

A ARQUITETURA DAS PONTES E DOS VIADUTOS

ÍNDICES E INDICADORES DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA

STEFANO GALIMI
MÁRCIO AUGUSTO ROMA BUZAR
JOÃO DA COSTA PANTOJA

A ARQUITETURA DAS PONTES E DOS VIADUTOS

ÍNDICES E INDICADORES DE REQUALIFICAÇÃO URBANA

STEFANO GALIMI
MÁRCIO AUGUSTO ROMA BUZAR
JOÃO DA COSTA PANTOJA

LabRAC
Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído

faunb

Universidade de Brasília

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

REITORA: Rozana Reigota Naves
VICE-REITOR: Márcio Muniz
DECANA DE PESQUISA E INOVAÇÃO: Renata Aquino da Silva
DECANATO DE PÓS-GRADUAÇÃO: Roberto Goulart Menezes

DIRETOR DA FAU: Caio Frederico e Silva
VICE DIRETORA DA FAU: Ricardo Trevisan
COORDENADOR DE PÓS-GRADUAÇÃO: Luciana Saboia Fonseca Cruz

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL: Valmor Pazos
PREPARAÇÃO, REVISÃO E DIAGRAMAÇÃO: Stefano Galimi
CAPA: Rich Niewiroski Jr.

CONSELHO EDITORIAL:
Abner Luís Calixter - Brandeis University
José Marcelo Martins Medeiros – Universidade Federal de Tocantins (UFT)
Thiago Montenegro Góes – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Humberto Salazar Amorin Varum– Universidade do Porto (FEUP)

ORGANIZAÇÃO:
Stefano Galimi
João Da Costa Pantoja
Márcio Augusto Roma Buzar

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Galimi, Stefano
A arquitetura das pontes e dos viadutos [livro eletrônico] : índices de indicadores de requalificação da infraestrutura urbana / Stefano Galimi, Márcio Augusto Roma Buzar, João da Costa Pantoja. -- Brasília, DF : LabRAC, 2026.
PDF

Bibliografia.
ISBN 978-65-976539-0-4

1. Arquitetura 2. Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana (IRU) 3. Infraestrutura urbana 4. Pontes 5. Viadutos I. Buzar, Márcio Augusto Roma. II. Pantoja, João da Costa. III. Título.

26-374358.0 CDD-720

Índices para catálogo sistemático:

1. Arquitetura 720

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

A ARQUITETURA DAS PONTES E DOS VIADUTOS

ÍNDICES E INDICADORES DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA

OS AUTORES

Stefano Galimi



Arquiteto e urbanista graduado pelo Politécnico de Torino - POLITO (Itália), com dupla graduação internacional em Arquitetura pela Universidade de Brasília - FAU/UnB (2014). Doutor em Arquitetura pela Universidade de Brasília PPG FAU/UnB (2021), na área de projeto, infraestrutura e ambiente construído. Pós-doutor em Arquitetura pela Universidade de Brasília – UnB (2025), na área de sistemas estruturais e análise de desempenho da infraestrutura de pontes e viadutos via método I.R.U. (PPG-FAU / UnB). Professor de Arquitetura e Urbanismo nas áreas de projeto de arquitetura de grandes vãos, BIM, desenho e plástica, desenho arquitetônico e sistemas estruturais em concreto armado / aço. Pesquisador associado do Laboratório da Reabilitação do Ambiente Construído - LabRAC / UnB - atuando na coordenação dos projetos de arquitetura, estrutura, sistemas construtivos, instalações e sustentabilidade.

OS AUTORES

Márcio Augusto Roma Buzar



Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (1994), Mestrado (1996), Doutorado (2004) em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília e Pós-Doutorado (2023-2024) na FEUP Universidade do Porto - Portugal sob a supervisão do Professor Catedrático Humberto Varum. É professor Associado da Universidade de Brasília. Tem experiência na área de Engenharia Civil com diversos projetos realizados de Segurança Estrutural. É coordenador junto ao PPG - FAU da Linha de Pesquisa Estrutura e Arquitetura, onde leciona a Disciplina Patologia das Construções na Pós Graduação. Coordena o LabRAC - Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído. Atualmente é Diretor de Gestão, Articulação e Projetos Educacionais do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE (2024).

OS AUTORES

João da Costa Pantoja



Graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (1991). Doutor na área de Estruturas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC (2012). Pós-doutorado na Universidade do Porto-FEUP (2018). Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia na área de Estruturas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, desde agosto de 2014. No ensino tem especialização nas áreas de modelos numéricos aplicados a estruturas, patologia das estruturas, inspeções especializadas, reabilitação estrutural visando a conservação patrimonial, modelos multicritérios para avaliação de imóveis urbanos e bens singulares além de modelos para certificação de empreendimentos. Coordenador do Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído LabRAC da Universidade de Brasília. Pesquisador associado ao Instituto da Construção da Universidade do Porto/PT e da Fundação para Ciência e Tecnologia FCT de Portugal, além de revisor de vários periódicas nacionais e internacionais.

A ARQUITETURA DAS PONTES E DOS VIADUTOS

ÍNDICES E INDICADORES DE REQUALIFICAÇÃO URBANA

STEFANO GALIMI
MÁRCIO AUGUSTO ROMA BUZAR
JOÃO DA COSTA PANTOJA

LabRAC
Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído

faunb

Universidade de Brasília

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Vecchio, Florença, Itália. 28
Figura 2 - Ponte Sunniberg, Klosters, Suíça. 29
Figura 3 – Parque dos Aquedutos, Roma, Itália. Fonte: Mariaelena Leggieri 30
Figura 4 - Golden Gate Bridge, San Francisco, Estados Unidos. Fonte: LINDSAY 31
Figura 5 – Palazzetto dello Sport, Pier Luigi Nervi. Fonte: Kerry O'Connor 33
Figura 6 – A. Ponte Costa e Silva sobre o lago Paranoá, Brasília – DF. Foto: Joana França. B. Viaduto do Chá, São Paulo – SP. Votorantim. C. Passarela sobre a rodovia BR-040, km0+425, Valparaíso de Goiás – GO. Grupo CMP. D. Aqueduto romano Pont du Gard na França. Di Filadelfia - Opera própria, CC BY-SA 3.0. E. Ponte Verde sobre a BR-101, Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Adaptada de Wanderson Chan/AMLD. 36
Figura 7 – A. Obstáculo natural de curso de água. Ponte Juscelino Kubitschek, lago Paranoá, Brasília. Fran Parente. B. Obstáculo artificial de rodovia. Viaduto do metrô em Dubai. Emirados Árabes Unidos. Fonte: Dean Clementson. 37
Figura 8 – Esquema de ponte rodoviária. 38
Figura 9 – Esquema de ponte ferroviária. 38
Figura 10 – Esquema de viaduto. 39
Figura 11 – Esquema de passarela de pedestre. 39
Figura 12 - Sistema estrutural em arco com estrado superior, inferior e intermediário. 40
Figura 13 - Sistemas estáticos de arco biengastado, biarticulado e triarticulado. 41
Figura 14 – Ponte do Ressurgimento, Roma, Itália. Fonte: Nicolas Janberg 42
Figura 15 – Vista e detalhe construtivo da seção transversal do tabuleiro da Ponte Zuoz, Suíça. Fonte: Nicolas Janberg 43
Figura 16 - Ponte em arco triarticulado Salginatobel, Suíça. Fonte: Nicolas Janberg . 44
Figura 17 – Ponte estaiada Octavio Frias de Oliveira, São Paulo. Fonte: adaptada de rhpissolatti 45
Figura 18 – Partes de um estai. Fonte: adaptada de Fraunhofer - EMI 46
Figura 19 - Ponte estaiada tipo harpa. 47
Figura 20 - Viaduto em "harpa" de Millau, Norman Foster, França. Fonte: Luciana Reis 48
Figura 21 - Ponte Estaiada em "harpa" Octávio Frias de Oliveira sobre o Rio Pinheiros em São Paulo, SP. Fonte: Encontra Brookin 48
Figura 22 - Fonte estaiada tipo leque. 49
Figura 23 - Ponte Ed Hendler (Pasco-Kennewick), Estados Unidos. Fonte: Patrick S. O'Donnell 50
Figura 24 – Ponte da Passagem, Vitória, Espírito Santo. Fonte: Prefeitura de Vitória 50
Figura 25 - Comportamento de um cabo com carga concentrada no ponto médio. 51
Figura 26 – A. Golden Gate Bridge, São Francisco, EUA. B. Ponte de Brooklin, Nova York, EUA. Fonte: adaptada de Giovanni Carrieri 52
Figura 27 – Vista do mastro da ponte Brooklin, Nova York. Fonte: adaptada de Tommaso Cimarelli 53
Figura 28 - Longarinas carregadas constituindo o tabuleiro da ponte. 54
Figura 29 – A. Esquema de ponte em viga biapoiada (isostática) sem balanços. B. Esquema de ponte em viga biapoiada (isostática) com balanços. C. Esquema de ponte em viga hiperestática. 56
Figura 30 – Acima, sistemas estruturais de OAE's e esforços solicitantes, abaixo, diagramas de momento fletor, cortante e esforços normais em diferentes sistemas de viga. 57
Figura 31 – Superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura de pontes e viadutos. 58
Figura 32 - Superestrutura esquemática de uma ponte. 59
Figura 33 – Lajes maciças sem e com balanços. 60
Figura 34 – Laje maciça de concreto armado sobre vigotas pré-moldadas. 61
Figura 35 – Laje alveolar protendida. 61

Figura 36 – Lajes nervuradas, tipologias. 62
Figura 37 – A. Duas longarinas moldadas em loco. B. Vigas múltiplas moldadas em loco. 63
Figura 38 – C. Longarinas tipo “I” pré-moldadas. D. Longarinas “calha” pré-moldada. E. Longarinas metálicas tipo “I” shape. 64
Figura 39 – Viga pré-moldada GERBER. 65
Figura 40 – G. Viga “caixão” com paredes verticais. H. Viga “caixão” com paredes verticais inclinadas. 65
Figura 41 - Viga transversina enrijecendo o sistema da superestrutura. Fonte: adaptado de Cavalcante, 2019 66
Figura 42 – Tipologias de seções transversais típicas de pilares de pontes e viadutos. 68
Figura 43 – Tipologias típicas de pilares de pontes e viadutos. 69
Figura 44 – A. Pilares com contraventamento e tabuleiro apoiado sem uso de travessa. B. Pilar parede (seção maciça ou celular) e tabuleiro apoiado sem uso de travessa. . 70
Figura 45 – C. Dois pilares conectados com uso de travessa isostática superior. D. Três pilares conectados com uso de travessa hiperestática superior. 71
Figura 46 – E. Pilar único com viga-trave de seção variável. 72
Figura 47 – A. Corte transversal à esquerda e vista longitudinal do apoio tipo Freyssinet, à direita. 74
Figura 48 – B. Apoio Mesnager. 74
Figura 49 – C. Apoio pendular. 75
Figura 50 – D. Apoio de superfície cilíndricas em concreto armado. 75
Figura 51 – Ponte triarticulada e detalhes do apoio de superfícies cilíndricas de concreto. Fonte: adaptada de Nicolas Janberg, 2009 e DNIT, 2004 76
Figura 52 – Apoios de superfície cilíndrica da Ponte Musmeci sobre o rio Basento, Potenza, Itália. Fonte: adaptada de MIBAG, 2018 76
Figura 53 – A. Apoio rotulado fixo sem rolo metálico. B. Apoio fixo com rolo metálico. 77
Figura 54 – C. Apoio rotulado metálico para cargas reversíveis. 77
Figura 55 – D. Apoio para rolamento em rolo múltiplo. E. Apoio em rolo único. 78
Figura 56 - Apoio para rolamento em rolo múltiplo. Ponte Rainha D. Amélia. 78
Figura 57 - Apoio em material elastômero, neoprene. 79
Figura 58 – Apoio em material elastômero, neoprene. Fonte: Diprotec 80
Figura 59 – Apoios do primeiro gênero unidirecionais e multidirecionais em elastômero. 80
Figura 60 – Fundações superficiais ou rasas. 81
Figura 61 - Elementos estruturais fundamentais de uma OAE. Fonte: adaptada de Valeriano, 2021 82
Figura 62 – Fundações profundas. 83
Figura 63 - Disposição da carga estática do Veiculo tipo. 85
Figura 64 – A. Subsistema rodoviário brasileiro. Sistema Nacional de Viação (SNV). B. Subsistema rodoviário italiano. 94
Figura 65 – Benefícios do Retrofit Urbano. 101
Figura 66 – Classificação do retrofit de um edifício de acordo com o sistema (A) e com a finalidade (B). 105
Figura 67 - Métodos de retrofitting. 108
Figura 68 – Macro dimensões da infraestrutura urbana das OAE’S. 112
Figura 69 – Indicadores para requalificação urbana. 113
Figura 70 - Propósitos de sustentabilidade elaborados pela NBR ISO 37101:2017.. 114
Figura 71 - Desempenho com e sem manutenção para edificações. 119
Figura 72 – Cadeia de critérios para avaliação de desempenho simbólico dos lugares. Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017. 122
Figura 73 – Quadro síntese dos atributos morfológicos incidentes no desempenho simbólico dos lugares. Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017. 123

