimitada até o friso formado pelo disco de corte. Esse método pode ser executado manualmente (com ponteiros e marretas leves, preferencialmente) ou mecânico (rebarbadores pneumáticos leves de até 6 kg ou martelotes elétricos), evitando assim o rompimento das bordas do friso. A Figura 49 demonstra esse procedimento.

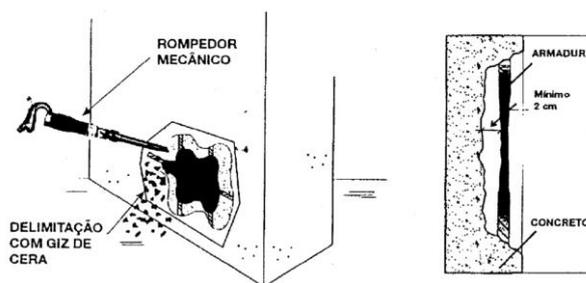


Figura 49: Procedimento de apicoamento.
(ECORODOVIAS, 2014)

c) Escarificação até 3 cm de profundidade

- Remover todo concreto deteriorado escarificando com ponteiro e marreta, de fora para dentro, evitando golpes bruscos que possam lascas as arestas e áreas adjacentes. Em áreas grandes (maiores que 1 m²) pode-se empregar rebarbador elétrico ou pneumático. Remover todo material solto até atingir o concreto são, deixando a superfície rugosa e coesa com o agregado graúdo visível. A Figura 50 demonstra o operador executando a escarificação.

Observação: Na ponte analisada não será necessário tratamento para escarificação acima de 3 cm.



Figura 50: Procedimento de escarificação.
(ECORODOVIAS, 2014)

c) Limpeza da superfície

- Após a remoção do concreto deteriorado, executar a limpeza da área apicoada através lavagem por hidrojateamento ou a seco, com ar comprimido. A superfície deve ficar isenta de partículas e de óleo.

d) Reparo das armaduras com corrosão

- Realizar a limpeza das armaduras com escovas com cerdas de aço, deixando-as na condição de metal cinza com cor uniforme;
- Caso se verifique, em decorrência da oxidação da armadura longitudinal e/ou transversal, uma redução de seção da barra de aço superior a 20% da nominal e/ou redução do diâmetro em 10% em relação à barra original, deverá ser adicionada uma outra barra para reforço de mesmo tipo e bitola da existente, observando-se os transpasses mínimos estabelecidos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

e) Proteção das armaduras

- Aplicar proteção através de pintura passivadora das armaduras, composta de primer rico em zinco (zinco metálico puro, com teores superiores a 55% em peso);
- Antes da aplicação da camada protetora, não devem existir pontos de ferrugem ou óxido aderente nas barras de aço. Após a aplicação da pintura, não poderão existir pontos sem perfeita cobertura pela tinta anticorrosiva

4.3.4 Implantação ou substituição de perfil pré-fabricado para juntas de dilatação

Esse método deve ser aplicado para as juntas onde o lábio e/ou perfil de vedação estejam danificados. Os equipamentos, materiais e ferramentas necessários para vedação das juntas são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Equipamentos, materiais e ferramentas para tratamento de juntas de dilatação.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas/outros
serra circular com disco diamantado (305 mm)	água	ponteiro/talhadeira
martetele (elétrico ou hidráulico)	giz (cera ou escolar)	martelo ou marreta
compressor com filtro	primer de aderência para o lábio	mangueiras com bicos direcionais
gerador	argamassa para o lábio	pincel
	adesivo epoxídico	escovas com cerdas de aço
	perfil pré-fabricado para vedação	isopor ou formas de madeira

Segundo a Ecorodovias (2014), o procedimento recomendado está descrito a seguir:

a) Remoção do lábio

- Remover todo o lábio existente criando um sulco com seção retangular, ao longo de todo o trecho da junta a ser recuperada, conforme a Tabela 19. Os lábios devem ser totalmente recuperados, não ocorrendo emendas com lábios antigos deteriorados.

Tabela 19: Parâmetros para recuperação das juntas.
(ECORODOVIAS, 2014)

Abertura da junta (cm)	Dimensão do lábio	
	b (cm)	h (cm)
2 a 6 cm	4	3
6 a 10 cm	5	3
10 a 15 cm	6	4

- Em casos em que ocorra apenas problemas de deslocamento, ressecamento ou ruptura do perfil elastomérico, também deve-se realizar a troca dos lábios.
- A superfície de concreto deve ser limpa com ar comprimido, removendo as poeiras, nata de cimento e as partes soltas ou eventualmente contaminadas.

b) Instalação de novo lábio

- Aplicar primer de aderência nos detalhes dos lábios;
- Instalação de “isopor” na junta do tabuleiro, na medida prevista em projeto, impedindo a invasão de concreto e outros elementos.
- Lançar, compactar e nivelar a argamassa epóxi, que compõe os lábios. O reforço das bordas deve ser executado com argamassa à base de resina epóxi e cargas minerais. As especificações técnicas da argamassa epóxi recomendadas por normas são descritas na Tabela 20.

Tabela 20: Especificações técnicas para o reforço com argamassa à base de resina epóxi.
(ECORODOVIAS, 2014)

Especificação	Norma	Valor
Resistência à compressão	NBR 12041	70 MPa
Resistência à tração	NBR12041	10 MPa
Resistência à tração na flexão	ASTM C-580	22 MPa
Desgaste à abrasão após 1000 voltas	ASTM 4060	0,38 mm
Absorção em água em %	ASTM C413	0,10%

A forma de instalação do novo lábio está representada na Figura 51.

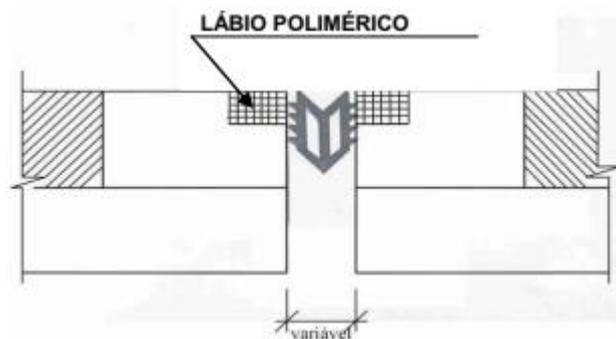


Figura 51: Instalação do lábio polimérico.
(ECORODOVIAS, 2014)

c) Instalação de novo perfil da vedação

- Limpar a face lateral do lábio em contato com perfil através de escovação energética. Nas barreiras rígidas antes da aplicação do novo perfil, deverá ser realizada a limpeza e desobstrução das juntas. Caso ocorra irregularidade nas bordas das juntas, a abertura deverá ser corrigida com disco diamantado ou recomposta com argamassa polimérica;
- Aplicar o adesivo epóxi nas laterais do perfil e na sede;
- Instalar o perfil básico do tipo junta elástica nucleada estrutural de acordo com as dimensões da junta, constatadas no local, em toda a extensão da sede, inclusive no trecho da barreira rígida e/ou passeio. É importante atentar para o posicionamento da junta de dilatação, levando em conta o alinhamento

e principalmente o nível em relação ao piso acabado (pavimento rígido ou flexível);

- No término da cura do adesivo, remover as válvulas de pressurização.

4.3.4 Tratamento superficial do concreto

Esse tratamento é utilizado para reparo das manchas por infiltração e manchas enegrecidas. Os equipamentos, materiais e ferramentas necessários para esse procedimento estão representados na Tabela 21.

Tabela 21: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizados no tratamento superficial de concreto.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas / Outros
compressor com Filtro	água	pincel, broxa, rolo de pintura
gerador	hidrofugante	bandeja para tinta. pulverizador ou pistola airless

O procedimento recomendado pela Ecorodovias (2014) está descrito a seguir.

a) Serviços iniciais

- As superfícies do concreto deverão ser limpas conforme metodologia de limpeza da superfície através do jateamento de água;
 - Todos os poros, fissuras e demais irregularidades devem ser tratadas através de estucamento da superfície;
 - Diluir e aplicar o hidrofugante conforme orientações do fabricante;
 - O hidrofugante pode ser aplicado sobre substrato com alguma umidade residual, no entanto quanto menor o teor de umidade da superfície, maior a penetração do produto e conseqüentemente maior será a sua eficácia.

4.3.5 Prolongamento dos buzinos

Na ponte analisada, foram observadas aberturas para buzínates, porém ele não estava aparente. Além disso, foram identificados elementos danificados gerando uma elevada incidência de manchas por infiltração. Para evitar infiltração por consequência de falta ou danificação de buzínate, é proposta a metodologia a seguir. Os equipamentos, materiais e ferramentas utilizados nesse procedimento são descritos na Tabela 22.

Tabela 22: Equipamentos, materiais e ferramentas utilizados para o prolongamento do buzínate.
(ECORODOVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas / Outros
compressor com filtro	lixa	ponteiro/talhadeira
gerador	tubo de PVC	martelo ou marreta
	argamassa polimérica	mangueiras com bicos direcionais
		argamassadeira
		colher/desempenadeira

De acordo com a Ecorodovias (2014), procedimento recomendado é:

- Remover o concreto em torno do tubo, mediante utilização de ponteiro e marreta, devendo-se executar a demolição na face inferior da laje, conforme demonstra a Figura 52;
- Remoção dos resíduos, em torno do tubo mediante lixamento;
- Colocação de um prolongador, consistindo em um tubo de mesmo diâmetro e material, tomando os devidos cuidados para garantir um comprimento mínimo de 20 cm e aderência entre os tubos;
- Reconstituição do concreto, mediante aplicação de argamassa polimérica.

a = abertura necessária e suficiente para a colocação do prolongador.

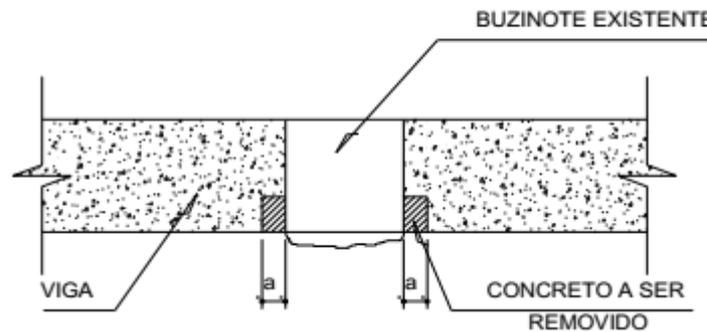


Figura 52: Demolição da face inferior da laje para o prolongamento do buzinote. (ECORODOVIAS, 2014)

4.3.6 Recuperação de pavimento asfáltico sobre a estrutura

Essa terapia foi utilizada para recuperação do pavimento, pois ele apresentava anomalias como panela e fissura do tipo “couro de jacaré”. Os equipamentos, materiais e ferramentas utilizadas para essa recuperação são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Equipamentos, materiais e ferramentas para recuperação do pavimento asfáltico. (ECODOROVIAS, 2014)

Equipamentos	Materiais	Ferramentas/ Outros
serra circular com disco diamantado	giz (cera ou cscolar)	ponteiro/talhadeira
martelete	ligante	martelo ou marreta
compressor com filtro	CBUQ	mangueiras com bicos direcionais
gerador		
caldeira para ligante		
equipamento para aquecimento e aplicação do CBUQ		

Segundo a Ecorodovias (2014), o procedimento recomendado é descrito a seguir.

- Demarcar a área a ser reparada de modo a resultar pelo menos mais de 30 cm de cada lado da região;

- Remoção do pavimento flexível disgregado e/ou com fissuras mapeadas maiores que 0,4mm (área demarcada) até atingir o pavimento rígido ou a laje do tabuleiro.;
- Após a remoção do pavimento flexível, aplica-se um jato de ar comprimido, com o auxílio de um compressor de alta capacidade (mínimo 100 PCM). O resultado é um reservatório limpo livre de todos os resíduos de agregado e impurezas que poderiam vir a comprometer a aderência entre o material selante e o pavimento em reparo. Limpar a superfície remanescente, de modo a eliminar todo e qualquer material solto;
- Aplicar ligante betuminoso em toda a superfície da base e entre as camadas de CBUQ, de maneira uniforme. A temperatura de aplicação deve ser fixada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura e viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento. A aplicação deverá ser feita com espargidor manual;
- Recomposição do pavimento com concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

É importante salientar que o pavimento deve ser aplicado de modo a garantir o escoamento adequado das águas pluviais para o sistema de drenagem.

4.4 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO

A ponte analisada foi classificada como regular no parâmetro funcional e boa nos demais parâmetros. A manutenção preventiva e corretiva deve ser feita para evitar a evolução das patologias e conseqüentemente causar grandes problemas estruturais, funcional e de durabilidade. É importante salientar também que o quanto antes se iniciar uma manutenção, menor será o custo para recuperação da OAE.

5. CONCLUSÕES

São muitos os tipos de patologias que podem ocorrer em uma OAE, por conta da má qualidade da elaboração dos projetos, da falta de especificação e mal uso dos materiais, do uso inadequado da sua estrutura e na falta de manutenção preventiva. Essas anomalias poderiam ser evitadas ou retardadas se houvesse mais cuidado nas diversas etapas de uma obra, reduzindo a necessidade de serviços de recuperação. Por essa razão é muito importante que todos os envolvidos estejam aptos a executarem os serviços, seguidos de treinamentos e informações técnicas.