Figura 74 – Características básicas dos espaços funcionais. Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017. 126
Figura 75 – Gráfico da composição do IRU para OAE's. 130
Figura 76 – Gráfico da composição dos Indicadores utilizados para avaliação das OAE's..... 133
Figura 77 – Modelo de ficha avaliativa para obtenção do IRU. 133
Figura 78 – Localização da infraestrutura urbana, Plano Piloto, Eixo Rodoviário, Brasília - DF. 140
Figura 79 – A. Antigo pilar, Pré-retrofit. B. Novo pilar, Pós-retrofit. C. Asa delta. (A, B) GardaFlyingParadise (C) 142
Figura 80 - Mapeamento dos pilares Viaduto sobre a Galeria dos Estados. 143
Figura 81 – A. Cortina de contenção sul, vista leste. B. Cortina de contenção sul, vista oeste. 144
Figura 82 - Pilar 1, Lado Leste, vista frontal. 145
Figura 83 - Pilar 1, vistas sul (acima) e norte. 146
Figura 84 - Pilar 1, Lado Oeste, vista frontal. 147
Figura 85 - Pilar 2, Lado Leste, vista frontal. 148
Figura 86 - Pilar 2, vistas sul (acima) e norte. 149
Figura 87 - Pilar 2, Lado Oeste, vista frontal. 150
Figura 88 - Pilar 3, Lado Leste, vista frontal. 151
Figura - 89 Pilar 3, vistas sul e norte. 152
Figura 90 - Pilar 3, Lado Oeste, vista frontal. 153
Figura 91 - Pilar 4, Lado Leste, vista frontal. 154
Figura 92 - Pilar4, vistas sul e norte. 155
Figura 93 - Pilar 4, Lado Oeste, vista frontal. 156
Figura 94 - Galeria sobre os Estados, Lado Leste, vista frontal. 157
Figura 95 - Pilar 5, Lado Leste, vista norte. 158
Figura 96 - Pilar 5, vistas sul e norte. 159
Figura 97 - Pilar 5, Lado Oeste, vista frontal. 160
Figura 98 - Pilar 6, Lado Leste, vista norte. 161
Figura 99 - Pilar 6, vistas sul e norte. 162
Figura 100 - Pilar 6, Lado Oeste, vista frontal. 163
Figura 101 - Pilar 7, Lado Leste, vista norte. 164
Figura 102 - Pilar 7, vistas sul e norte. 165
Figura 103 - Pilar 7, Lado Oeste, vista frontal. 166
Figura 104 - Cortina de contenção norte. 167
Figura 105 - Esquema estrutural 3D do Viaduto e arranjo das conexões entre vãos dos pilares. 168
Figura 106 - Longarinas protendidas antes do capeamento da laje elástica. 169
Figura 107 - Esquema estrutural 3D da nova laje do Viaduto. 170
Figura 108 - Mapeamento lajes do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, ... 171
Figura 109 - Buzinotes de escoamento instalados na parte oeste do Viaduto entre os vãos dos pilares P6 e P5. 171
Figura 110 - Ponto de escoamento em pavimentação drenante, concreto permeável, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF 172
Figura 111 - Local do desabamento do Viaduto sobre a Galeria dos Estados 173
Figura 112 - Vista do elemento de laje em ruína parcial, Viaduto sobre a Galeria dos Estados. 174
Figura 113 - Local do desabamento do Viaduto sobre a Galeria dos Estados. 174
Figura 114 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto. 176
Figura 115 - Fissuras ocorridas no pilar P7 antes do colapso estrutural. 177
Figura 116 - Corrosão das cordoalhas protendidas. 177
Figura 117 - Extração do corpo de prova mostrando carbonatação. 178
Figura 118 - Trecho do tabuleiro em ruína e área externa antes do Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF. Fonte: Tony Winston/Agência Brasília ... 179

Figura 119 - Inspeção dos órgãos públicos após desabamento, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF. Fonte: André Borges/Agência Brasília 179
Figura 120 - Escoramento metálico de sustentação. 180
Figura 121 - Projeto das alças para desvio do trânsito do Viaduto sobre a Galeria dos Estados:..... 182
Figura 122 - Corpo de prova 001, P7, face sul. 183
Figura 123 - Mapeamento da superfície do pilar antes do Retrofit em subáreas. 187
Figura 124 - Pilar 1 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local. 187
Figura 125 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 1, antes do Retrofit, lado norte (acima) e o sul. 188
Figura 126 - Pilar 2 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local 189
Figura 127 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 2, antes do Retrofit, lado sul. 189
Figura 128 - Pilar 7 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local. 189
Figura 129 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 7, antes do Retrofit, lado norte (acima) e o sul. 190
Figura 130 - Manifestações patológicas da Laje L1. De esquerda para direita, de cima para baixo: armadura exposta, buraco com armadura exposta, lixiviação, fissuração, buraco com armadura exposta e infiltração. 191
Figura 131 - Manifestações patológicas da Laje L2 em proximidade do pilar P2. 192
Figura 132 - Localização das lajes L3, L4 e L6, sem mapeamento de patologias. 192
Figura 133 - Manifestações patológicas da Laje L7. De esquerda para direita: armadura ativa exposta e em estado de obsolescência e buraco com armadura exposta. 193
Figura 134 - Manifestações patológicas da Laje L8. De esquerda para direita: infiltração e buraco com armadura exposta. 194
Figura 135 - Vista das galerias de águas pluviais. 194
Figura 136 - Planta de paisagismo da Praça dos Estados, em cima, e vista do viaduto, pós retrofit urbano, abaixo. 196
Figura 137 - Engenheiro Contarini no local do desabamento do Viaduto da Galerias sobre os Estados. Fonte: Larissa Batista 197
Figura 138 - Desenhos originais do Bruno Contarini, antigos pilares. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia 198
Figura 139 - Desenhos originais do Bruno Contarini, reforço dos pilares e novas fundações. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia 199
Figura 140 - Desenhos originais do Bruno Contarini, demolição da laje 7. 200
Figura 141 - Demolição da laje 7. 200
Figura 142 - Desenhos originais do Bruno Contarini, reforço das vigas. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia 200
Figura 143 - Novas fundações e reforço do pilar original, Proposta de recuperação do Viaduto sobre a Galeria dos estados 201
Figura 144 - Vista dos novos pilares engrenados na antiga estrutura existente. 202
Figura 145 - Cortes da estrutura do pilar do Viaduto após Retrofit, detalhamento do aumento de seção dos pilares e dos blocos de fundação. 204
Figura 146 - Cortes da estrutura do viaduto antes e após Retrofit estrutural, mostrando a seção transversal do pilar e do tabuleiro protendido. 205
Figura 147 - Corte da estrutura do viaduto antes do Retrofit, detalhamento do pilar e da face longitudinal da laje protendida. 206
Figura 148 - Detalhe de apoio das novas vigas protendidas sobre os pilares em asa delta. 207
Figura 149 - Apoio das novas vigas protendidas sobre os pilares em asa delta. 208
Figura 150 - Armaduras ativas e passivas das longarinas de concreto, inseridas entre os alvéolos protendidos. 209
Figura 151 - Armaduras passivas pré-moldadas e bainhas para protensão das longarinas de concreto. 210

Figura 152 - Ficha avaliativa IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ-RETROFIT. 212
Figura 153 - Ficha avaliativa IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PÓS-RETROFIT. 213
Figura 154 - Diagramas comparativos da dimensão ESTRUTURAL do Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 214
Figura 155 – Diagramas comparativos das dimensões INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 215
Figura 156 – – Diagrama comparativo IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT 216
Figura 157 - Vista aérea do trecho norte do Trevo de Triagem Norte, em fase de obra. 218
Figura 158 - Vista aérea do trecho sul do Trevo de Triagem Norte, em fase de obra. 219
Figura 159 Vista aérea do trecho norte do Trevo de Triagem Norte em fase de obra. 221
Figura 160 - Plano Piloto, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil. 224
Figura 161 – Mapeamento do conjunto do Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil. 225
Figura 162 – Mapeamento das OAE's do grupo G1, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil. 226
Figura 163 – Mapeamento das OAE's do grupo G2, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil. 226
Figura 164 – Mapeamento do conjunto do Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil. 227
Figura 165 - Conjunto infraestrutural TTN, Brasília, DF. 228
Figura 166 – Grupo 1 (G1) do conjunto infraestrutural de 6 obras de arte especial. . 229
Figura 167 – Grupo 2 (G2) do conjunto infraestrutural de 7 obras de arte especial. . 230
Figura 168 - OAE 01, TTN, Brasília, DF. 232
Figura 169 – Implantação da OAE 01, adjacente à dois viadutos existentes, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF. 233
Figura 170 - Volumetria do novo pilar em formato capsular 50x400 cm, OAE 01, TTNN,Brasília, DF. 233
Figura 171 - Seção transversal OAE 01 – projeto executivo com ciclovia. 234
Figura 172 – Pilares novos de seção capsular e pilares existentes, quadrados. 235
Figura 173 – Contenção em muro de gabião, OAE 01, TTN, Brasília, DF. 236
Figura 174 – Contenção em muro de gabião dos viadutos existentes no trecho do TTN, Brasília, DF. 236
Figura 175 - Pilares novos, seção transversal capsular, OAE 1, TTN, Brasília, DF. . 237
Figura 176 - OAE 02, TTN, Brasília, DF. 238
Figura 177 - Implantação da OAE 02, TTN, Brasília, DF. DER, 2018. 239
Figura 178 - Implantação da OAE 02, mostrando as OAE's 3 e 4, atrás. 239
Figura 179 – Vista leste da OAE 02, TTN, Brasília, DF. 240
Figura 180 – Ciclovia passando pela OAE 02, cruzando-a em direcao leste-oeste. . 241
Figura 181 – Vista do trecho de ciclovia que passa pela OAE 02, TTN, Brasília, DF. 241
Figura 182 - OAE 03, na frente, e OAE 04 atrás, TTN, Brasília, DF. 242
Figura 183 - Implantação das OAE's 03 e 04, TTN, Brasília, DF. 243
Figura 184 - Implantação das OAE's 03 e 04, mostrando a próxima OAE 02, atrás. 243
Figura 185 - OAE 04, na frente, OAE 03 e OAE 02, atrás, complexo do TTN, Brasília, DF. 244
Figura 186 - OAE 05, TTN, Brasília, DF. 245
Figura 187 – Canteiro de obra da OAE 05, TTN, Brasília, DF. 246
Figura 188 – Saias adicionais de contenção, OAE 05, TTN. 246
Figura 189 - OAE 05A, TTN, Brasília, DF. 247

Figura 190 - OAE 05A, localização da interferencia com a torre de alta tensão da CEB, Brasília, DF. 248
Figura 191 – Torre de alta tensão da CEB próxima à OAE 05A, TTN, Brasília, DF. . 248
Figura 192 - Vista da saída da OAE 05A, TTN, Brasília, DF. 249
Figura 193- OAE 06, TTN, Brasília, DF. 250
Figura 194 – Eixos estruturais dos pilares da OAE 06, TTN. 251
Figura 195 – Implantacão da OAE 06 após Retrofit urbano do complexo do TTN, Brasília, DF. 252
Figura 196 – Construcão da OAE 06 do complexo do TTN, Brasília, DF. 252
Figura 197 – Vista aérea da construcão da OAE 06 do complexo do TTN e dos blocos de fundação 18 e 19, Brasília, DF. 253
Figura 198 – Vista dos encontros dos trechos dos tabuleiros, OAE 06, TTN, Brasília, DF. 254
Figura 199 - Ponte do Braghetto antes do retrofit estrutural, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF. 255
Figura 200 – Vista isométrica e lateral da estrutura da Ponte do Braghetto, TTN, Brasília, DF. 256
Figura 201 – Inspeção durante retrofit estrutural no alvéolo do tabuleiro, seção transversal da Ponte do Braghetto, TTN, Brasília, DF. 256
Figura 202 - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto. 259
Figura 203 – Concreto - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto. 259
Figura 204 - Cabos - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto. 260
Figura 205 - Combinações de carga utilizadas para os ELS de fissuração da ponte do Braghetto. 260
Figura 206 - Combinações de carga utilizadas para os ELS de deformação da ponte do Braghetto. 261
Figura 207 - CS-COMB11 – Deslocamento Vertical ΔZ (m), ponte do Braghetto..... 262
Figura 208 - Tensões Normais Szz [KN/m2] – Direção Vertical..... 262
Figura 209 – Armadura de reforço sobre os apoios, ponte do Braghetto. 263
Figura 210– Armação para aumento da seção transversal dos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF. 264
Figura 211 – Formas utilizadas para recobrimento da seção transversal dos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF. 265
Figura 212– Colocação das formas para lançamento do conreto nos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF. 266
Figura 213 – Lançamento do conreto nos pilares da ponte do Braghetto e vista da OAE 06. 267
Figura 214 - Limpeza das galerias laterais da ponte do Braghetto. 268
Figura 215 - Laje inferior da ponte do Braghetto antes do retrofit estrutural, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF. 269
Figura 216 - Laje inferior mostrando seu estado precário antes do retrofit estrutural, Ponte do Braghetto, Brasília, DF. 270
Figura 217 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente externo. 270
Figura 218 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente interno. 271
Figura 219 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente externo. 272
Figura 220 – Laje inferior recuperada e pilares reforçados, após processo de Retrofit, ... 273
Figura 221 – Galerias laterais da ponte do Braghetto em estado precário, antes do processo de Retrofit, ... 274

Figura 222 – Galerias laterais da ponte do Braghetto recuperadas, após processo de Retrofit, ... 275
Figura 223 – Operários atuando na desobstrução dos drenos e buzinotes de águas pluviais. 276
Figura 224 - OAE 07, TTN, Brasília, DF. 277
Figura 225 – Eixos estruturais dos pilares da OAE 07, TTN. 278
Figura 226 – Implantacão da OAE 07 após Retrofit urbano do complexo do TTN, Brasília, DF. 279
Figura 227 - Construcão da OAE 06 do complexo do TTN, Brasília, DF. 279
Figura 228 – Vista aérea da construcão da OAE 07 do complexo do TTN, Brasília, DF. 280
Figura 229 – Vista da ponte 07, complexo do TTN, Brasília, DF. 281
Figura 230 – Vista dos encontros dos trechos dos tabuleiros, OAE 07, TTN, Brasília, DF. 282
Figura 231 – Vista da laje inferior e dos pilares da OAE 07, complexo do TTN, Brasília, DF. 282
Figura 232 – Vista da OAE 07, a esquerda e Ponte do Braghetto, a direita, complexo do TTN, Brasília, DF. 283
Figura 233 – Fundação da ponte 07, TTN, Brasília, DF. 283
Figura 234 - OAE 08, TTN, vista sudeste, Brasília, DF. 284
Figura 235 - OAE 08, vista noroeste, TTN, Brasília, DF. 285
Figura 236 - Arrasamento da estacas da OAE 08, TTN, Brasília, DF. 286
Figura 237 – Vista aérea da construcão da área sul do complexo do TTN e da OAE 08. 287
Figura 238 – Vista aérea da construcão da área sul do complexo do TTN e da OAE 08. 287
Figura 239 – Vista aérea da construcão da OAE 08. 288
Figura 240 – Detalhe mostrando os buzinotes de escoamento / drenagem das águas pluviais, OAE 08, TTN, Brasília, DF. 288
Figura 241 – Localização das obras de arte especial 09L, 09C e 09W. 289
Figura 242 – Vista da ciclovia passando pela OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 290
Figura 243 – Corte transversal da OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 290
Figura 244 – Corte transversal da OAE 09C, TTN, Brasília, DF. 291
Figura 245 – Corte transversal da OAE 09W, TTN, Brasília, DF. 291
Figura 246 – Reações nas estacas E23 a E28, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. DER/DF, 2018 292
Figura 247 – Reações nas estacas E23 a E28 antes do reforço, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 293
Figura 248 – Reações nas estacas E23 a E28 após o reforço estrutural, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 293
Figura 249 - Planta esquemática do bloco de fundação após o reforço estrutural, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 294
Figura 250 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 294
Figura 251 - Estacas da OAE 09L, TTN, Brasília, DF. 295
Figura 252 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09W, TTN, Brasília, DF. 295
Figura 253 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09C, TTN, Brasília, DF. 296
Figura 254 - OAE 10, TTN, Brasília, DF. 297
Figura 255 – Vista aérea da construcão da OAE 10. 297
Figura 256 – Vista aérea da construcão da OAE 10. 298
Figura 257 - Fundação com estacas raiz. 299
Figura 258 – Seção transversal da OAE 10 mostrando o aumento da largura do tabuleiro para abrigar a ciclovia, TTN, Brasília, DF. 300

Figura 259 - OAE 11, TTN, Brasília, DF. 301
Figura 260 - Detalhes das fundações empregadas no projeto básico, a esquerda, e, a direita, as estacas raiz executadas na construção da OAE 11. 302
Figura 261 - OAE 12, TTN, Brasília, DF. 303
Figura 262 – Vista aérea da OAE 10, na frente, e da OAE 12, atrás. TTN,Brasília, DF. 304
Figura 263 - Ficha avaliativa IRU – Trevo de Triagem Norte – PRÉ-RETROFIT. 306
Figura 264 - Ficha avaliativa IRU – Trevo de Triagem Norte – PÓS-RETROFIT. 307
Figura 265 – Diagramas ESTRUTURAL, INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO, IRU – Trevo de Triagem Norte – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 309
Figura 266 – Diagrama comparativo – Trevo de Triagem Norte – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 310
Figura 267 – IRU do Trevo de Triagem Norte. PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 310
Figura 268 - Localização da infraestrutura. Itália, Génova, Ponte Morandi. 312
Figura 269 - Manifesto propagandístico de 1964 da nova Ponte Morandi. 313
Figura 270- Apresentação da Ponte Morandi às autoridades pelo homônimo engenheiro. Fonte:EMAS, 2019 314
Figura 271 - Antiga Ponte Morandi, Génova, Itália. 314
Figura 272 – Pilares em formato “V”, antiga Ponte Morandi. 315
Figura 273 – Antiga Ponte acima das unidades residenciais. Fonte: ITALFERR 316
Figura 274 – A. Cavalete de madeira. Mastro da Ponte Morandi, conceituado na forma de “cavalete”. 317
Figura 275 – Pilares de sustentação e vãos da antiga estrutura, Ponte Morandi sobre o Polcévera, Génova. 318
Figura 276 – Vista debaixo da Ponte. Fonte: Arno Hammacher 319
Figura 277 – Detalhe da seção transversal do estais da antiga Ponte Morandi. 320
Figura 278 – Vista do reforço de um dos estais da Ponte. 321
Figura 279 – Vistas da nova Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Shunji Ishida, (courtesy of RPBW) 322
Figura 280 – Interupção da rota Leste – Oeste de Génova. 323
Figura 281 – Renzo Piano, arquiteto da Ponte San Giorgio sobre o Polcévera. Fonte: Stefano Goldber 324
Figura 282 – Carenagem de um barco a vela, remetendo à forma do tabuleiro da ponte. Fonte: Stefano Gattini 325
Figura 283 - Croqui preliminar do arquiteto Renzo Piano. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 325
Figura 284 - Croqui arquitetônico do Renzo Piano, mostrando estrutura e iluminação preliminares. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 326
Figura 285 - Vistas noturnas da Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Enrico Cano ... 327
Figura 286 - Corte transversal do pilar e do tabuleiro da Ponte San Giorgio. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 328
Figura 287 – O arquiteto Renzo Piano mostra a elevação longitudinal da Ponte San Giorgio. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 329
Figura 288 - Corte transversal do tabuleiro, proposta preliminar do arquiteto Renzo Piano. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 330
Figura 289 - Perfil de um barco a vela, remetendo ao sistema de iluminação da ponte. Fonte: Carlo Borlenghi 330
Figura 290 – Vista de baixo do tabuleiro, mostrando o cromatismo utilizado na ponte San Giorgio. Fonte: Shunji Ishida 331
Figura 291 – Pilares em formato de elipse, Ponte San Giorgio. Fonte: Shunji Ishida 333
Figura 292 - Localização da nova infraestrutura. 334
Figura 293 - Pilar de seção oca. 335
Figura 294 – Armação do pilar da Ponte San Giorgio. 336
Figura 295 - Localização dos pilares e elevação frontal da infraestrutura. 337

Figura 296 - Planta e elevação da cortina de contenção oeste, dos pilares elípticos P1, P2 e respectivas fundações. 338
Figura 297 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P2, P3, P4, P5 e respectivas fundações. 339
Figura 298 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P5, P6, P7, P8 e respectivas fundações. 339
Figura 299 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P8, P9 e respectivas fundações. 340
Figura 300 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P10, P11 e respectivas fundações. 340
Figura 301 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P11, P12, P13, P14 e respectivas fundações. 341
Figura 302 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P14, P15, P16, P17 e respectivas fundações. 341
Figura 303 - Planta e elevação lateral da cortina de contenção leste, dos pilares elípticos P16, P17, P18 e respectivas fundações. 342
Figura 304 – Vista dos pilares da Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Shunji Ishida 342
Figura 305 – Sistema de formas para concretagem dos pilares. Fonte: We Build 343
Figura 306 - Sistema de ancoragem das formas para concretagem dos pilares. Fonte: We Build 344
Figura 307 - Blocos de fundação para a nova infraestrutura. Fonte: We Build..... 345
Figura 308 - Concretagem do bloco de fundação. Procedimentos para cura do concreto. Fonte: We Build 346
Figura 309 - Conexão do tabuleiro metálico pré-fabricado com a estrutura de sustentação vertical. Fonte: We Build e Marco Pelizza..... 347
Figura 310 - Apoio do tabuleiro em fase de construção e em serviço. Fonte: ITALFERR 348
Figura 311 – Corte transversal do tabuleiro metálico da Ponte San Giorgio. Fonte: ITALFERR 349
Figura 312 – A. Tabuleiro metálico sem estrutura lateral e com (B). Fonte: Shunji Ishida 350
Figura 313 – Estrututra metálica lateral, alças ou remos laterais. Fonte: We Build ... 351
Figura 314 – Fase de transporte marítimo. Fonte: We Build..... 351
Figura 315 - Fase de transporte terrestre. Fonte: We Build 352
Figura 316 – Interior do tabuleiro com as instalações tecnológicas. Fonte: We Build 353
Figura 317 – Montagem da estrutura metálica do tabuleiro. Fonte: We Build 354
Figura 318 – Seção transversal do tabuleiro na altura do Pilar 10..... 354
Figura 319 - Seção transversal intermediária do tabuleiro, passando pelo vão de 100 metros..... 355
Figura 320 – Seção perspectivada dos elementos laterais à pista de rodagem. 355
Figura 321 – Concretagem do tabuleiro. Fonte: Shunji Ishida 356
Figura 322 – A. Concretagem do tabuleiro. B. Acabamento final da pista. 357
Figura 323 – Croqui do sistema fotovoltáico. Fonte: Renzo Piano Building Workshop 358
Figura 324 – Sistema fotovoltaico. C.R.G. 359
Figura 325 – Pianel fotovoltaico. Fonte: Commissario Ricostruzione Genova..... 360
Figura 326 – Sistema robotizado de limpeza. Fonte: La Repubblica 360
Figura 327 – Perfil lateral mostrando os paineis fotovoltaicos. 362
Figura 328 – Interior do tabuleiro tecnológico. 363
Figura 329 – Sistema de climatização interno da ponte..... 365
Figura 330 - Trecho do viaduto colapsado. Fonte: Adaptada de ITALFERR e The Guardian. 366
Figura 331 – Restos da infraestrutura colapsada. Fonte: Paolo Rattini/GettyImages 367
Figura 332 – Infraestrutura em estado de colapso. Fonte: Paolo Rattini/GettyImages 368

Figura 333 - Trecho do viaduto colapsado acima das unidades residenciais. Fonte: ITALFERR 369
Figura 334 – Demolição da antiga Ponte Morandi. Fonte: ITALFERR..... 371
Figura 335 – Içamento e remoção dos trechos pré-moldados. 372
Figura 336 – Inauguração da nova ponte. Fonte: ITALFERR 375
Figura 337 - Ficha avaliativa IRU – Ponte Morandi sobre o Polcévera – PRÉ-RETROFIT. 376
Figura 338 - Ficha avaliativa IRU – Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT. 378
Figura 339 – Projeto do Memorial da Ponte San Giorgio. 379
Figura 340 - Projeto do Parque da Ponte San Giorgio. Fonte: Boeri Studio 380
Figura 341 – Planimetria tridimensional do Parque da Ponte San Giorgio. Fonte: Boeri Studio 381
Figura 342 – Diagramas ESTRUTURAL, INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO, IRU – Ponte San Giorgio – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT. 383
Figura 343 – Diagrama comparativo IRU – Ponte Morandi vs Ponte San Giorgio – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT..... 384
Figura 344 - Diagrama comparativo Estrutura, Instalações e Implantação – Viaduto sobre a Galeria dos Estados VS. Trevo de Triagem Norte VS. Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT. 385
Figura 345 – Diagramas comparativos IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados VS. Trevo de Triagem Norte VS. Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT. 386
Figura 346 – A. Viaduto sobre a galeria dos Estados. B. Trevo de Triagem Norte. C. Ponte San Giorgio. 387