A inspeção especial na ponte sobre o rio Tietê, objeto desse trabalho, aconteceu no momento adequado, pois foi possível identificar as patologias a tempo para serem recuperadas, garantindo a segurança e o conforto dos usuários. Foram identificadas patologias do tipo: concreto desagregado, concreto desagregado com armadura exposta, fissuração, manchas de infiltração, manchas enegrecidas e corrosão. Vale argumentar que as manchas de infiltração foi a anomalia mais quantificada na ponte, devido principalmente a duas situações, a problemas no sistema de drenagem e nas juntas de dilatação. A primeira situação gerou infiltração em virtude da falha de vedação dos buzinotes e na ausência dos mesmos em alguns lugares do balanço, já a segunda situação ocasionou essa anomalia em razão dos perfis elastoméricos dos lábios poliméricos estarem engastados, desalinhados e com problema de vedação. Nesse trabalho em todas as manifestações patológicas foram propostas metodologias de recuperação e as possíveis causas para as mesmas.

É bom salientar que deve-se tomar cuidado em todo processo de recuperação, como o controle da sequência executiva, o material utilizado e se o operador possui requisitos suficientes para executar o procedimento pois todos esses fatores são cruciais para que a anomalia não volte aparecer.

O fato da estrutura estar recuperada não é motivo para ela ser deixada de lado. As inspeções rotineiras devem ser feitas periodicamente para analisar como está o comportamento da OAE em relação aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Sendo assim, esse trabalho buscou apresentar técnicas de identificação de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Além disso, este

trabalho atentou por mostrar as possíveis causas das patologias e suas terapias para recuperação.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar os custos envolvidos caso uma manutenção de rotina fosse executada e o quando ela pouparia em trabalhos de recuperação;
- Desenvolver em laboratório a recuperação de superfícies de elementos deteriorados e elaborar uma rotina de recuperação mais otimizada visando reduzir as perdas com material e mão-de-obra.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Reatividade álcali-agregado**. NBR15577-3. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. NBR 7188. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**. NBR 7680. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido - Determinação da resistividade eletrovolumétrica - método de ensaio**. NBR 9204. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. NBR 8802. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio**. NBR 7584. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estrutura de concreto armado- procedimento**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland - Requisitos**. NBR 16697. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação**. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Corrosion of metals in concrete**. ACI 222R-96. Detroit, 1997.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: CONCRETO: ENSINO, PESQUISA E REALIZAÇÕES- IBRACON, São Paulo, 2005.

ARAUJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4ª ed, v. 1. Rio Grande: Dunas.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1ª ed. Goiânia: UFG.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. 1994. 139 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Brasília. Brasília, 1994.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **Assessment of concrete structures and design procedures for upgrading (redesign)**. CEB 162. Lausanne, 1983.

COUTINHO, P.R.P. **Patologias em concreto armado**. 2018. 93 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil). Universidade Veiga de Almeida. Rio de Janeiro, 2018.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO. Coimbra, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Inspecões em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. 010/2004 – PRO. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de inspecões de pontes rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

ECORODOVIAS. **Especificação Particular para Recuperação de Obras de Arte Especiais**. ET-S2.001.000-0-EST/002. São Bernardo do Campo, 2014.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. Apostila. São Paulo, 2002.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

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

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV CONGRESSO IBERO AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Porto Alegre, 1997.

LEMOS, K. B. Q. **Manutenção e Reabilitação de Túneis**. Brasília, 2005. 203 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

MAZER, W. **Ensaio sobre o concreto**. Notas de Aula. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1994.

MIZUMOTO, C. **Investigação da reação álcali-agregado (RAA), em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. 2009. 162 p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2009.

NAKAMURA, J. **Reparo, reforço e recuperação de concreto**. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/concreto-reparo-reforco-e-recuperacao-de-concreto-285462-1.aspx>>. Acesso em: 15/03/2019.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**, 2001. 114 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

RILEM RECOMMENDATIONS. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. CPC-18. 1996.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAU-USP, 1980.

SILVA, S. V. V. **Patologia, Recuperação e reforço de estruturas em concreto armado**. 2016. 81 p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. 2000. 259 p. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

VITÓRIO, J. A. P. **Danos e acidentes estruturais causados pela erosão pelas cheias nas fundações e nos aterros de acesso de Pontes rodoviárias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS. Rio de Janeiro, 2016.

ANEXO I

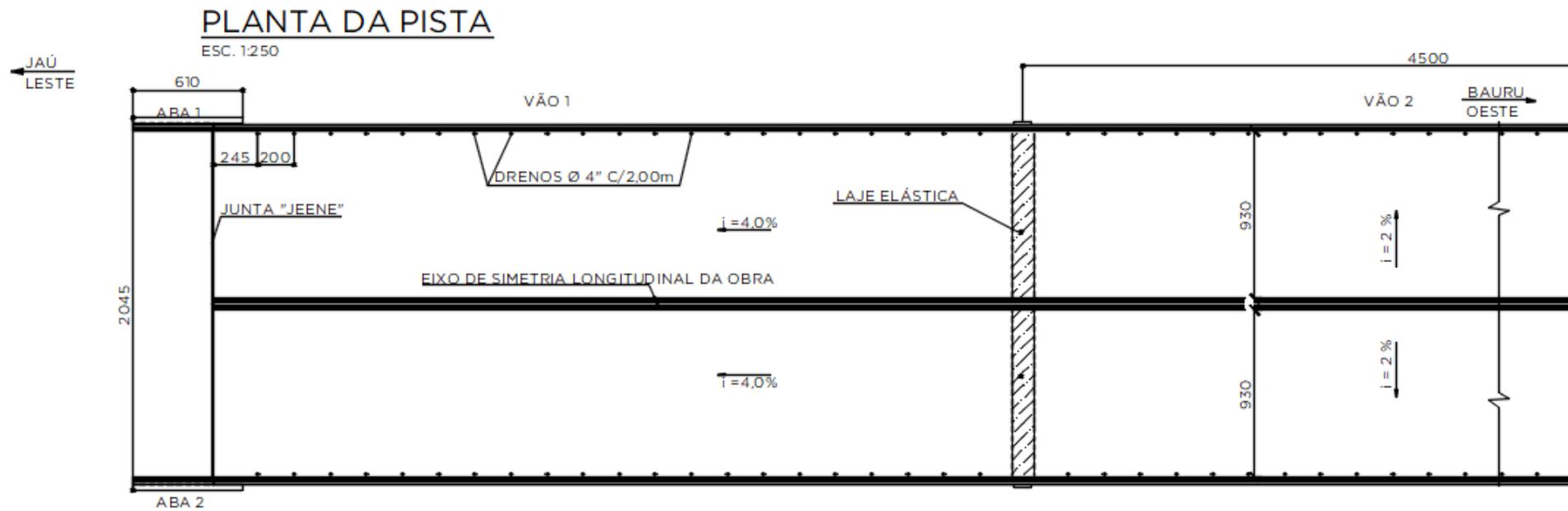


Figura 53: Planta da pista parte 1 (em cm).

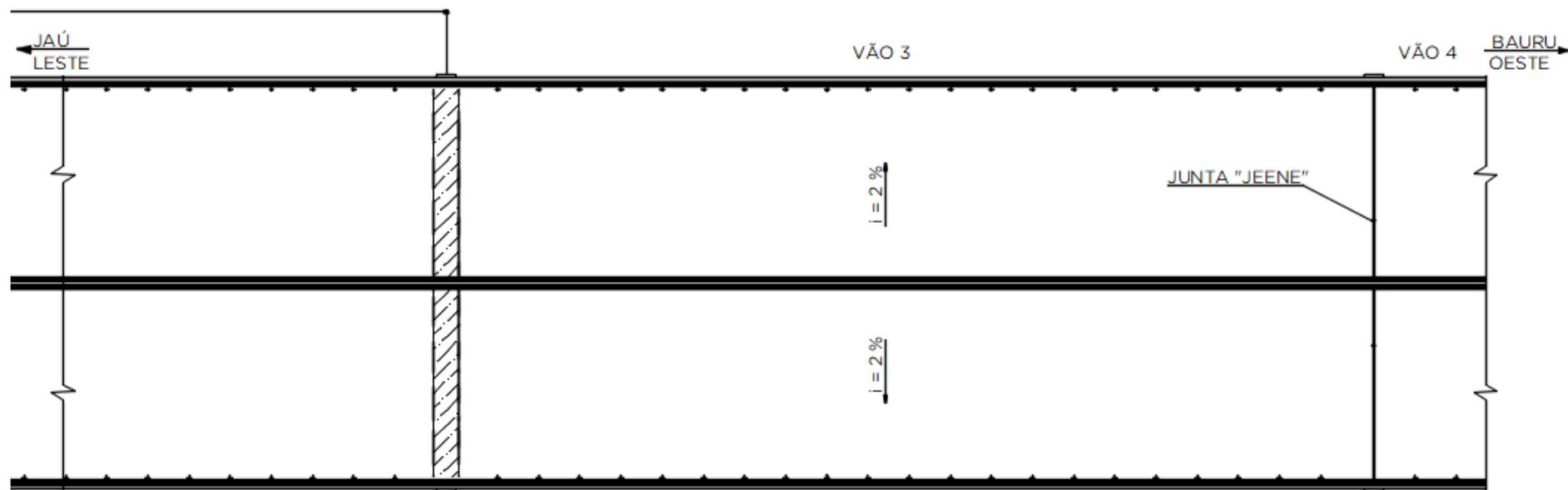


Figura 54: Planta da pista parte 2 (em cm).

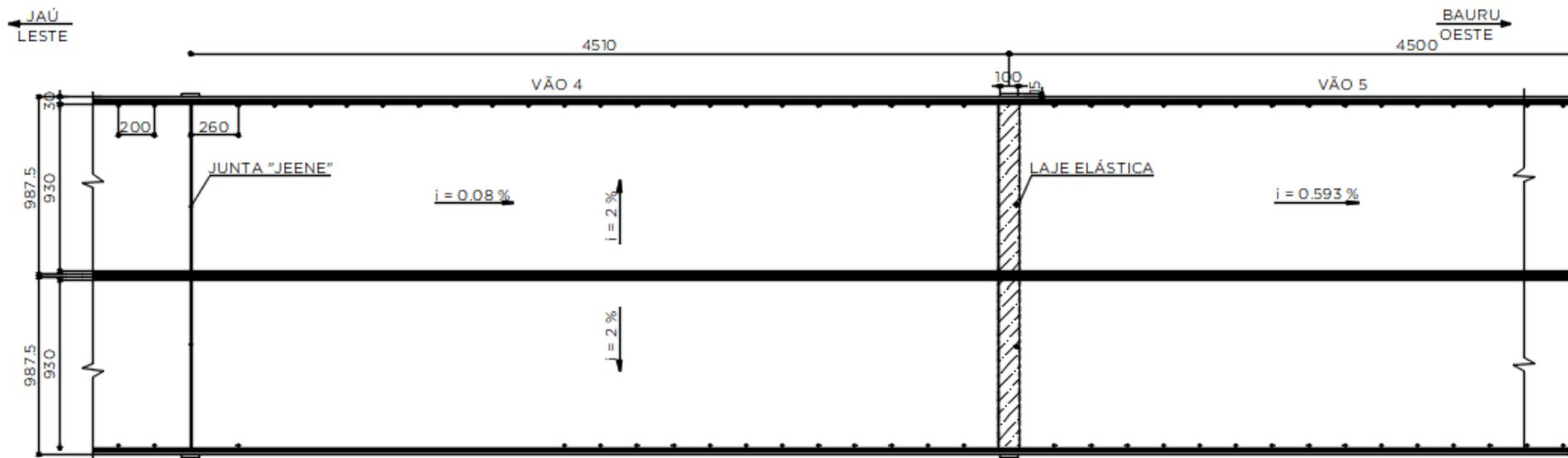


Figura 55: Planta da pista parte 3 (em cm).

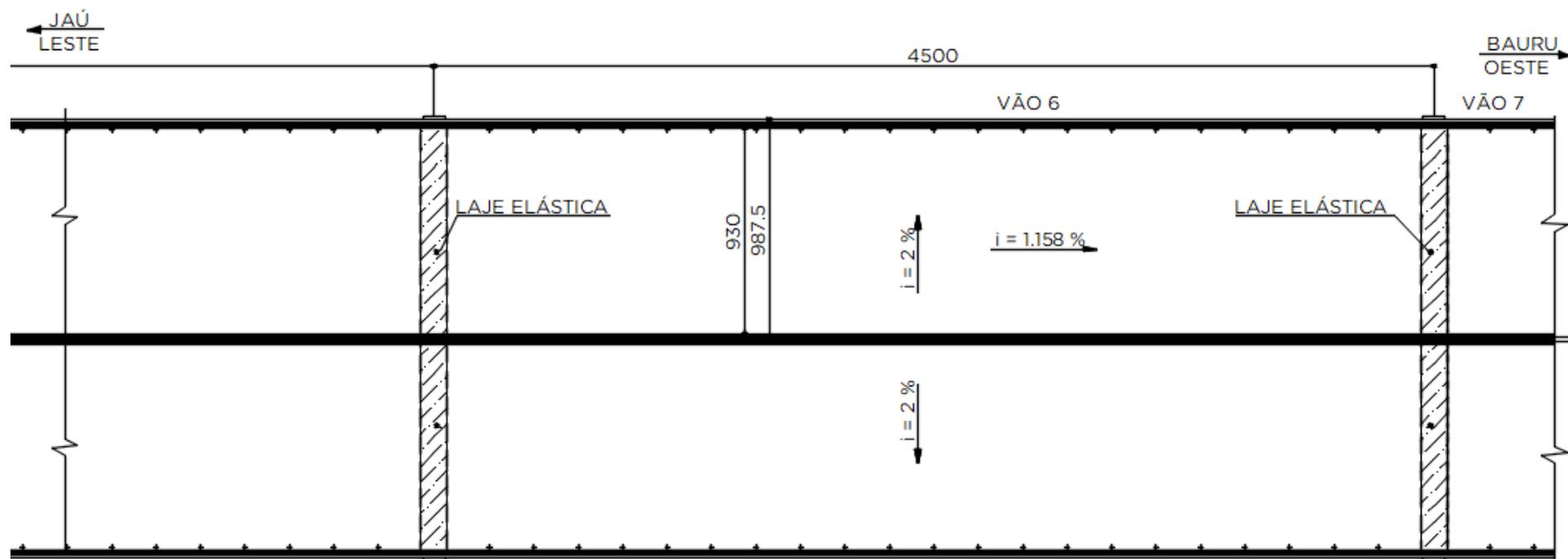


Figura 56: Planta da pista parte 4 (em cm).