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANAS – Empresa Nacional Autônoma das Estradas.
CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.
CEB – Companhia Energética de Brasília.
CONPLAN - Conselho de Planejamento Territorial e Urbano.
CUB - Conjunto Urbanístico de Brasília.
DER/DF - Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal.
DETRAN - Departamento de Trânsito do Distrito Federal.
DF - Distrito Federal.
ELS - Estados Limites de Serviço.
ELU – Estados Limites Últimos.
ENC – Departamento de Engenharia Civil.
EPIA - Estrada Parque Indústria e Abastecimento.
GDF – Governo do Distrito Federal.
GTE - Grupo Técnico Executivo.
IBRAM - Brasília Ambiental.
ICOMOS - Conselho Internacional de Monumentos e Sítios.
IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.
IRU – Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana.
NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital.
OAE – Obra de Arte Especial.
SECULT – Secretaria da Cultura.
SNPC - Sistema Nacional do Patrimônio Cultural.
SNV – Sistema Nacional de Viação.
SPHAN - Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.
SPT – Standard Penetration Test.
TTN - Trevo de Triagem Norte.
UnB - Universidade de Brasília.
UNESCO - A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 8
LISTA DE ABREVIATURAS 18
SUMÁRIO 19
INTRODUÇÃO 21
1. PONTES E VIADUTOS 27
1.1 Conceitos fundamentais 35
1.2 Elementos estruturais de pontes e viadutos (em viga e laje) 57
1.2.1 Superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. 59
1.3 Ações consideradas nas estruturas das pontes e viadutos 84
2. RETROFIT DA INFRAESTRUTURA URBANA: PRÁTICAS ARQUITETÔNICAS 90
2.1 Contextualização e conceitos fundamentais da infraestrutura urbana 91
2.2 Conceitos fundamentais do retrofit urbano 98
2.3 Indicadores para requalificação urbana 110
2.3.1 Indicador de valor ambiental / sustentabilidade 114
2.3.2 Indicador de valor artístico 116
2.3.3 Indicador de durabilidade / vida útil 117
2.3.4 Indicador Econômico 120
2.3.5 Indicador de Segurança 121
2.3.6 Indicador Simbólico 122
2.3.7 Indicador social 125
2.3.8 Indicador de uso 126
3. ÍNDICE DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA 127
4. MODELOS ESTRUTURAIS E ARQUITETÔNICOS 136
4.1 VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS, Brasília – DF, Brasil 139
4.1.1 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural 139
4.1.2 Os pilares e as cortinas de contenção 142
4.1.3 As lajes, o vigamento horizontal e o sistema de drenagem 169
4.2 Desabamento estrutural e metodologia de atuação (pós colapso) 173
4.2.1 Diagnóstico e ensaios de caracterização dos materiais 183
4.2.2 Mapeamento das patologias nos elementos estruturais 186
4.3 O retrofit do Viaduto sobre a Galeria dos Estados e o IRU 195
4.4 TREVO DE TRIAGEM NORTE (TTN), Brasília – DF, Brasil 217

4.4.1 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural 224
4.4.2 Obras de Arte Especial: as pontes e os viadutos 231
5.4.3 Obra de arte especial 01 –TTN 232
4.4.4 Obra de arte especial 02 – TTN 238
4.4.5 Obras de arte especial 03 e 04 – TTN 242
4.4.6 Obra de arte especial 05 – TTN 245
4.4.7 Obra de arte especial 05A – TTN 247
4.4.8 Obra de arte especial 06 – TTN 250
4.4.9 O retrofit estrutural da Ponte do Braghetto, TTN 255
4.4.10 Obra de arte especial 07 – TTN 277
5.4.11 Obra de arte especial 08 – TTN 284
4.4.12 Obras de arte especial 09L, 09C e 09W – TTN 289
4.4.13 Obra de arte especial 10 – TTN 297
4.4.14 Obra de arte especial 11 – TTN 301
4.4.15 Obra de arte especial 12 – TTN 303
4.5 O impacto da intervenção do retrofit urbano e avaliação do IRU 305
4.6 PONTE SAN GIORGIO, Génova, Itália 311
4.7 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural da antiga ponte 312
4.7.1 Os pilares e os estais protendidos da antiga ponte 316
4.8 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural da nova ponte 322
4.8.3 As instalações tecnológicas 358
4.9 Desabamento estrutural e metodologia de atuação (pós colapso) 366
4.11 O retrofit da Ponte San Giorgio sobre o Polcévera e IRU 375
4.12 ÍNDICES COMPARATIVOS 384
5. EPÍLOGO 389
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 394
FICHA DAS FOTOGRAFIAS – Capa / Contracapa / Introdução / Capítulos .. 411
ÍNDICE REMISSÍVO 413



Introdução

A história da civilização pode ser interpretada, em grande medida, como a história da construção das suas infraestruturas. Desde os primeiros assentamentos humanos, a necessidade de superar barreiras naturais, conectar territórios, garantir fluxos econômicos e promover intercâmbios sociais impulsionou o desenvolvimento de sistemas construtivos cada vez mais sofisticados. Entre esses sistemas, as pontes, os viadutos e as demais Obras de Arte Especiais (OAE's) assumem posição singular, pois materializam, simultaneamente, a evolução técnica, o pensamento arquitetônico, as transformações culturais e as aspirações simbólicas das sociedades que as produziram.

Muito além de estruturas destinadas exclusivamente à transposição de obstáculos físicos, as pontes e os viadutos constituem artefatos culturais complexos, dotados de significados históricos, urbanos e paisagísticos. São testemunhos permanentes do desenvolvimento científico e tecnológico de uma época, expressões concretas do engenho humano e componentes fundamentais da identidade territorial. Ao longo dos séculos, essas infraestruturas ultrapassaram sua condição meramente funcional para se consolidarem como elementos estruturadores do espaço urbano e protagonistas na construção da imagem das cidades.

Na Antiguidade, os aquedutos romanos, as pontes em alvenaria e as grandes obras de engenharia simbolizavam o poder político e a capacidade organizacional do Império Romano. Durante a Revolução Industrial, o ferro fundido, o aço e, posteriormente, o concreto armado transformaram radicalmente os paradigmas construtivos, possibilitando vãos cada vez maiores e novas formas de expressão arquitetônica. No século XX, o advento do Movimento Moderno promoveu uma profunda aproximação entre arquitetura e engenharia, inaugurando uma era caracterizada pela valorização da racionalidade estrutural, da plasticidade formal e da inovação tecnológica.

Nesse contexto, a infraestrutura urbana moderna passou a desempenhar papel determinante na conformação das cidades contemporâneas. A concepção modernista atribuiu às redes viárias e às Obras de Arte Especiais um protagonismo inédito no ordenamento territorial, convertendo-as em elementos fundamentais da estrutura urbana. Em diversas cidades ao redor do mundo, especialmente naquelas concebidas sob os ideais

do urbanismo moderno, pontes e viadutos passaram a constituir não apenas equipamentos de mobilidade, mas verdadeiros marcos arquitetônicos, integrando-se à paisagem e conferindo identidade aos espaços urbanos.

No caso brasileiro, Brasília representa, talvez, a expressão mais emblemática dessa síntese entre arquitetura, urbanismo e infraestrutura. Concebida por Lúcio Costa e monumentalizada pela arquitetura de Oscar Niemeyer, a capital federal consolidou-se como uma das mais relevantes realizações urbanísticas do século XX. Reconhecida como Patrimônio Cultural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), Brasília distingue-se não apenas pela excepcionalidade de seu plano urbanístico, mas também pela singularidade de suas infraestruturas viárias, concebidas como componentes indissociáveis da estrutura espacial da cidade. As extensas avenidas, os eixos rodoviários, as passagens subterrâneas, os viadutos e as pontes integram um sistema urbano cuja coerência formal e funcional constitui parte essencial dos valores de autenticidade e integridade que fundamentaram seu reconhecimento internacional.

Todavia, decorridas mais de seis décadas de sua inauguração, assim como ocorre em inúmeras cidades contemporâneas, parte significativa do patrimônio infraestrutural moderno encontra-se submetida a processos progressivos de degradação física, funcional e tecnológica. O envelhecimento natural dos materiais, a insuficiência histórica de políticas de manutenção preventiva, o incremento contínuo das solicitações de carga, as transformações nos padrões de mobilidade urbana, as mudanças climáticas e a crescente complexidade das demandas sociais têm revelado a vulnerabilidade desses sistemas construídos.

Nas últimas décadas, episódios de deterioração severa e colapsos estruturais ocorridos em diferentes partes do mundo evidenciaram a urgência de reavaliar os modelos tradicionais de gestão da infraestrutura urbana. Casos emblemáticos, como o desabamento parcial do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, em Brasília, e o colapso da Ponte Morandi, em Génova, demonstraram que a ausência de estratégias sistemáticas de monitoramento, manutenção e requalificação pode comprometer não apenas a integridade física das estruturas, mas também a segurança da população, a continuidade dos sistemas urbanos

e a preservação do patrimônio cultural. Tais eventos suscitam reflexões profundas acerca dos limites da vida útil das infraestruturas modernas, da responsabilidade institucional na sua conservação e da necessidade de desenvolvimento de novos instrumentos de avaliação e tomada de decisão.

Paralelamente, o debate internacional sobre sustentabilidade urbana e conservação patrimonial vem progressivamente deslocando seu foco da expansão territorial para a requalificação do ambiente construído existente. Em um cenário global marcado pela escassez de recursos naturais, pelas exigências de descarbonização das cidades e pela busca por modelos mais resilientes de desenvolvimento, torna-se cada vez mais evidente que a preservação e a adaptação das infraestruturas existentes constituem estratégias fundamentais para a sustentabilidade urbana.

Nesse contexto, o conceito de *retrofit* emerge como importante paradigma de intervenção sobre o patrimônio construído. Originalmente associado à atualização tecnológica de edificações, o retrofit amplia-se, contemporaneamente, para abarcar intervenções complexas em infraestruturas urbanas, envolvendo processos de recuperação estrutural, modernização funcional, incremento do desempenho ambiental, incorporação de novas tecnologias e valorização dos atributos históricos e simbólicos dos bens patrimoniais. Diferentemente de intervenções estritamente reparadoras, o retrofit pressupõe uma ação integrada, capaz de conciliar conservação, inovação e adaptação às demandas contemporâneas, assegurando a permanência qualificada das estruturas ao longo do tempo.

Contudo, a intervenção sobre infraestruturas urbanas localizadas em contextos patrimoniais apresenta desafios de elevada complexidade. A necessidade de preservar valores históricos, artísticos e culturais deve coexistir com exigências de segurança estrutural, desempenho funcional, sustentabilidade ambiental, acessibilidade universal e racionalidade econômica. Em muitos casos, as decisões projetuais ultrapassam os limites disciplinares tradicionais, exigindo abordagens multidimensionais e modelos integrados de análise que considerem, simultaneamente, fatores técnicos, sociais, culturais, ambientais e econômicos.

Apesar da crescente relevância do tema, observa-se, tanto no panorama nacional quanto internacional, a ausência de instrumentos metodológicos

capazes de avaliar, de forma sistêmica e multicritério, os impactos das intervenções de retrofit urbano sobre as Obras de Arte Especiais. A literatura especializada concentra-se, predominantemente, em aspectos isolados do desempenho estrutural, da conservação patrimonial ou da sustentabilidade, carecendo de modelos integradores que permitam subsidiar processos de tomada de decisão em intervenções de elevada complexidade. É precisamente diante dessa lacuna que se insere a presente obra. Este livro parte do pressuposto de que a infraestrutura urbana moderna deve ser compreendida como patrimônio cultural e tecnológico, cuja conservação transcende questões meramente técnicas para incorporar valores sociais, simbólicos, ambientais e territoriais. Defende-se que a permanência qualificada dessas estruturas depende da adoção de estratégias integradas de diagnóstico, manutenção, preservação e requalificação, fundamentadas em critérios objetivos e cientificamente estruturados.

Com esse propósito, propõe-se o desenvolvimento e a aplicação do *Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana (IRU),* instrumento metodológico concebido para avaliar o desempenho e o potencial de requalificação das Obras de Arte Especiais mediante abordagem multicritério. O IRU estrutura-se a partir da integração de indicadores relacionados às dimensões estrutural, ambiental, funcional, econômica, social, simbólica e de segurança, constituindo uma ferramenta inovadora de apoio à tomada de decisão em processos de retrofit urbano.