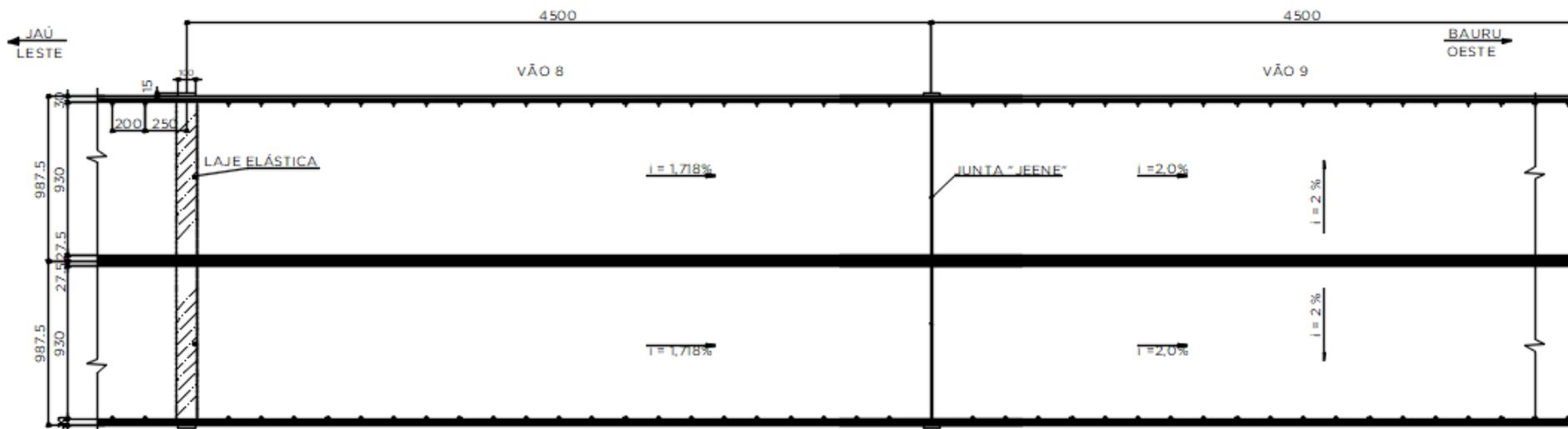


Figura 57: Planta da pista parte 5 (em cm).

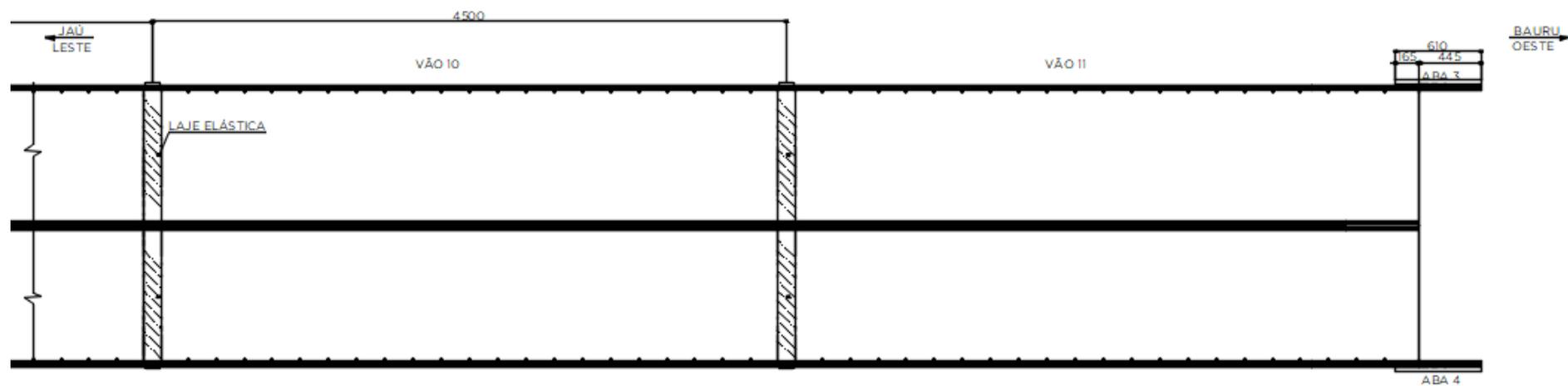


Figura 58: Planta da pista parte 6 (em cm).

JAÚ
LESTE

PLANTA DA VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

BAURU
OESTE

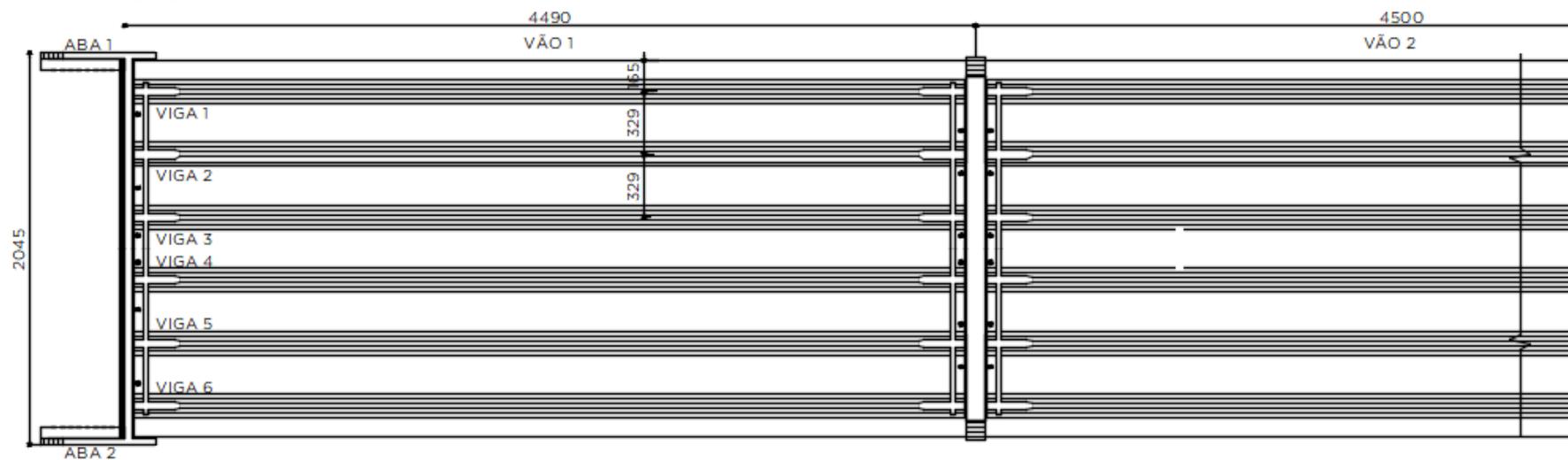


Figura 59: Vista inferior parte 1 (em cm).



Figura 60: Vista inferior parte 2 (em cm).



Figura 61: Vista inferior parte 3 (em cm).

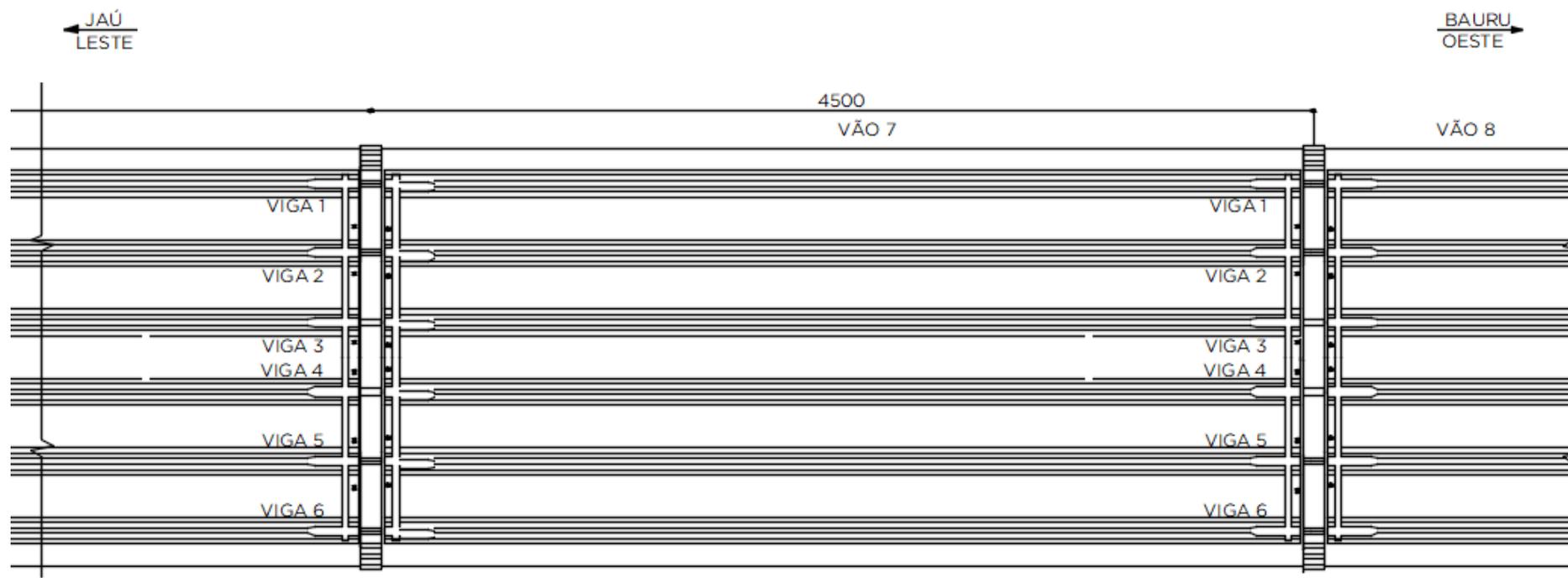


Figura 62: Vista inferior parte 4 (em cm).

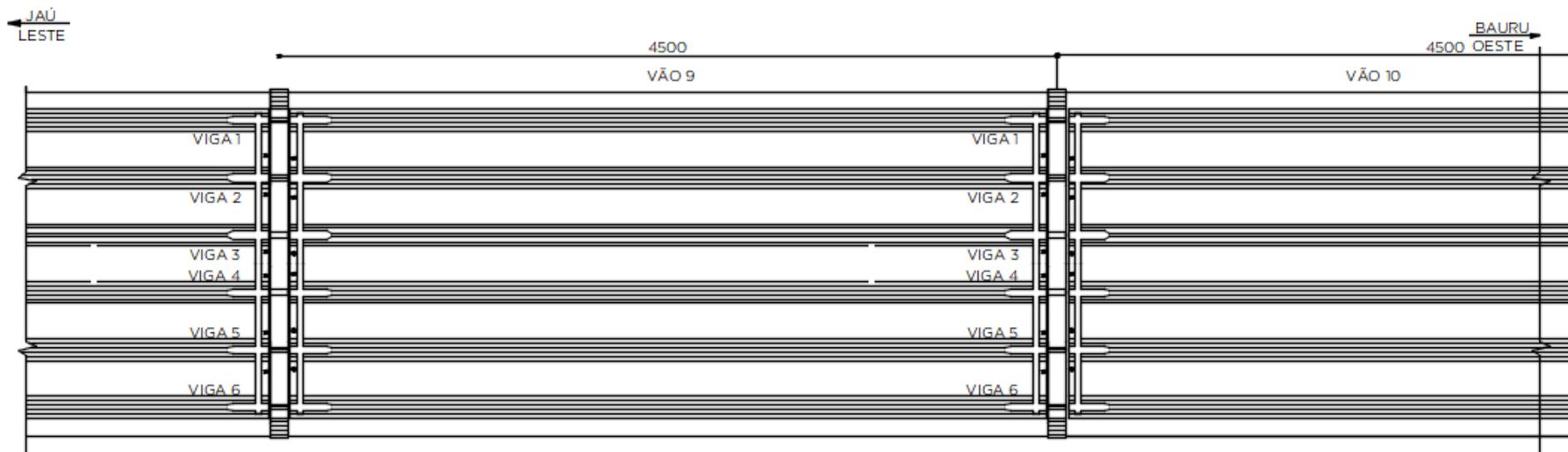


Figura 63: Vista inferior parte 5 (em cm).

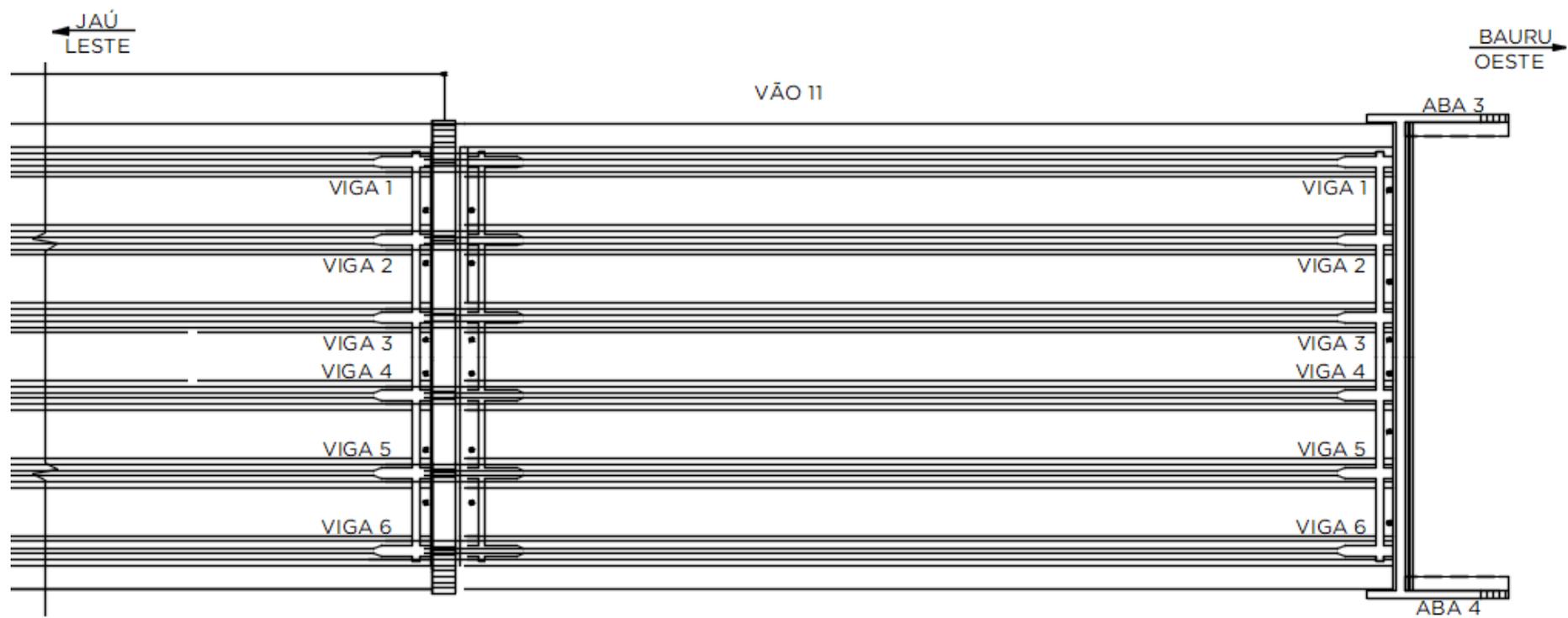


Figura 64: Vista inferior parte 6.

PLANTA DE LOCAÇÃO DOS BLOCOS

ESC. 1:250

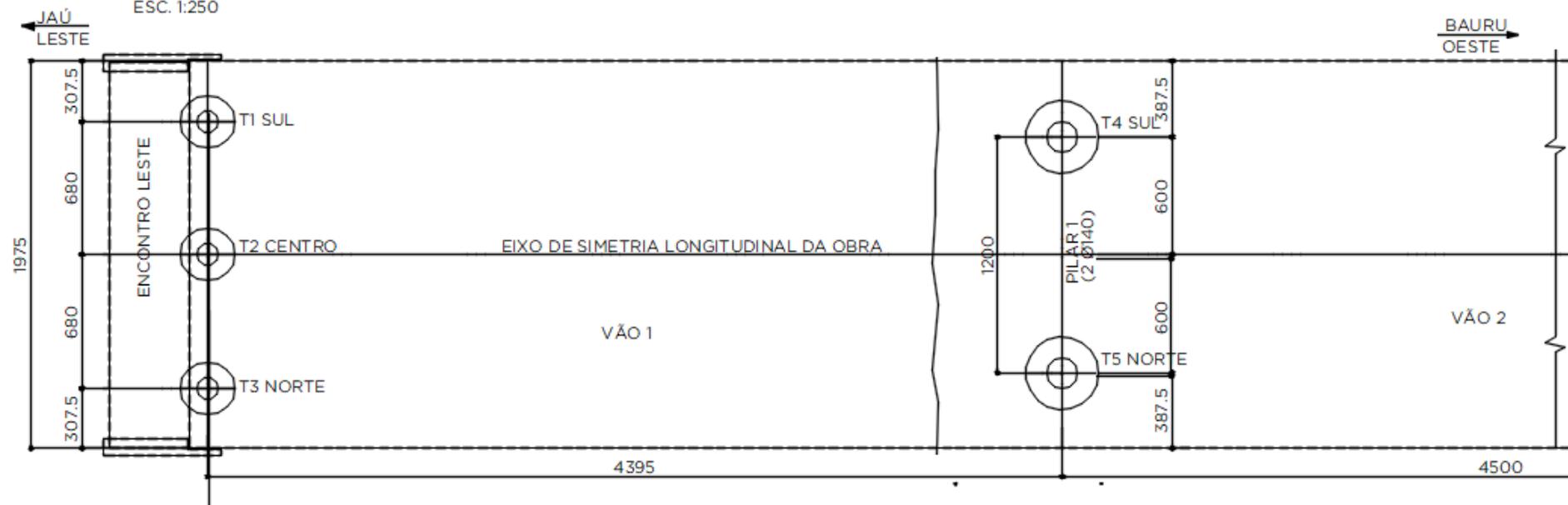


Figura 65: Planta de locação parte 1 (em cm).

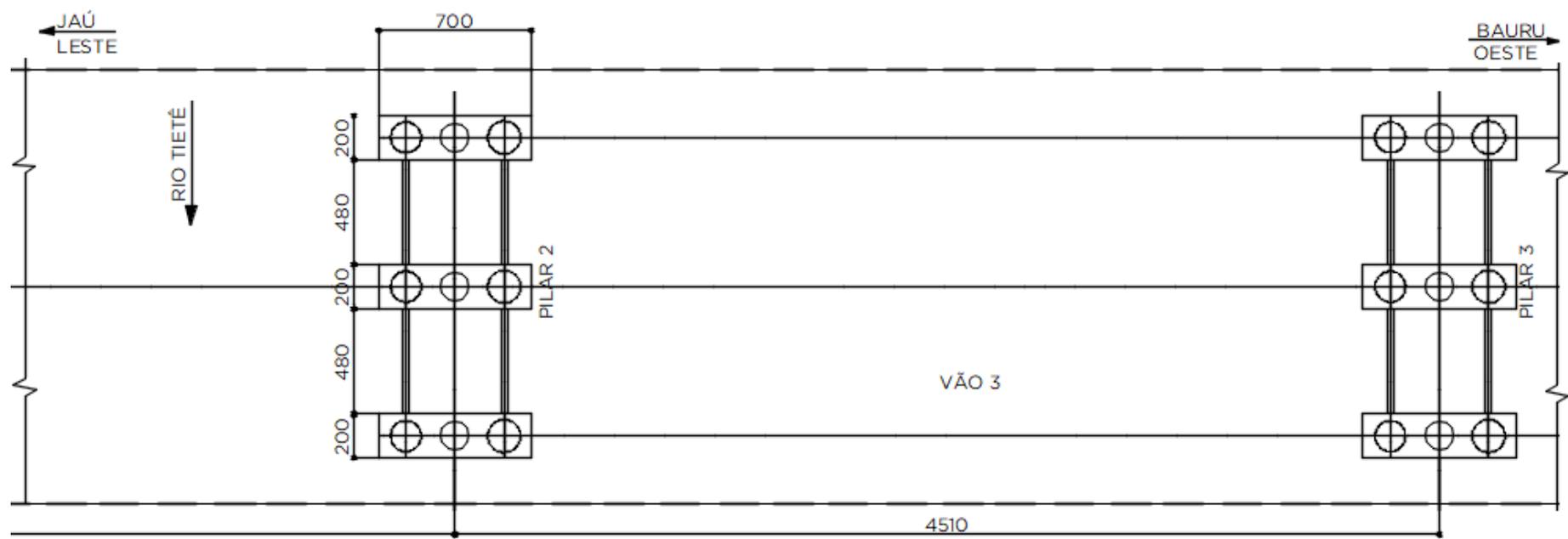


Figura 66: Planta de locação parte 2 (em cm).

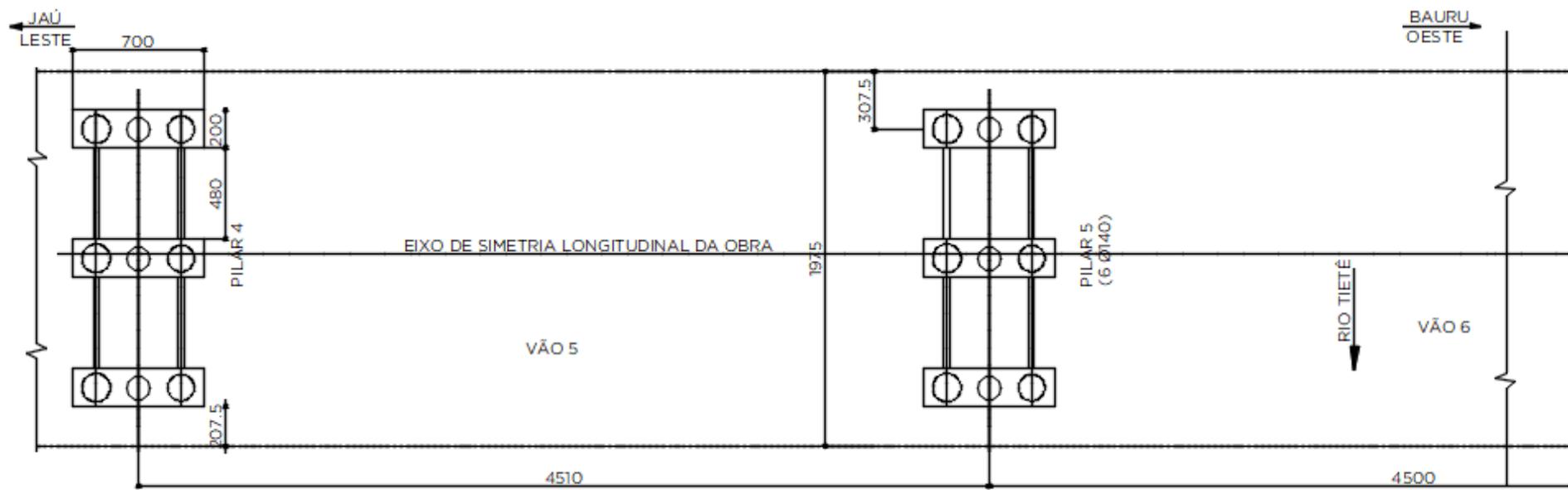


Figura 67: Planta de locação parte 3 (em cm).

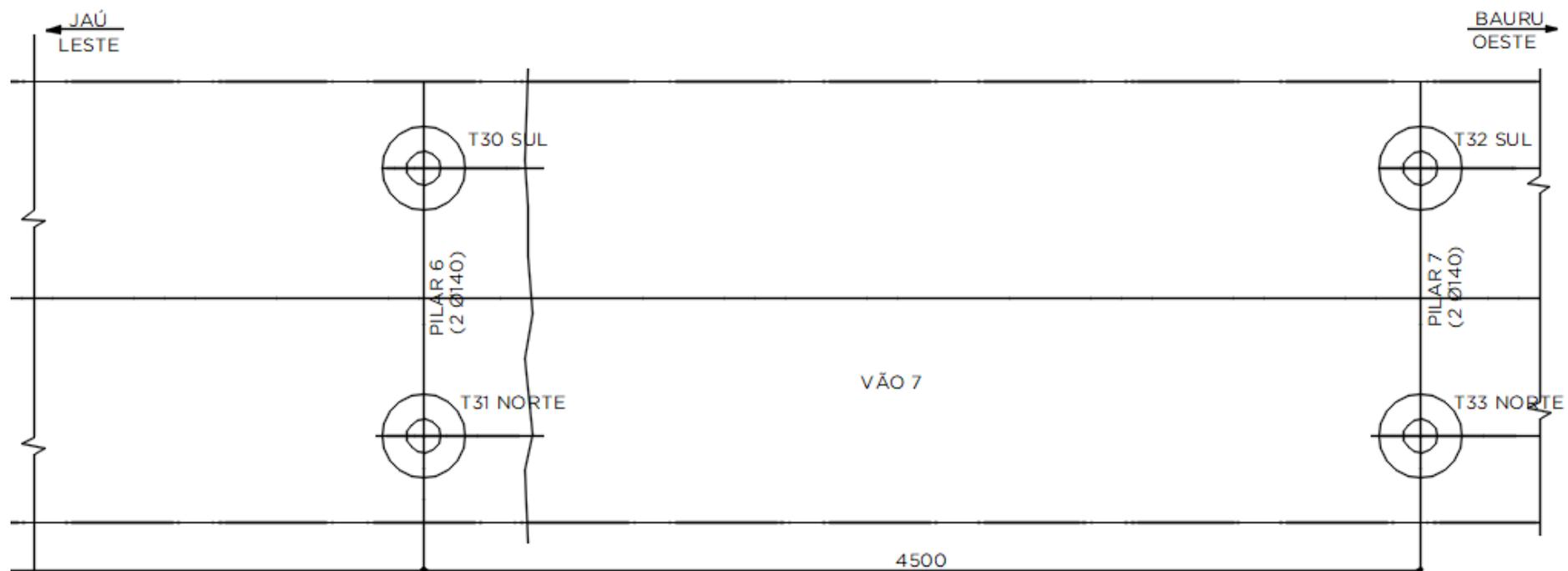


Figura 68: Planta de locação parte 4 (em cm).