Para fundamentar a hipótese proposta, foram selecionados três estudos de caso paradigmáticos: o Viaduto sobre a Galeria dos Estados, o complexo infraestrutural do Trevo de Triagem Norte, ambos localizados no perímetro tombado de Brasília, e a Ponte San Giorgio, em Génova, Itália. A análise comparativa desses exemplos permite discutir diferentes escalas de intervenção, distintos contextos patrimoniais e múltiplas estratégias de requalificação, contribuindo para o aprofundamento do debate acerca da conservação da infraestrutura moderna.

Ao reunir fundamentos teóricos, procedimentos metodológicos, análises estruturais e estudos empíricos, esta obra pretende contribuir para a consolidação de um campo interdisciplinar ainda em construção: o da requalificação da infraestrutura urbana moderna. Mais do que discutir pontes e

viadutos enquanto objetos técnicos, este livro propõe uma reflexão ampliada sobre a permanência da arquitetura e da engenharia como expressões culturais da sociedade, reafirmando a necessidade de preservar, requalificar e transmitir às futuras gerações os sistemas infraestruturais que sustentam a vida contemporânea.

Conservar a infraestrutura urbana não significa apenas prolongar a vida útil das estruturas. Significa preservar a memória coletiva, proteger a identidade dos territórios, garantir a segurança das populações e construir cidades mais resilientes, sustentáveis e socialmente inclusivas. Trata-se, em última instância, de reconhecer que o patrimônio infraestrutural constitui parte indissociável do legado civilizatório da humanidade e, como tal, deve ser compreendido, valorizado e cuidadosamente transmitido ao futuro.



1. PONTES E VIADUTOS

Há muito tempo, uma árvore caiu sobre um riacho e se tornou uma passagem, uma conexão entre dois lenços de terra separados por aquele obstáculo natural. A construção de uma obra de ponte provém da necessidade de atravessar obstáculos, “destacando-se comércio, expansão territorial e guerras1”. As pontes, ao longo da história, não serviram apenas para garantir a passagem de uma interferência, mas também se tornaram lugares comerciais ou de culto religioso, acrescentando capelas ou pontos comerciais e artísticos, como no caso, por exemplo, da “Ponte Vecchio” de 1345 - localizada em Florença, Itália.



Figura 1 – Ponte Vecchio, Florença, Itália.

Nesse capítulo do livro, pretende-se abordar e embasar as questões relacionadas ao tema da infraestrutura urbana de Obras de Arte Especiais (OAE) e da plástica arquitetônica aplicada à forma estrutural, retratando a importância da concepção estrutural, única definidora da forma arquitetônica. Além disso, serão retratados os aspectos relativos à conceitos fundamentais de pontes e viadutos, classificação e abordagem dos principais elementos que constituem os sistemas estruturais típicos dessas obras da infraestrutura urbana.

[1] Valeriano, R. Pontes. 1. Ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 12.

Corroborando esse aspecto, vale ressaltar que como todos os avanços tecnológicos da civilização humana, a infraestrutura de pontes e viadutos viabilizou o desenvolvimento econômico, cultural e social durante a história da humanidade.



Figura 2 - Ponte Sunniberg, Klosters, Suíça[2].

Na civilização ocidental, de forma qualitativa e quantitativa, os romanos foram os primeiros propulsores da expansão da rede infraestrutural em larga escala, proporcionando a construção massiva de pontes e estradas.

[2] Fonte da imagem: Credits by Gahte3



Figura 3 – Parque dos Aquedutos, Roma, Itália. Fonte: Mariaelena Leggieri

No final do século XVIII e ao longo do XIX, a partir do momento em que as máquinas tecnológicas representavam grande parte da vanguarda moderna, as estruturas começaram a desenvolver um papel de destaque no auxílio de atividades relacionadas às dinâmicas da vida de seus usuários.

O surgimento do ferro industrializado, na época da Revolução Industrial, permitiu um grande avanço nos âmbitos social e econômico. No entanto, considerando os elevados custos dos materiais, os engenheiros que enfrentavam um projeto estrutural de uma ponte ou infraestrutura de grande porte, devia utilizar a melhor eficiência possível para conseguir alcançar o objetivo econômico.

O advento do aço em 1890, que substituiu o ferro usado desde 1840, permitiu a construção de inúmeras pontes suspensas, entre outras, a icónica Golden Gate Bridge de 1937, localizada em San Francisco e concebida pelo Joseph Strauss[3].

[3] Joseph Baermann Strauss foi um engenheiro estrutural e projetista alemão-americano. Liderou a obra da Ponte Golden Gate como engenheiro-chefe.



Figura 4 - Golden Gate Bridge, San Francisco, Estados Unidos. Fonte: LINDSAY

Desde o início do século XX, o concreto armado foi cada vez mais utilizado na construção civil, permitindo que os pioneiros das pontes modernas como Robert Maillard e Eugéne Freyssinet desenvolvessem formas plásticas e ousadas para este novo material.

Próprio nessa época, as estruturas das pontes haviam começado a lidar com o transporte veicular de massa, possuindo uma capacidade de resistência maior às cargas atuantes.

Em meados do século XX, o concreto protendido foi largamente usado na construção de pontes e, desde então, esse novo sistema construtivo apresentou novos problemas e, de consequência, começaram a surgir novas soluções não apenas estruturais, mas também funcionais e de razão estética.

O maior desafio do artista estrutural consistia em realizar e produzir uma Obra de Arte Especial elegante, sem esquecer os pré-requisitos da eficiência e da economia, conjugando o mínimo recurso de materiais com o mínimo custo de construção, obtendo o melhor resultado estético. A utilização dessa nova maneira de pensar permitiu que fossem alcançados novos desafios e que realmente o sistema estrutural ficasse independente da obra de arquitetura.

A Arte Estrutural, definida pelo autor David Billington[4] no seu livro "*The Tower and the Bridge*", se estrutura em três princípios básicos que são a eficiência, economia e estética, gerando um conjunto único de tecnologia e beleza. Para alcançar os objetivos desejados na concepção do projeto, devem-se levar em consideração os requisitos funcionais com o meio ambiente, que tornam o projeto visualmente mais agradável e comunicativo com o seu entorno. O primeiro princípio da Arte Estrutural, a eficiência, consta no fato de que a forma deve seguir a função dela, e não o contrário.

A utilização dessa nova maneira de pensar, permitiu que fossem alcançados novos desafios estruturais e que, realmente, a estrutura fosse um elemento independente da obra de arquitetura. Para alcançar um resultado arquitetônico ideal, como relatava Vitruvius[5] na sua obra "De Architectura", uma obra arquitetônica deve ser bela (princípio da "*venustas*"), funcional (princípio da "utilitas") e estruturalmente sólida (princípio da "*firmitas*").

Um artista estrutural, na sua totalidade, presta um serviço para comunidade, deixando a obra dele como um marco na história de uma nação. A diferença entre os conceitos de tecnologia e ciência é um ponto crucial do debate cultural que marcou não somente essa época histórica, mas também o período modernista internacional.

A própria tecnologia, mesmo viajando em paralelo com a ciência, representa o meio para que, essa última, possa ser aplicada de forma adequada e concreta no ambiente construído. Dessa forma, graças aos primeiros artistas estruturais, a técnica entrou em contato com o espaço urbano, sendo conectada

[4] Autor do livro "The Tower and The Bridge", Billington foi professor da Escola de Arquitetura e do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Princeton, New Jersey, Estados Unidos, desde 1961.

[5] O tratado De Architectura libri decem, escrito por Vitruvius, é uma abrangente reflexão feita no século I a.C. sobre a disciplina da arquitetura e procura, através do seu estudo, requalificar a prática profissional em voga na Roma do Imperador César Augusto.

diretamente com o ambiente de inserção e localização das infraestruturas na cidade.

O século XX, com certeza, produziu símbolos importantes que levaram as estruturas aos seus limites de desempenho. Conhecido como "*o mais brilhante artista de concreto armado da nossa época*" segundo o historiador britânico Nikolaus Pevsner, o engenheiro italiano Pier Luigi Nervi (1891-1979) foi um dos maiores representantes da Arte Estrutural na década do século XX.

A obra dele, reconhecida em nível mundial, contribuiu a criação da "*Golden Age*" na área de arquitetura e engenharia das estruturas. Em seu livro "*A Arte e a Ciência da Construção*[6]", publicado em 1945, o Nervi retrata a essencialidade da intuição e do engenho do projetista na hora da concepção da própria arquitetura. Em suas próprias palavras, Pier Luigi Nervi afirma:

"...A concepção de um sistema estrutural é um ato criativo baseado sobre dados científicos, somente em parte; uma certa sensibilidade estática entra neste processo, mesmo que derivante de considerações de equilíbrio e forca, uma sensibilidade estética, uma atitude pessoal e essencial".



Figura 5 – Palazzetto dello Sport, Pier Luigi Nervi. Fonte: Kerry O'Connor

[6] Nervi P.L., Scienza o Arte del costruire? Edizioni della Bussola, Roma, Itália, 1945.

Grandes obras de engenharia civil, como a Tour Eiffel e o Brooklin Bridge, entre outros, são um claro exemplo dessa revolução em âmbito das estruturas e dos novos sistemas construtivos. Os próprios engenheiros dessas obras, respectivamente Gustave Eiffel e John Roebling, discutem sobre ciência e tecnologia, acreditando que a formação de um engenheiro e artista estrutural deva ser baseada fortemente na educação científica. O artista estrutural, Eduardo Torroja, no seu livro “Razón y Ser de los Tipos Estructurales” de 1957, afirma que a criação de um complexo estrutural é viabilizada por meio de arte e ciência, talento e pesquisa, imaginação e sensibilidade, chegando numa logica construtiva que seja a melhor possível. Entre os principais artistas estruturais, segundo o David Billington, fariam parte o Thomas Telford, Gustave Eiffel, Robert Maillart e Candela, dentre outros, que de forma consciente seguiram os ideais da Arte Estrutural, preconizados pelo professor americano.

Nos próximos subcapítulos, serão apresentados os conceitos fundamentais para pontes e viadutos, a classificação das tipologias dessas Obras de Arte Especiais e os elementos estruturais que compõem o sistema resistente desse tipo de infraestrutura.

1.1 Conceitos fundamentais

As estruturas típicas de pontes e viadutos, também chamadas de Obras de Arte Especiais (OAE's) pela expressividade do próprio arranjo construtivo e estrutural, representam a principal solução para superação de um obstáculo físico em ambiente urbano ou rural. Mas, afinal, o que é uma ponte?

Segundo Marchetti "*denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc."*

De forma parecida, o DNIT define o conceito de ponte como "*Estrutura, inclusive apoios, construídos sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo, de mais de seis metros*" (DNIT, 2004[7]). Outros autores, retratam que as pontes e viadutos podem ser definidos como construções físicas que "*ligam dois pontos separados, com ideal sujeição às cargas e pleno equilíbrio estrutural*".

Precisa ser feita uma diferenciação conceitual entre as estruturas de passagem da infraestrutura urbana, a partir do obstáculo a ser vencido e a função de projeto. Portanto, dependendo desses últimos dois parâmetros, classificam-se as principais infraestruturas (de passagem), como:

A. **Ponte**: "*transposição de obstáculo com massa de água em sua maior parte*";

B. **Viaduto**: "*transposição de obstáculo sem massa de água em sua maior parte (vales, vias)"*;
C. **Passarela**: "*estrutura destinada à transposição de obstáculo, visando a passagem de pedestre*";

D. **Aqueduto**: "*estrutura destinada à transposição de obstáculo para adução de água*";
E. **Ponte Verde**: "*estrutura para travessia da fauna silvestre*".

[7] DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 010/2004: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – procedimento. Rio de Janeiro, 2004



Figura 6 – A. Ponte Costa e Silva sobre o lago Paranoá, Brasília – DF. Foto: Joana França. B. Viaduto do Chá, São Paulo – SP. Votorantim. C. Passarela sobre a rodovia BR-040, km0+425, Valparaíso de Goiás – GO. Grupo CMP. D. Aqueduto romano Pont du Gard na França. Di Filadelfia - Opera própria, CC BY-SA 3.0. E. Ponte Verde sobre a BR-101, Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Adaptada de Wanderson Chan/AMLD.

A partir dessa premissa, definidos os principais termos e o entendimento do objeto dessa análise, podemos ampliar o leque da classificação de pontes e viadutos em concreto armado e protendido seguindo alguns outros critérios também, com particular interesse naqueles que os identificam com base no esquema estático, da forma a seguir.

I. Classificação de acordo com o obstáculo a ser superado.

A infraestrutura, adquire o nome de ponte se o obstáculo a ultrapassar for um curso de água e o de viaduto se for um vale ou outra via de comunicação, por exemplo.



Figura 7 – A. Obstáculo natural de curso de água. Ponte Juscelino Kubitschek, lago Paranoá, Brasília. Fran Parente. B. Obstáculo artificial de rodovia. Viaduto do metrô em Dubai. Emirados Árabes Unidos. Fonte: Dean Clementson.

II. Classificação de acordo com o uso.

As pontes e viadutos também podem ser classificadas segundo o tipo de serviço que desempenham:

I. ***Ponte rodoviária*:** obra destinada predominantemente ao tráfego de veículos com rodas.

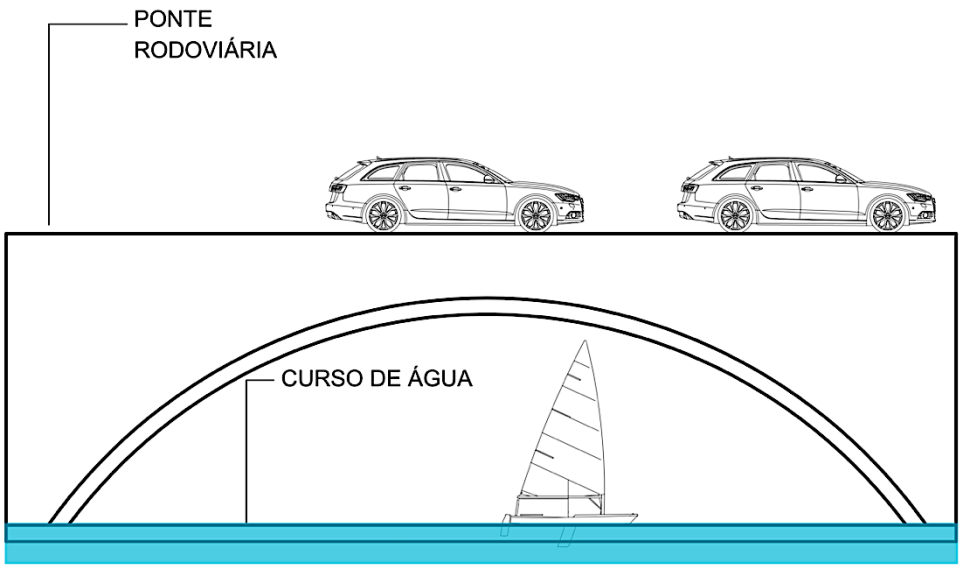


Figura 8 – Esquema de ponte rodoviária.

II. ***Ponte ferroviária*:** Obra de Arte Especial destinada ao trânsito exclusivo de veículos e meios ferroviários.

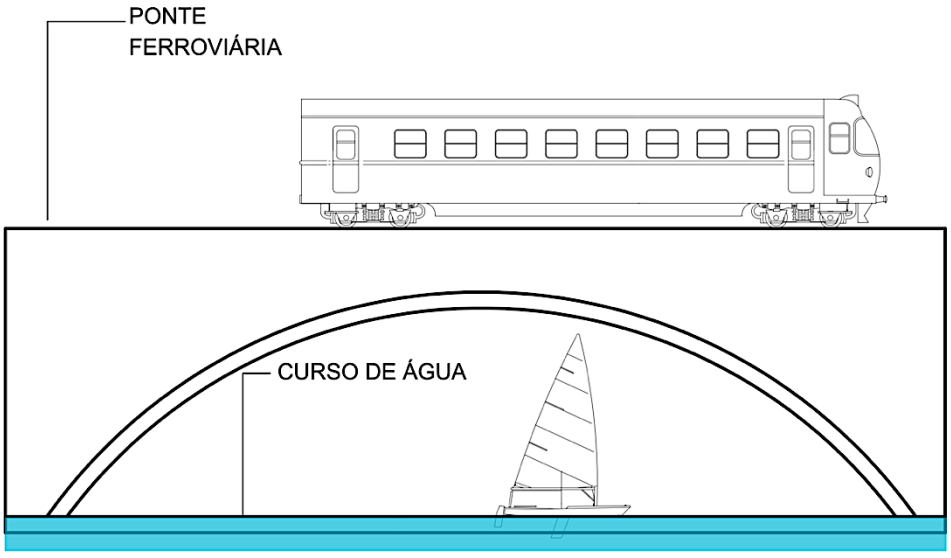


Figura 9 – Esquema de ponte ferroviária.

III. ***Viaduto*:** obra infraestrutural destinada predominantemente ao tráfego de veículos com rodas sobre rodovias ou vale.

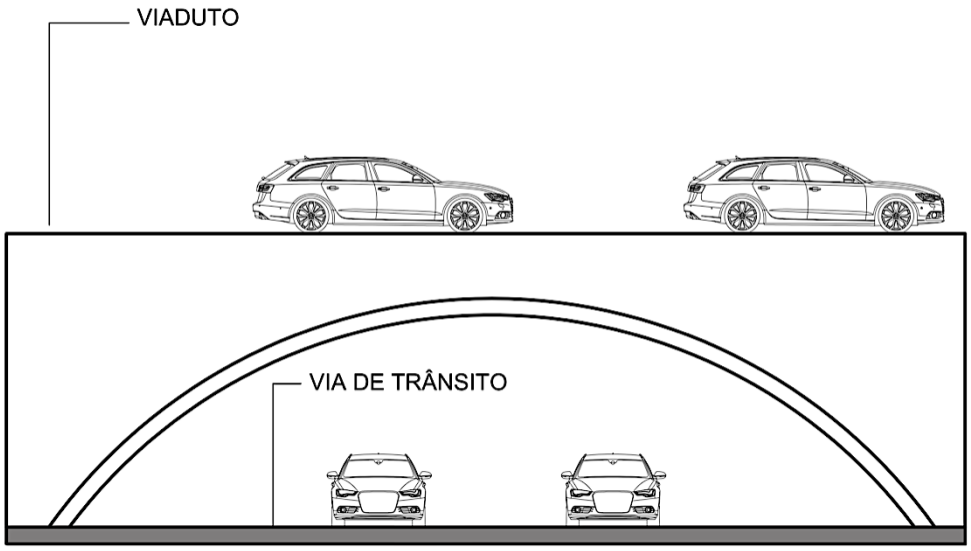


Figura 10 – Esquema de viaduto.

IV. ***Passarela de pedestres ou ciclo-pedestres*:** infraestrutura que permite exclusivamente a passagem de pedestres ou ciclistas.

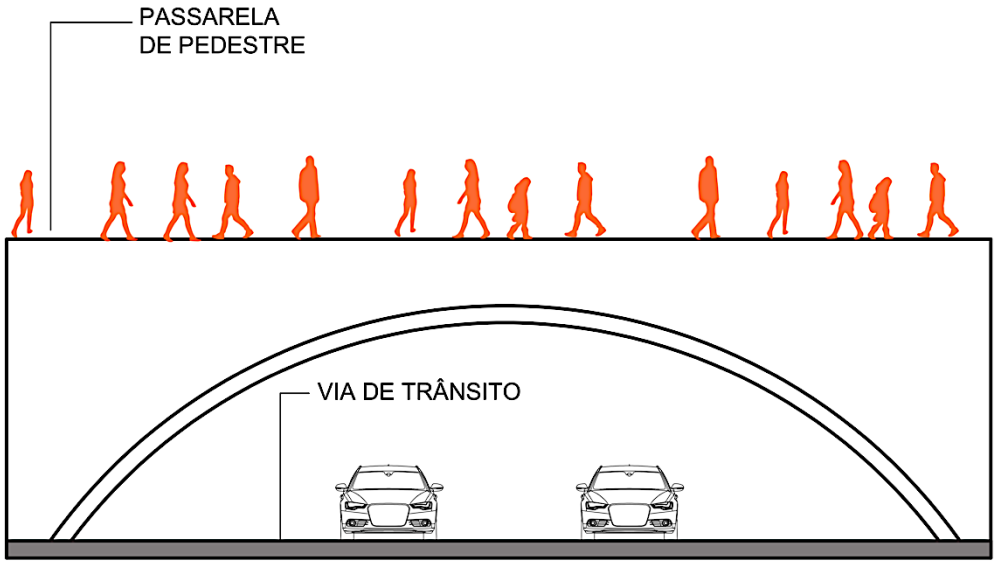


Figura 11 – Esquema de passarela de pedestre.

III. Classificação tipológica de acordo com o esquema estático e o arranjo estrutural.

Nesta seção, a partir do embasamento teórico, identificamos quatro categorias principais em relação ao esquema estático de pontes e viadutos em concreto armado e protendido, resultando em:

I. *Pontes e viadutos em arco*. Tipologias.

O sistema estrutural em arco foi um dos primeiros sistemas a ser utilizado ao longo da história, uma vez que explora o mecanismo simples de resistência à compressão dos materiais de construção.

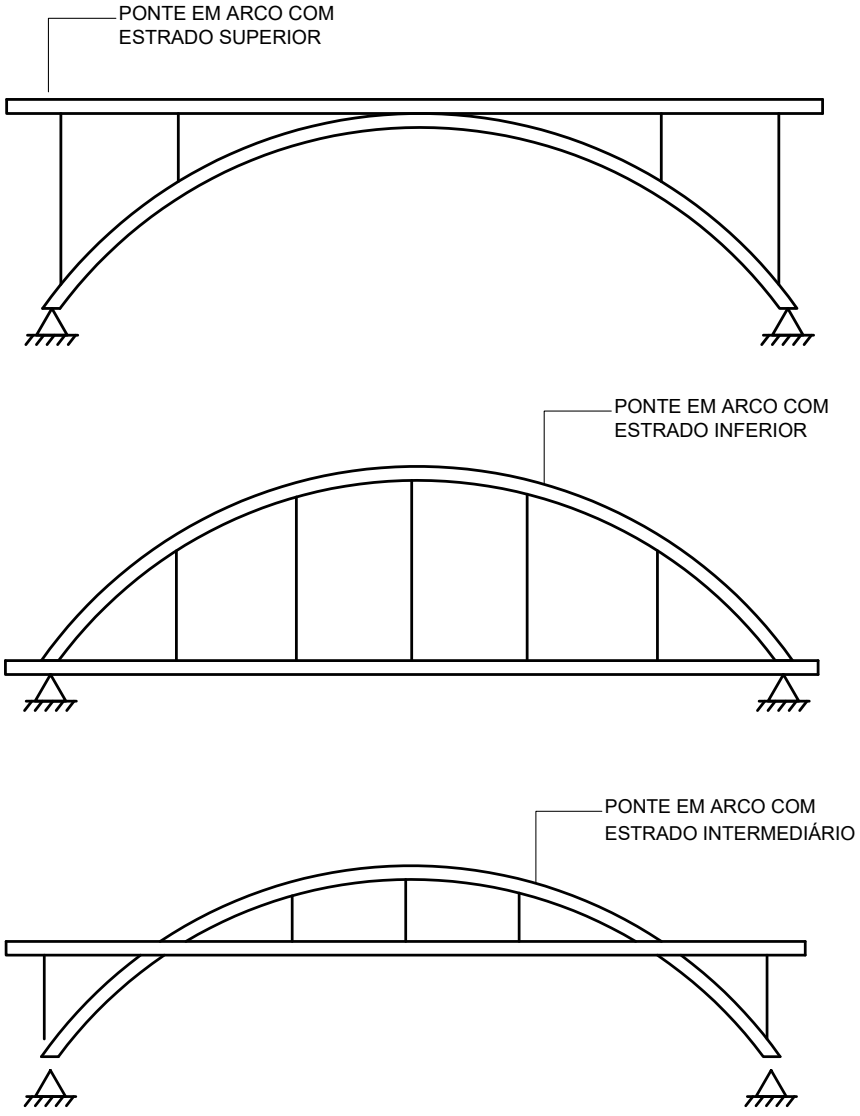


Figura 12 - Sistema estrutural em arco com estrado superior, inferior e intermediário.

As tensões de tração geradas pelo sistema estrutural do arco, são mínimas e relativamente insignificantes para serem consideradas no funcionamento estático do sistema. O arco proporciona o vencimento de vãos maiores respeito ao sistema de vigas, distribuindo as tensões de uma forma mais adequada para os apoios verticais da estrutura. O comportamento do arco carregado e em situação de serviço, gera reações e empuxos horizontais nos apoios inversamente proporcionais à flecha do arco, resultando em secções transversais maiores. Os esforços solicitantes no sistema do arco, oriundos dos carregamentos estáticos e dinâmicos na estrutura, geralmente são todos de compressão, podendo gerar eventuais fenômenos de flexão. Nessa situação, os arcos podem apresentar diversos vínculos, nos apoios e no topo da estrutura, para permitir a rotação relativa entre duas seções transversais próximas, resultando em três esquemas estáticos denominados de bi-engastado, biarticulado e triarticulado.