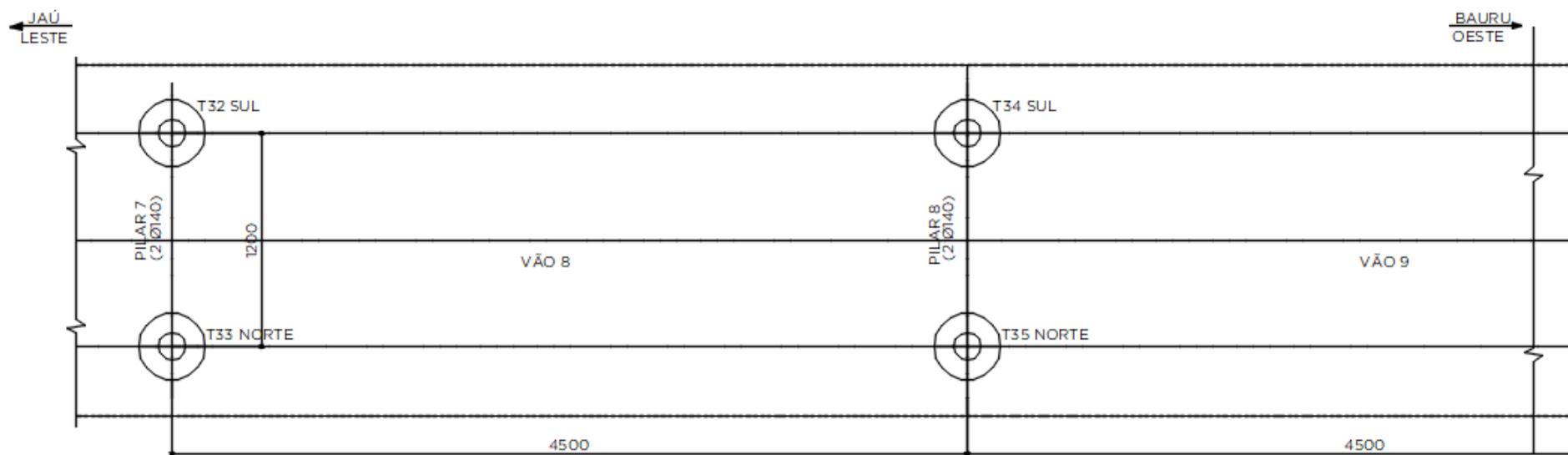


Figura 69: Planta de locação parte 5 (em cm).

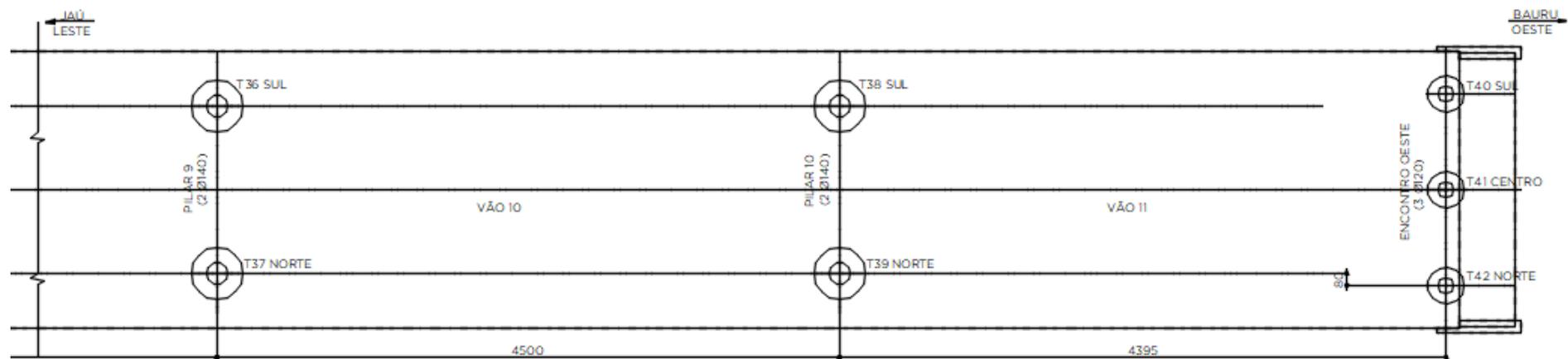


Figura 70: Planta de locação parte 6 (em cm).

SEÇÃO TRANSVERSAL P 1, P 6 A P 10

ESC.:1:75

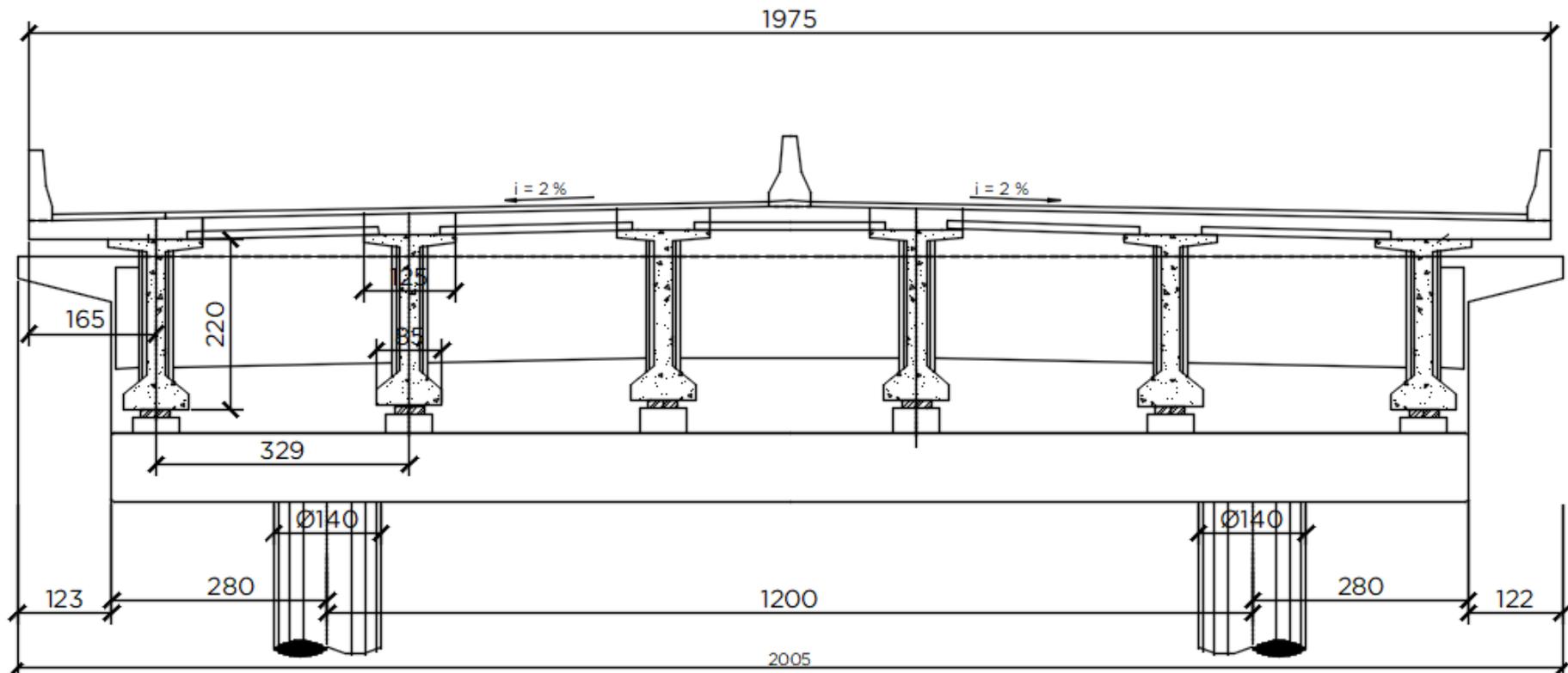


Figura 71: Seção transversal do pilar 1 e dos pilares de 6 a 10 (em cm).

SEÇÃO TRANSVERSAL PILAR 2 E 5

ESC.:1:75

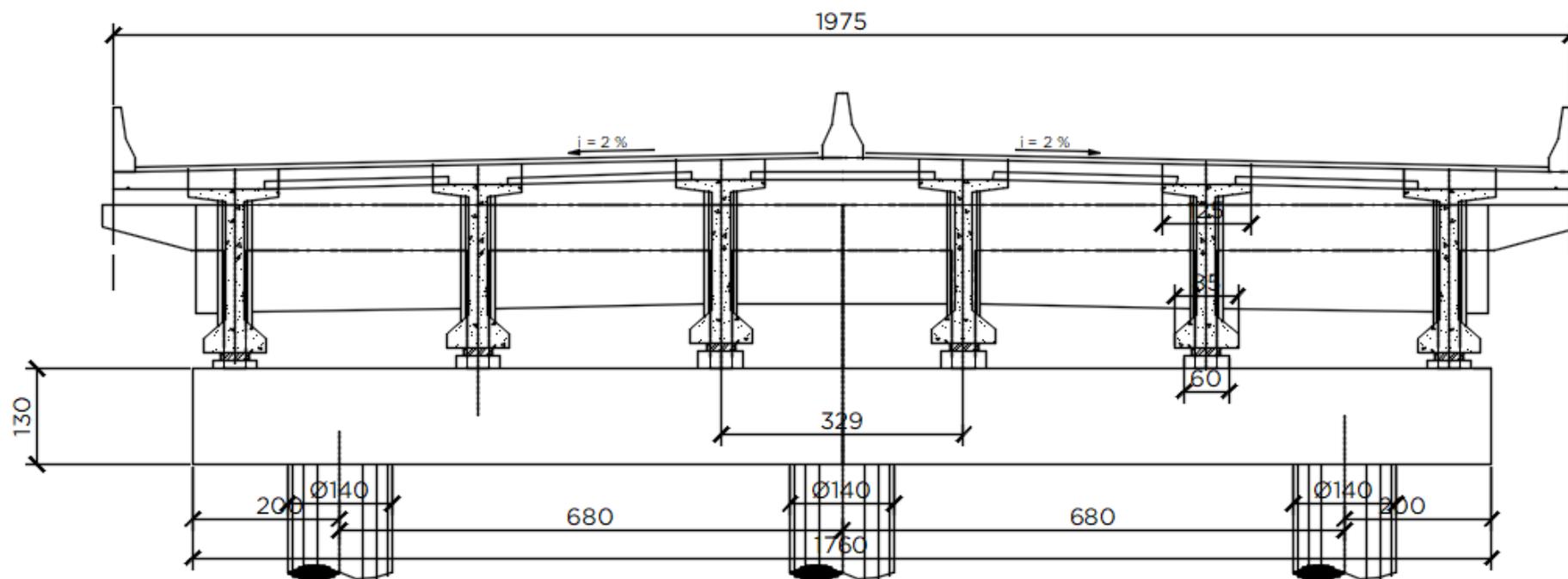


Figura 72: Seção transversal do pilar 2 e 5 (em cm).

SEÇÃO TRANSVERSAL ENCONTRO

ESC.:1:50

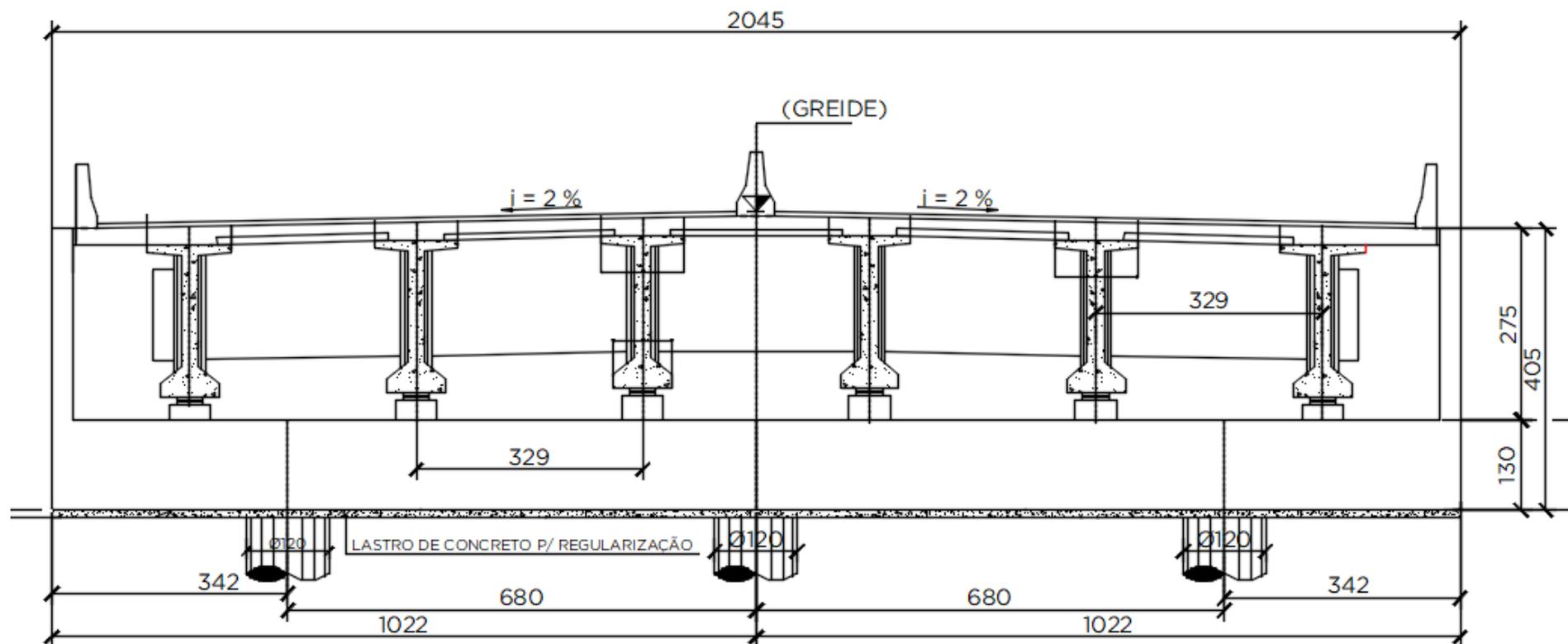


Figura 73: Seção transversal do encontro (em cm).