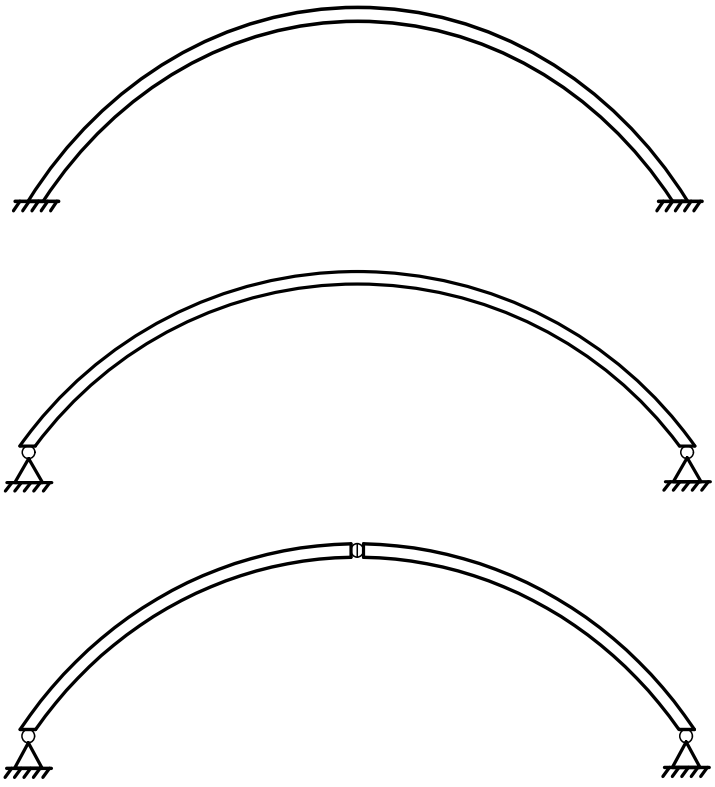


Figura 13 - Sistemas estáticos de arco biengastado, biarticulado e triarticulado.

As pontes que utilizam o sistema estrutural do arco, que são predominantemente solicitadas à compressão simples, utilizam materiais que presentam melhor desempenho em relação a esse esforço, como aço, madeira, concreto armado. Este último material de construção, por ser moldado em loco, apresenta principalmente problemas na produção de formas e escoramento, proporcionando Obras de Arte Especiais mais complexas do ponto de vista executivo e construtivo.

O primeiro grande projetista de pontes em arco de concreto armado foi François Hennebique, que usou este novo material com grande intuição, embora não possuía um vasto e amplo conhecimento teórico sobre os limites.

Hennebique foi o responsável pela construção da *Ponte do Ressurgimento sobre o rio Tévere*, em Roma (1911), realizando um elegante arco abatido com vão de 100 metros.



Figura 14 – Ponte do Ressurgimento, Roma, Itália. Fonte: Nicolas Janberg

Uma nova forma de pensar a arquitetura das pontes de concreto armado foi introduzida pelo engenheiro suíço Robert Maillart, que percebeu o grande potencial do novo material, criando pontes de grande elegância e dinamismo, mais leves em comparação com as tradicionais pontes de alvenaria. A ponte Zuoz, realizada em 1901, triarticulada, se tornou um marco importante enquanto foi construída com a tecnologia da “viga caixão” em concreto armado.

A presença de dois alvéolos “ocos”, que são formados pela curvatura abatida do arco, pelas paredes longitudinais verticais e plataforma do tabuleiro plana, delineou a ação estrutural da ponte na própria forma.

Pela primeira vez, o engenheiro suíço Maillart não deixou que somente o arco sustentasse toda a função estrutural, mas também que as paredes e o tabuleiro dessa obra trabalhassem em conjunto.

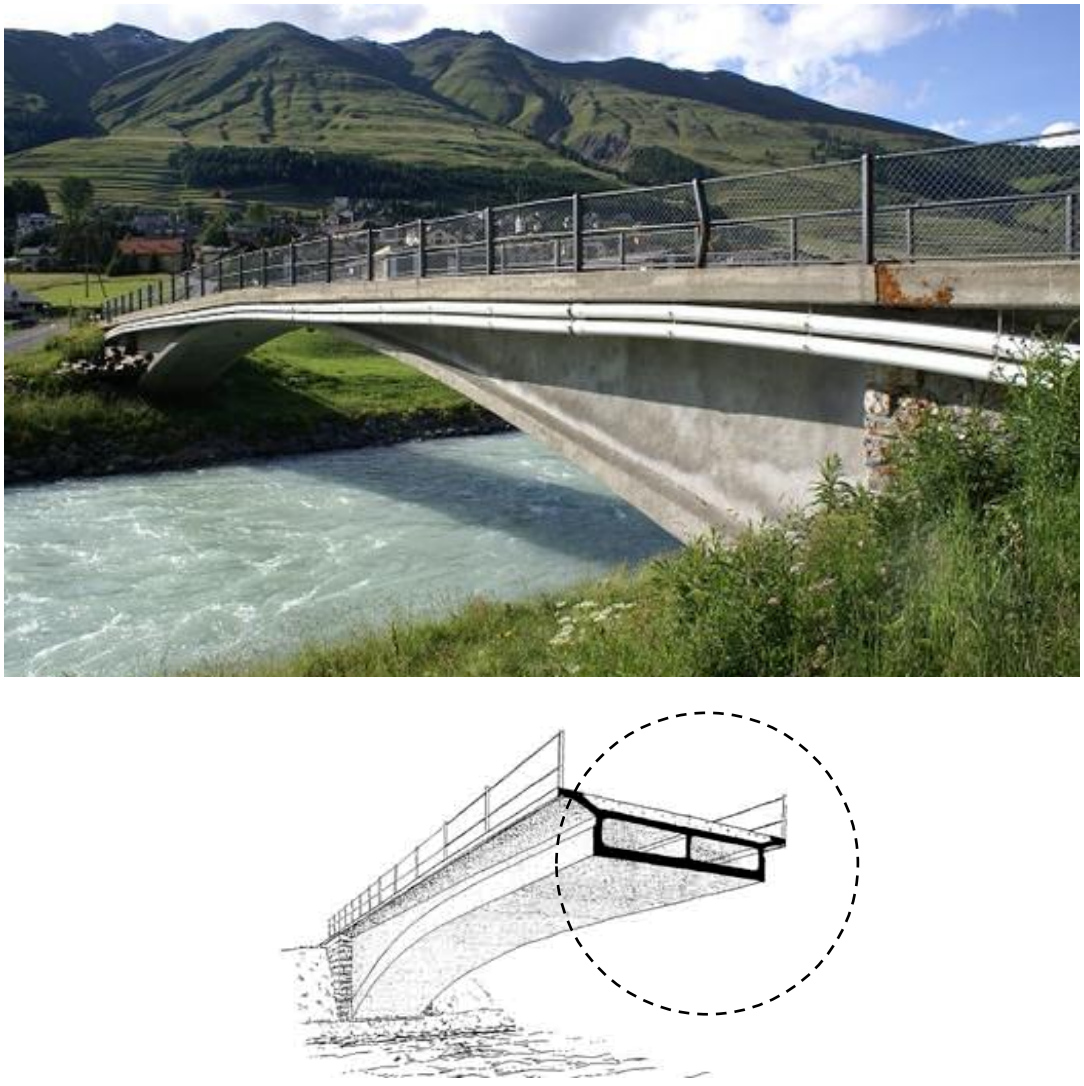


Figura 15 – Vista e detalhe construtivo da seção transversal do tabuleiro da Ponte Zuoz, Suíça. Fonte: Nicolas Janberg

A maior ponte em arco, em questão de leveza, beleza e ousadia do vão livre, com certeza incontestável, é a ponte de Salginatobel (Suíça), criada pelo Robert Maillart em 1928. A estrutura principal é composta por um arco triarticulado e o tabuleiro é apoiado no eixo central do arco e nas extremidades por meio de pilares em concreto armado.



Figura 16 - Ponte em arco triarticulado Salginatobel, Suíça. Fonte: Nicolas Janberg

A obra estrutural da Ponte Salginatobel, que consta em um vão livre de 133 metros, se insere suavemente na paisagem da Suíça, respeitando dessa forma o meio ambiente e a natureza ao seu redor. Essa característica, que o Maillart consegue conferir às suas pontes, é sinal de uma visão futurista de parte do engenheiro, deixando o marco indelével de artista estrutural. É possível notar, também, uma certa evolução no trabalho do engenheiro não apenas sob o ponto de vista da magnitude das suas obras, mas também pela sensibilidade plástica envolvida com a sua estrutura.

II. Pontes e viadutos estaiados. Tipologias.

Uma ponte estaiada é uma Obra de Arte Especial sustentada por meio de cabos, que partem dos mastros verticais para culminar nos tabuleiros da mesma. As pontes realizadas com essa tecnologia são mais atrativas do ponto de vista arquitetônico, remetendo à leveza estrutural, e são largamente utilizadas para vencer grandes vãos, da ordem de 200 a 1000 metros.



Figura 17 – Ponte estaiada Octavio Frias de Oliveira, São Paulo. Fonte: adaptada de rhpissolatti

Com intuito de analisar o sistema estrutural das pontes estaiadas, podemos distinguir três principais elementos que as compõem:

- *Sistema de Estaiamento* (*cabos ou estais*): O sistema de estaiamento é formado por *"estais"* que ligam o tabuleiro ao mastro. As tipologias estruturais das pontes estaiadas se diferenciam por causa da diversa disposição das estais ao longo do elemento de sustentação vertical. O *"estai"* é o principal elemento tracionado de uma ponte estaiada e é responsável para transmitir as cargas dinâmicas oriundas do tabuleiro para o mastro vertical que, por sua vez, as descarrega para o sistema de fundação. Além disso, os estais são formados por três elementos distintos, quais:

- *Elementos de tensionamento* (conjunto de bitolas metálicas que seguram o tabuleiro, ligando-o diretamente ao mastro).

- *Sistema de ancoragem* (garante a justa tensão dos estais na altura do tabuleiro, ajudando os elementos estruturais a trabalhar em conjunto).

- *Sistemas de proteção* (protegem os estais contra as ações climáticas de raios ultravioleta, chuva e futura corrosão. Geralmente são bainhas feitas em material polimérico).

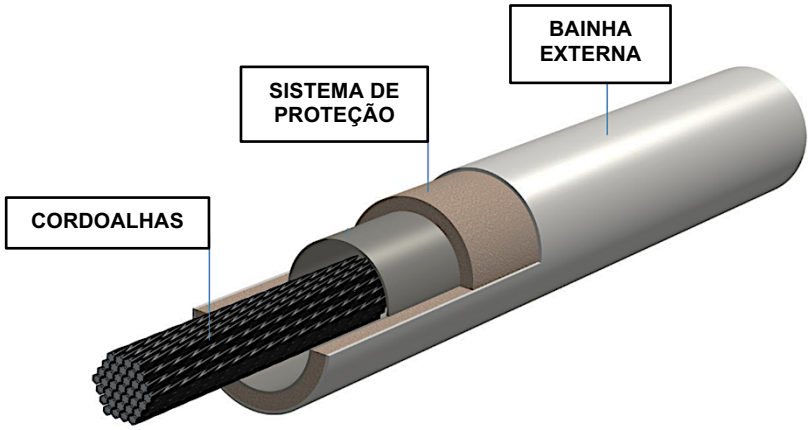


Figura 18 – Partes de um estai. Fonte: adaptada de Fraunhofer - EMI

- *Mastros ou Torres:* São os elementos verticais que, tramite os estais, permitem a sustentação do tabuleiro e garantem o funcionamento correto do sistema. Podem ser constituídos por diferentes materiais como alvenaria em pedra ou concreto armado e aço.

- Tabuleiro: Esse elemento é a parte da ponte onde são distribuídas as cargas dinâmicas resultantes da passagem de carros, caminhões, pedestres, etc. O tabuleiro pode ser constituído por concreto armado, protendido, aço ou sistema misto (aço e concreto armado), podendo adquirir diversas geometrias e formas. As seções transversais dos primeiros tabuleiros de concreto armado eram excessivamente pesadas e custosas, sendo que a evolução do concreto protendido viabilizou a construção de tabuleiros mais esbeltos.

Entre as principais tipologias de pontes estaiadas, existem dois tipos básicos.

O tipo *"Harpa"* é caracterizado por possuir cabos ancorados ao mastro, de modo que a altura do ponto de fixação do cabo seja proporcional à distância entre o próprio mastro e o ponto de fixação deste cabo no tabuleiro, conforme figura a seguir. Essa tipologia se destaca por apresentar uma distribuição uniforme dos estais ao longo de todo o comprimento do mastro, fazendo com que esses elementos tensionados possuam a mesma inclinação, conferindo simetria e ordem à OAE.