SEÇÃO TRANSVERSAL PILAR 3 E 4

ESC.1:50

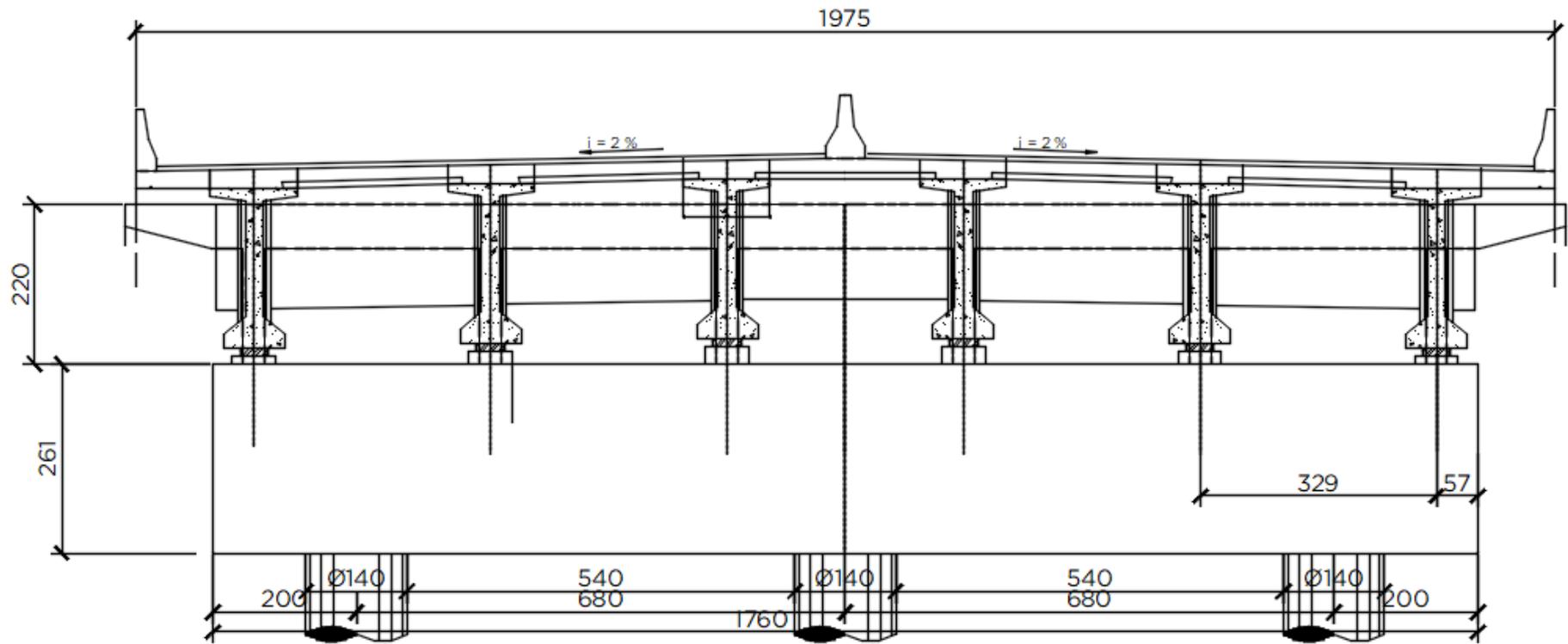


Figura 74: Seção Transversal do pilar 3 e 4 (em cm).

ANEXO II

VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

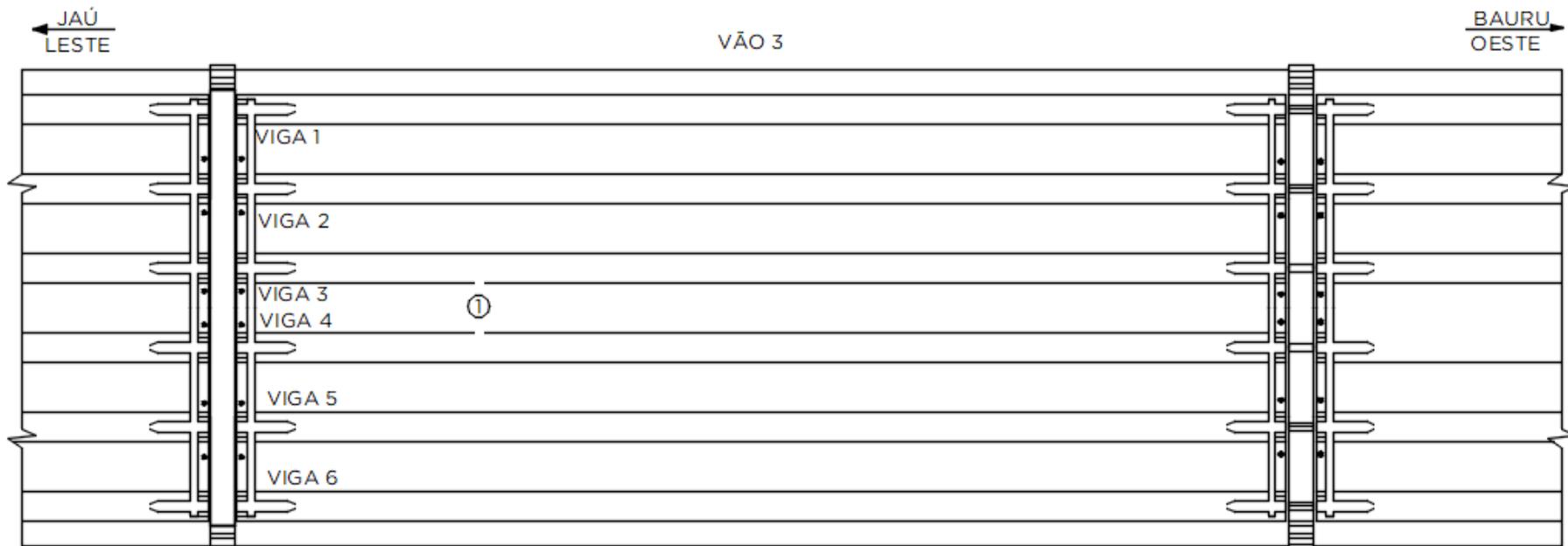


Figura 75: Localização de manchas de infiltração no vão 3 (em cm).

BLOCO DE FUNDAÇÃO P 5 - FACE NORTE

ESC.:1:50

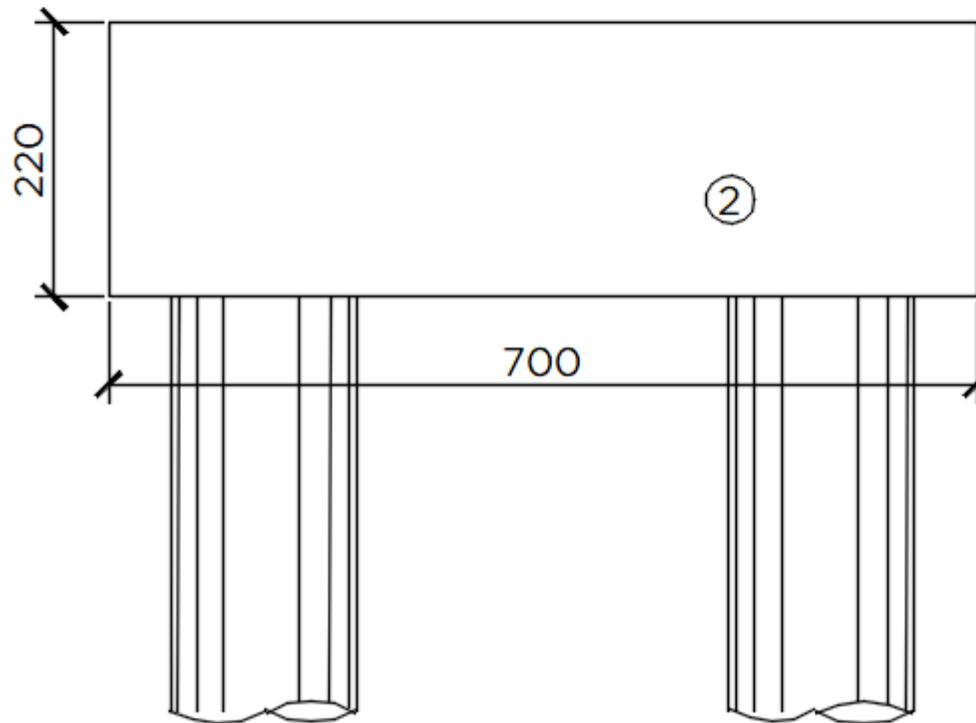


Figura 76: Localização de manchas de infiltração no bloco de fundação do pilar 5 (em cm).

SEÇÃO TRANSVERSAL PILAR 8 - FACE LESTE

ESC.:1:75

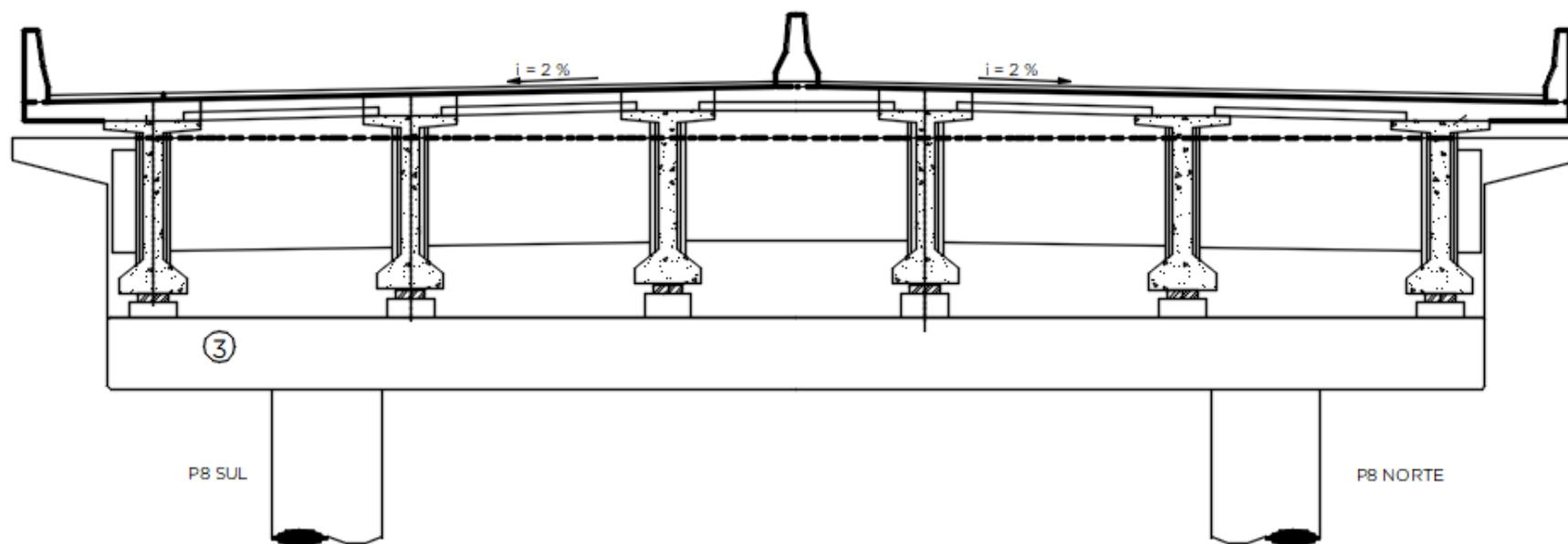


Figura 77: Localização de manchas de infiltração na seção transversal do pilar 8 (em cm).

PLANTA DA PISTA

ESC. 1:250

JAÚ
LESTE ←



Figura 78: Localização de manifestações patológicas no início da pista (em cm).

VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

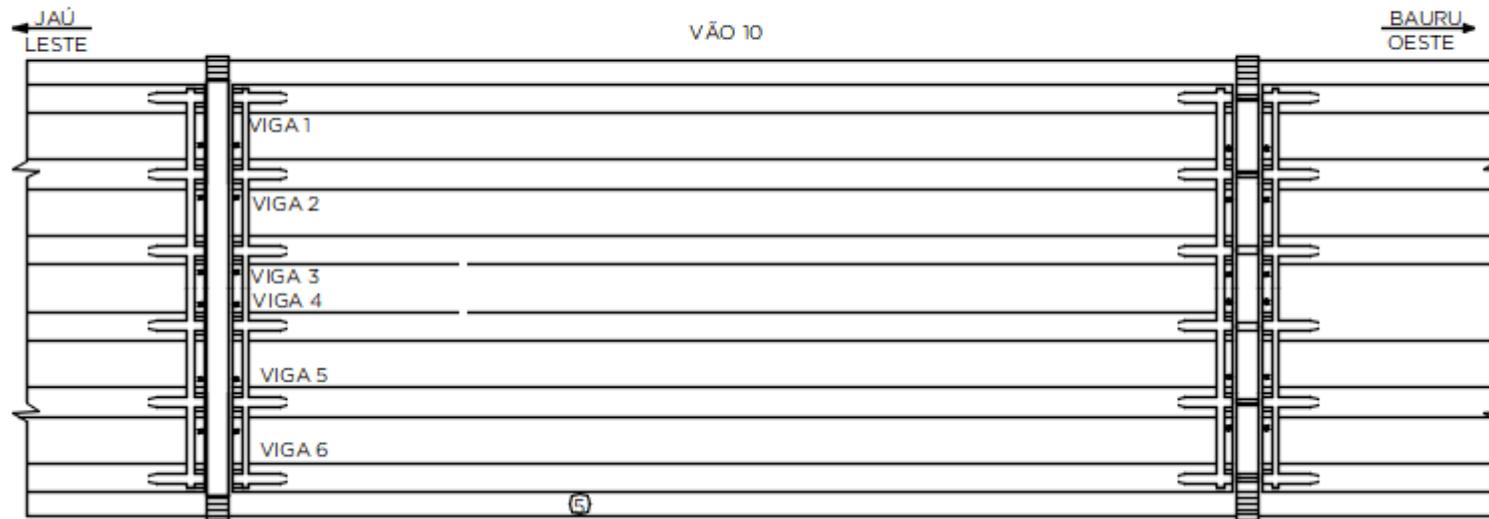


Figura 79: Localização de manchas de infiltração no balanço do vão 10.

VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

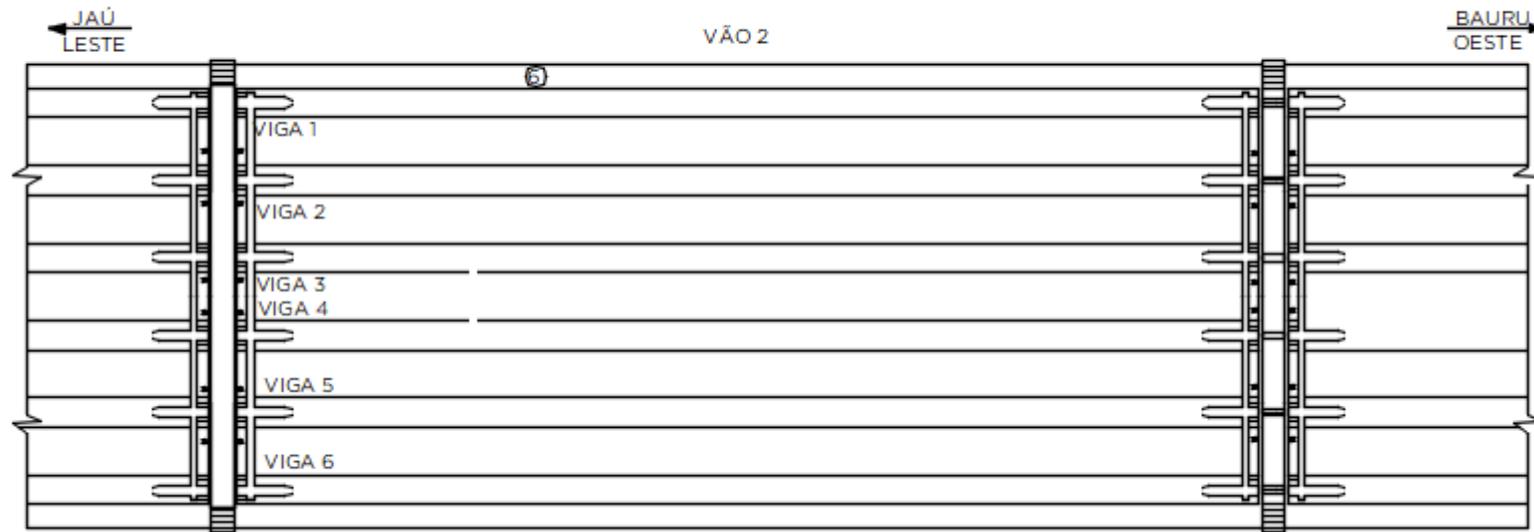


Figura 80: Localização da eflorescência no balanço lateral do vão 2.

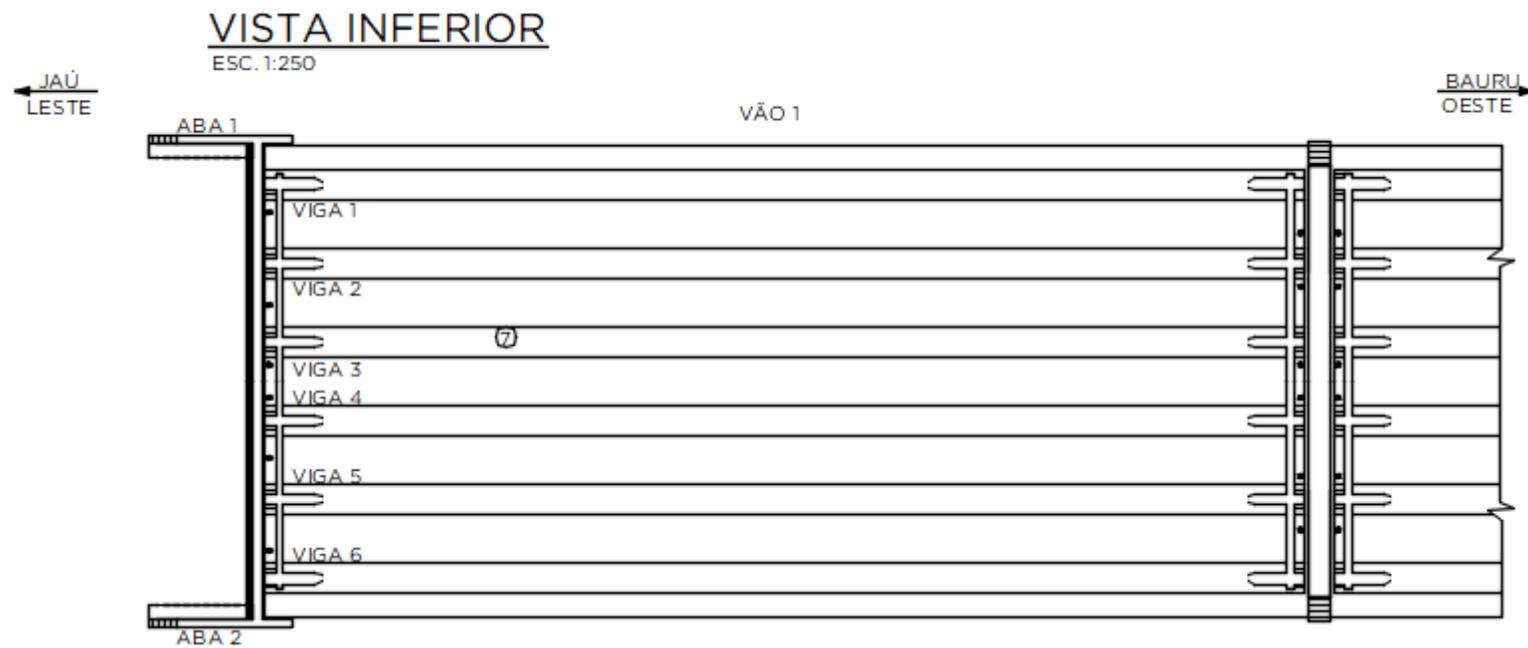


Figura 81: Localização do concreto desagregado na viga do vão 1.

PILAR 1 NORTE- FACE SUL
ESC. 1:75

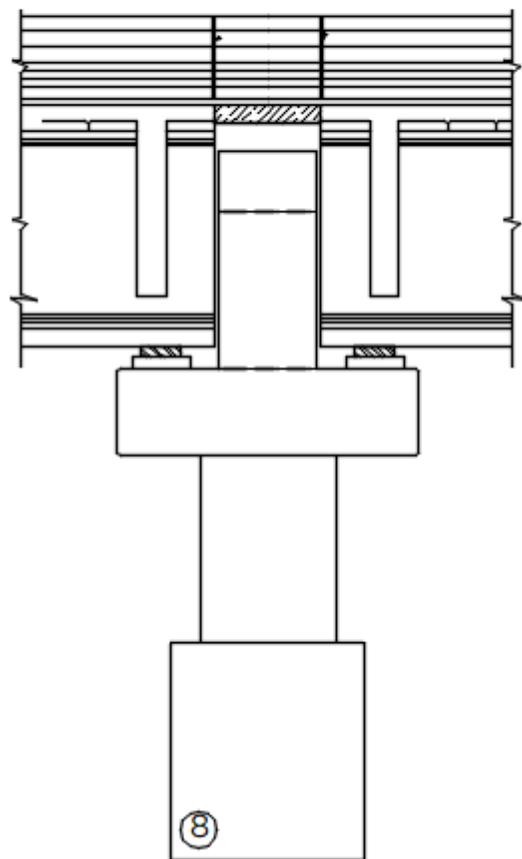


Figura 82: Localização do concreto desagregado no bloco do pilar 1.

PILAR 1 NORTE - FACE NORTE
ESC. 1:75

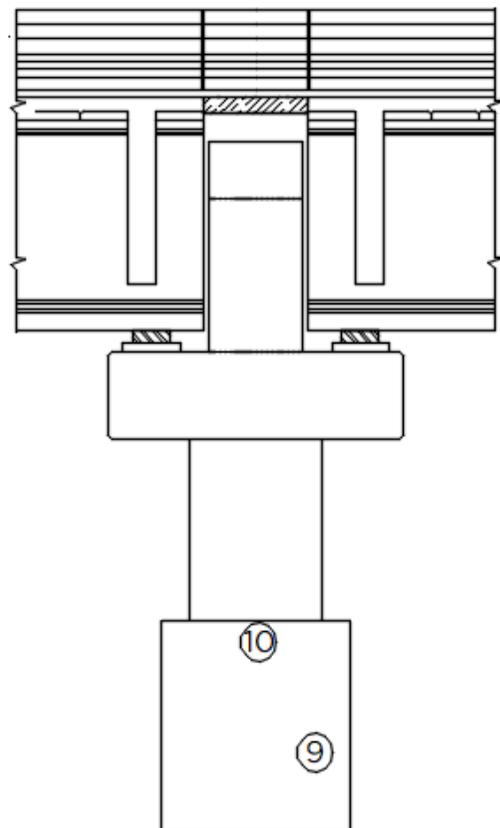


Figura 83: Localização de manchas enegrecidas e fissura no bloco do pilar 1.

VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

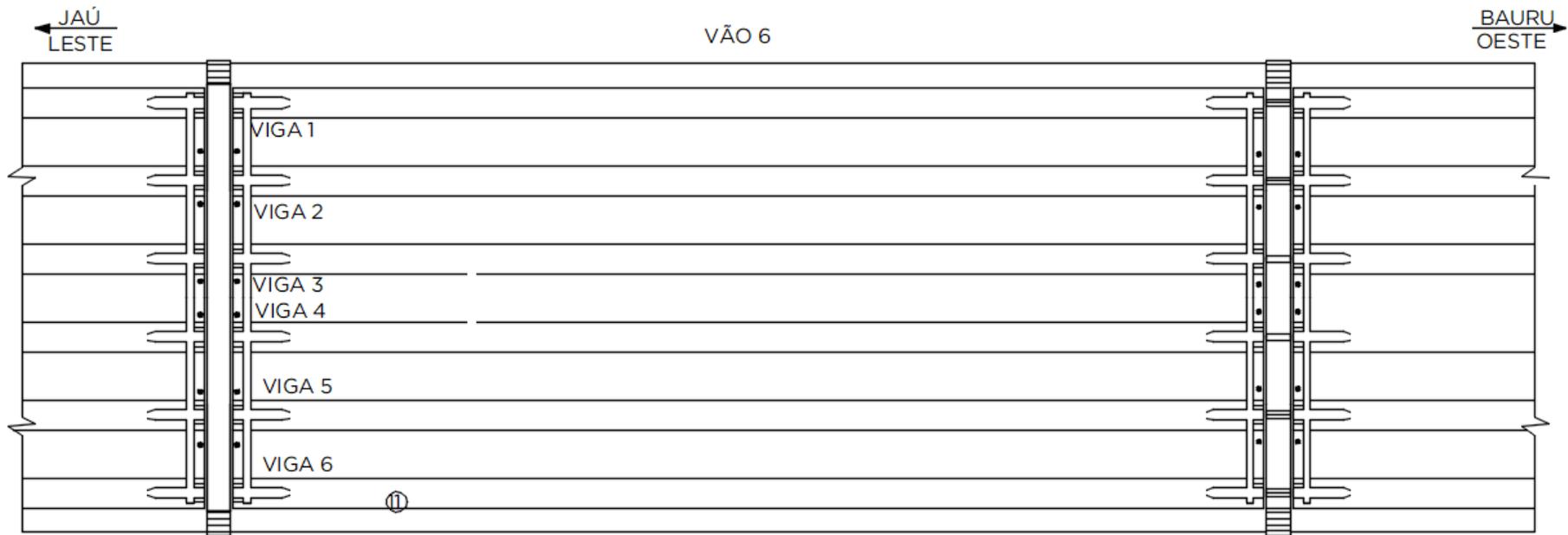
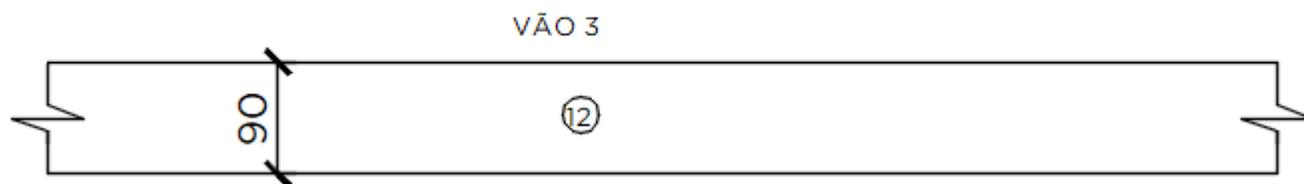


Figura 84: Localização de fissura no balanço do vão 6.

BARREIRA SUL - PISTA LESTE

ESC. 1:50



BARREIRA RÍGIDA CENTRAL

ESC. 1:50

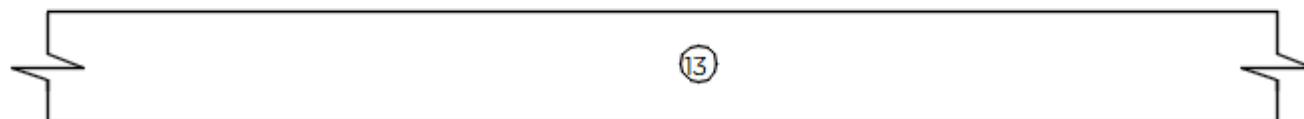


Figura 85: Localização de fissura e armadura exposta na barreira rígida (em cm).

VISTA INFERIOR

ESC. 1:250

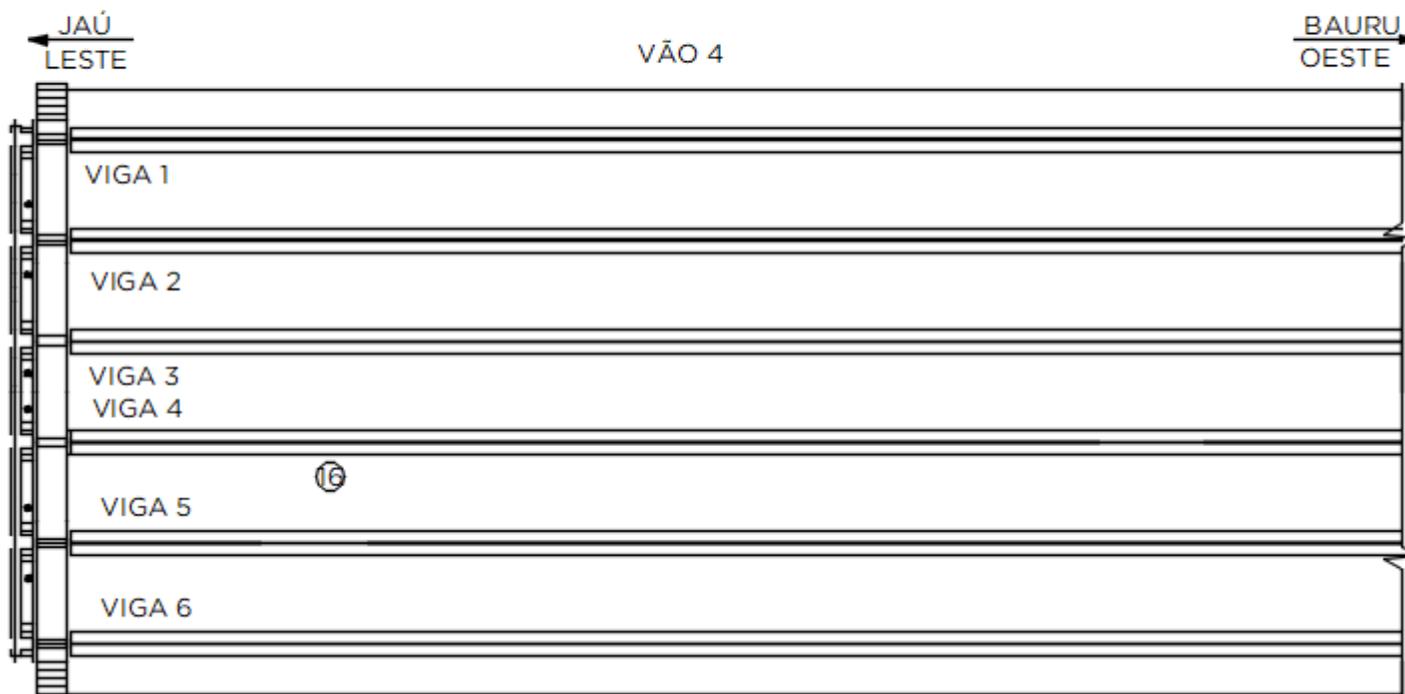


Figura 86: Localização da corrosão das vigas metálicas.

ANEXO III

Tabela 24: Patologias encontradas nos elementos estruturais da ponte.

Elemento	Patologia	Dimensões
Encontro Leste	Manchas por Infiltração	15,30 m ²
Vão Enc Leste - P1	Concreto Desagregado	19,5 m ²
Bloco - Pilar 1	Concreto Desagregado	0,56 m ²
Pilar 1- Norte	Concreto Segregado	0,30 m ²
	Manchas enegrecidas	2,00 m ²
Pilar 1 - Sul	Concreto Segregado	7,00 m ²
	Manchas enegrecidas	2,04 m ²
Balanço Sul- Vão 2	Concreto Segregado	15,00 m ²
	Mancha por infiltração	21,00 m ²
Balanço Norte- Vão 2	Eflorescência	1,28 m ²
Viga 5 - Vão 2	Concreto Desagregado	0,63 m ²
Pilar 2- Oeste	Manchas por Infiltração	2,57 m ²
Bloco- Pilar 2	Manchas por Infiltração	34,32 m ²
Vão 3	Manchas por Infiltração	7,20 m ²
Balanço Sul- Vão 3	Manchas por Infiltração	4,00 m ²
Viga 4- Vão 3	Concreto Desagregado	0,67 m ²
Travessa P3	Manchas por Infiltração	25,68 m ²
Bloco - Pilar 3	Manchas por Infiltração	34,32 m ²
Vão 4	Mancha de Corrosão	342,00 m ²
Bloco- Pilar 4	Mancha por infiltração	64,24 m ²
Travessa Pilar 4	Mancha por infiltração	25,09 m ²
Vão 5	Mancha por infiltração	7,26 m ²
	Fissura	0,3 mm
	Concreto Desagregado	1,85 m ²
Bloco pilar 5	Mancha por infiltração	41,14 m ²
Travessa pilar 5	Mancha por infiltração	12,84 m ²
Pilar 5- Norte	Concreto Segregado	4,4 m ²
	Fissura	0,35 mm
Pilar 5- Sul	Concreto Desagregado	0,78 m ²
	Manchas por Infiltração	2 m ²
Viga 6- Vão 6	Concreto Desagregado	4,44 m ²
Viga 5 - Vão 6	Concreto Desagregado	0,79 m ²
Viga 3 - Vão 6	Concreto Desagregado	0,94 m ²
Travessa pilar 6	Manchas por Infiltração	5,62 m ²
Pilar 6	Manchas por Infiltração	2 m ²

Tabela 25: Patologias encontradas nos elementos estruturais da ponte
(Continuação).

Elemento	Patologia	Dimensões
Balanço Sul - Vão 7	Manchas por Infiltração	0,09 m ²
Balanço Norte - Vão 7	Manchas por Infiltração	4,95 m ²
	Eflorescência	2 m ²
Viga 2 -Vão 7	Concreto Desagregado	18,87 m ²
Bloco- Pilar 7 Sul	Manchas enegrecidas	0,25 m ²
Pilar 7 Sul	Concreto segregado	0,25 m ²
Balanço Norte - Vão 8	Manchas por Infiltração	8,48 m ²
	Eflorescência	0,76 m ²
Viga 4 - Vão 8	Concreto Desagregado	0,94 m ²
Balanço Sul - Vão 8	Manchas por Infiltração	0,09 m ²
Travessa Pilar 8	Manchas por Infiltração	20,4 m ²
Balanço Norte - Vão 9	Manchas por Infiltração	2,36 m ²
	Eflorescência	1,7 m ²
Travessa Pilar 9	Fissura	0,4 mm
Balanço Norte - Vão 10	Manchas por Infiltração	25 m ²
Travessa - Pilar 10	Concreto Desagregado	2,78 m ²
Pilar 10- Sul	Concreto Segregado	0,25 m ²
Encontro Oeste	Manchas por Infiltração	15,3
Parede da laje de encontro	Manchas por Infiltração	15,3 m ²
Barreira Rígida Sul	Fissura	0,3 mm
Barreira Rígida Central	Concreto Desagregado com Armadura exposta	0,5 m ²
Pavimento	Trinca de Jacaré	0,5 m ²
	Panela	0,35 m ²
Junta de Dilatação 1 -Pista Oeste	Asfalto desagregado nas adjacências do berço	-
Junta de Dilatação 2 -Pista Leste	Lábios poliméricos rompidos	-
	Asfalto desagregado nas adjacências do berço	-
Junta de Dilatação 2 -Pista Oeste	Asfalto desagregado nas adjacências do berço	-
Junta de Dilatação 3-Pista Leste	Lábios poliméricos rompidos	-
	Asfalto desagregado nas adjacências do berço	-
Junta de Dilatação 3-Pista Oeste	Lábios poliméricos rompidos	-
	Asfalto desagregado nas adjacências do berço	-

ANEXO IV

Abaixo são apresentadas tabelas (Tabela 26 a 31) com os levantamentos quantitativos das terapias a serem realizadas.

Tabela 26: Terapia do concreto desagregado com armadura exposta.

I Recuperação de estruturas de concreto desagregado com armadura exposta			
1.1	Preparo da superfície para tratamento de concreto desagregado ou segregado (Pilares, Travessas e blocos)	Un	Quantidade
1.1.1	Demarcação da área	m ²	70,0
1.1.2	Corte superficial do concreto até 3cm de profundidade	m ²	70,0
1.1.3	Demolição de concreto	m ³	2,1
1.1.4	Apicoamento manual com de eliminação da superfícies lisas	m ²	70,0
1.1.5	Limpeza manual com escova de aço	m ²	70,0
1.1.6	Limpeza da superfície através de jateamento de ar	m ²	140,0
1.1.7	Barra de aço CA-50 para recuperação estrutural	Kg	5,0
1.1.8	Chumbamento barras com resina epoxi injetada	Kg	5,0
1.1.9	Tratamento de armadura com primer rico em zinco	m ²	0,5

Tabela 27: Terapia para tratamento de fissuras.

II Tratamento de fissuras (pilares, encontros e barreiras rígidas)			
2.1	Tratamento de fissuras superficiais	Un	Quantidade
2.1.1	Jateamento em estrutura concreto com água	m ²	36,0
2.1.2	Colmatação das fissuras, utilizando adesivo epoxi	m	18,0
2.1.3	Lixamento da superfície de concreto	m ²	1,6
2.1.4	Pintura hidrofugante com silicone a base de água – 1 (uma) demão	m ²	36,0

Tabela 28: Levantamento quantitativo de manchas de infiltração, manchas enegrecidas e eflorescência.

III Tratamento superficial do concreto aparente (locais de infiltração, eflorescência e manchas enegrecidas)			
3.1	Remoção de detritos	Un	Quantidade
3.1.1	Jateamento em estrutura de concreto com água	m ²	522,0
3.1.2	Limpeza com escova de aço	m ²	522,0
3.1.3	Limpeza da superfície através de jateamento de ar	m ²	522,0
3.2	Estucamento de superfície de concreto		
3.2.1	Estucamento de superfície de concreto	m ²	506,0
3.2.2	Lixamento dos excessos	m ²	506,0
3.2.3	Jateamento em estrutura de concreto com água	m ²	506,0
3.3	Tratamento superficial do concreto - hidrofugante		
3.3.1	Pintura hidrofugante silano siloxano base água – 2 (duas) demãos	m ²	522,0

Tabela 29: Levantamento quantitativo para o prolongamento do buzinote.

IV Prolongamento dos buzinotes			
4.1	Limpeza da superfície através de jateamento de ar	m ²	7,2
4.2	Tubo de PVC perfurado ou não D=0,075m	m	40,0
4.3	Fornecimento, preparo e aplicação de adesivo epoxídico para colagem	m ²	88,1
4.4	Ponte de aderência acrílica	m ²	88,1
4.5	Recomposição da seção com argamassa polimérica industrializada esp. até 5cm	m ²	351,9

Tabela 30: Levantamento quantitativo para recuperação das juntas de dilatação.

V Junta de dilatação			
5.1	Implantação ou substituição de berços para juntas de dilatação (consideradas 12 juntas)	Un	Quantidade
5.1.1	Remoção da camada de rolamento	m ²	142,2
5.1.2	Verificação e recomposição de lábios poliméricos (caso necessário)	vb	1,0
5.1.3	Limpeza da superfície através de jateamento de ar	m ²	142,2
5.2	Implantação ou substituição de perfil pré-fabricado para junta de dilatação		
5.2.1	Limpeza manual com escova de aço para concreto	m ²	142,2
5.2.2	Junta de retração com lábio polimérico com abertura de 20 até 55mm	m	237,0

Tabela 31: Levantamento quantitativo para recuperação do pavimento.

VI	Recapeamento do pavimento	Un	Quantidade
6.1	Corte e retirada capa asfáltica	m ²	163,2
6.2	Pintura de ligação	m	163,2
6.3	Recapeamento do pavimento	m ²	163,2
6.4	Remoção, carga e transporte de entulho em geral	txkm	979,2