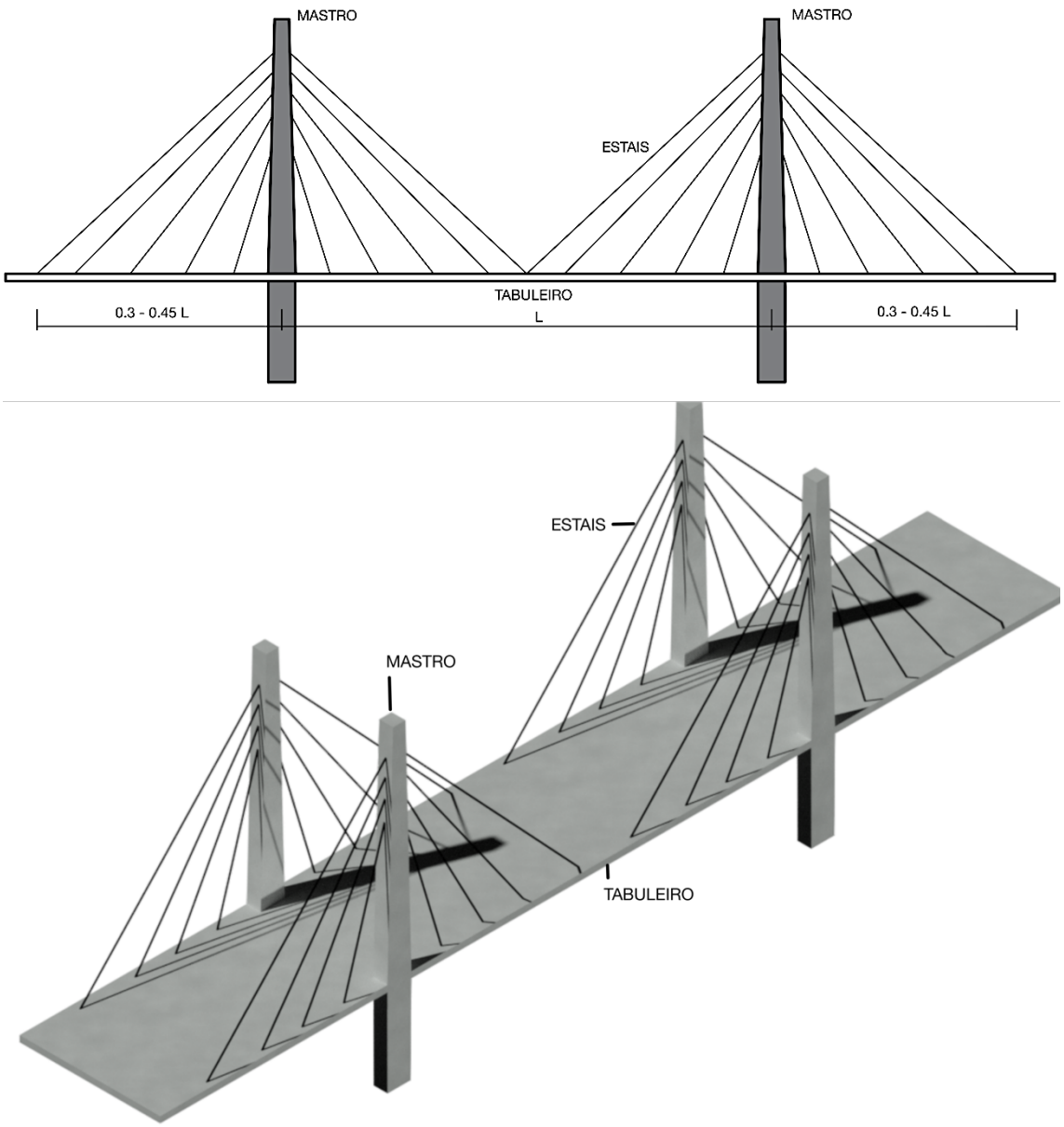


Figura 19 - Ponte estaiada tipo harpa.



Figura 20 - Viaduto em “harpa” de Millau, Norman Foster, França. Fonte: Luciana Reis



Figura 21 - Ponte Estaiada em “harpa” Octávio Frias de Oliveira sobre o Rio Pinheiros em São Paulo, SP. Fonte: Encontra Brookin

O tipo *"Leque"* é caracterizado por conglomerar e agrupar os cabos tracionados na parte superior do mastro e, concentrados neste ponto, os estais são direcionados para atingir o ponto de ligação com o tabuleiro da OAE. Este tipo de sistema apresenta certos problemas no detalhamento da região pontual de concentração dos estais no mastro, enquanto as ancoragens exigem um certo espaço físico para inserção dos mesmos.

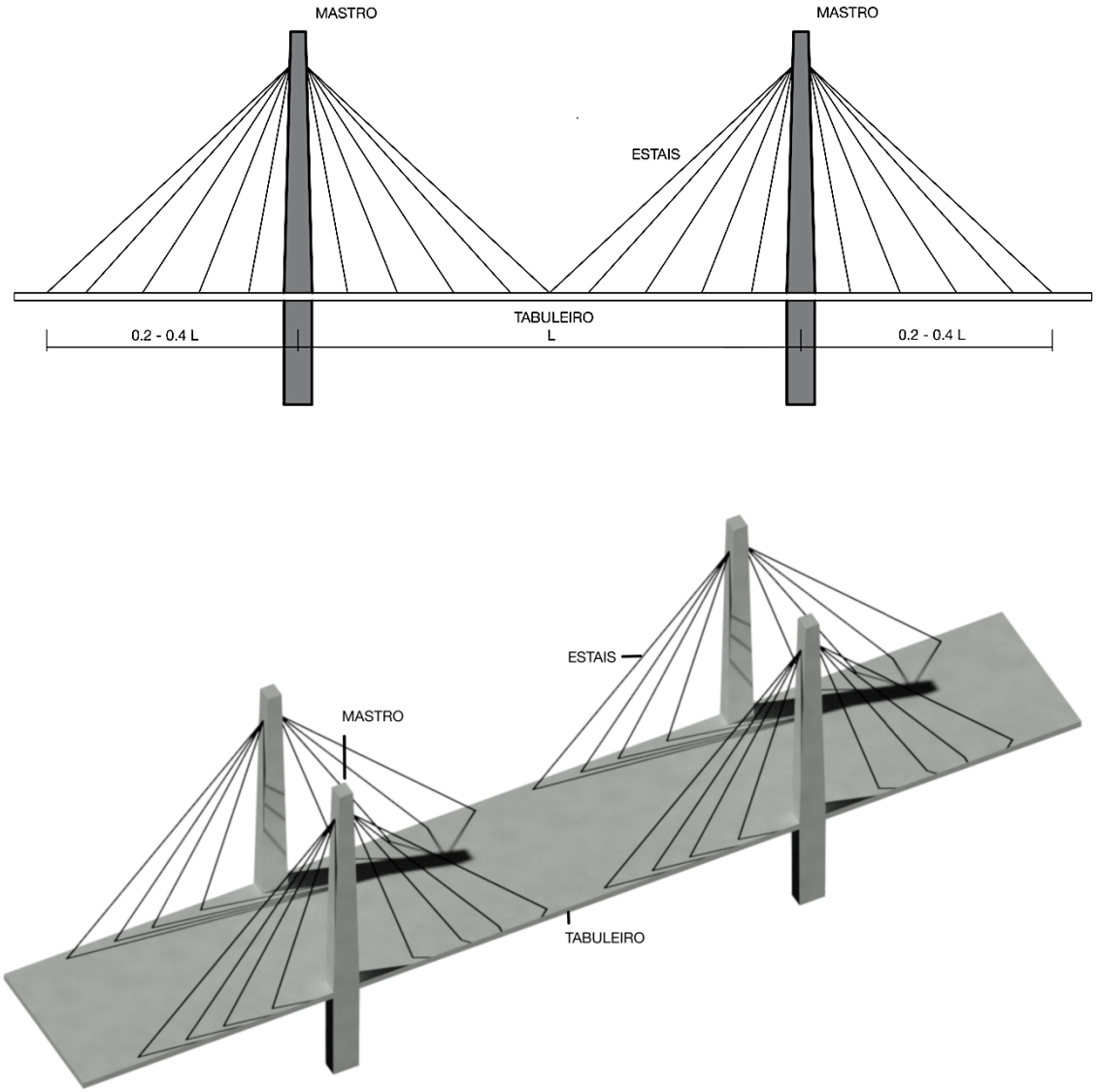


Figura 22 - Fonte estaiada tipo leque.



Figura 23 - Ponte Ed Hendler (Pasco-Kennewick), Estados Unidos. Fonte: Patrick S. O'Donnell



Figura 24 – Ponte da Passagem, Vitória, Espírito Santo. Fonte: Prefeitura de Vitória

III. Pontes pênseis. Tipologias.

O avanço tecnológico dos materiais de alta resistência, em particular modo o aço, determinou a realização de grandes obras de engenharia que utilizam cabos suspensos para transmissão de elevadas forças de tração e vencimento de grandes vãos[8]. Os cabos são utilizados em vários tipos de estruturas, a partir das pontes e viadutos pênseis e dos teleféricos, representando os principais elementos de sustentação juntamente às torres e mastros verticais.

O elemento estrutural de cabo é constituído por uma barra linear flexível cujo comprimento é demasiadamente mais expressivo em relação à própria seção, apresentando apenas rigidez às solicitações de tração. Caso receba eventuais esforços de compressão e flexão, se deforma geometricamente e perde a sua função estrutural característica. As formas adquiridas pelos cabos metálicos variam a partir do carregamento que neles atua, determinando um comportamento pouco estável quando sujeitos às variações bruscas no carregamento. A tipologia das estruturas suspensas ou pênseis é, portanto, caracterizada por ter cabos metálicos exercendo a função principal de suporte, assumindo uma morfologia devida aos pontos de ancoragem e aos pontos intermédios.

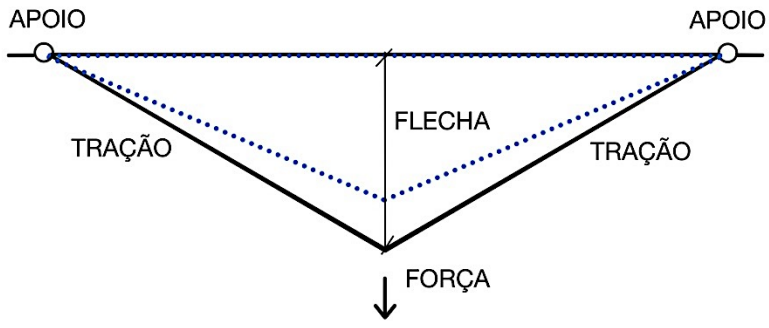


Figura 25 - Comportamento de um cabo com carga concentrada no ponto médio.

A tipologia de ponte pênsil é utilizada para vencer vãos maiores, pois aproveita ao máximo o mecanismo de resistência axial dos elementos.

[8] Birnstiel, C., Analysis and Design of Cable Structures, Computer and Structures, Vol.2, 1972.

O tabuleiro é sustentado por cabos que transferem verticalmente o peso gerado pelo carregamento da infraestrutura para um par principal de cabos parabólicos que, por sua vez, o transferem para as torres ou mastros.



Figura 26 – A. Golden Gate Bridge, São Francisco, EUA. B. Ponte de Brooklin, Nova York, EUA. Fonte: adaptada de Giovanni Carrieri

Os dois exemplos mais notórios de pontes pênseis são representados pela Golden Gate Bridge em São Francisco, Estados Unidos, e a Ponte de Brooklin localizada em Nova York. Os engenheiros responsáveis pelas obras, respectivamente Joseph Strauss e John August Roebling, revolucionaram o

conceito de ousadia estrutural, desafiando as leis da física por meio da tecnologia dos cabos de aço.

Roebling projetou essa OAE de maneira tal que o vão central fosse sustentado completamente pelos estais parabólicos e, os trechos próximos aos pilares monumentais, por cabos protendidos. Sua construção, representou o desenvolvimento da cidade de Nova York, inspirando a construção de arranha-céus que, a partir do século XX, mudaram o “skyline” de Manhattan, Nova York.



Figura 27 – Vista do mastro da ponte Brooklin, Nova York. Fonte: adaptada de Tommaso Cimarelli

No Brasil, a norma vigente que regula o utilizo de cabos de aço na construção civil é a ABNT NBR ISO 2408:2019, onde são especificadas as

características do elemento estrutural, dimensões permitidas e as cargas típicas de ruptura, entre outras.

IV. Pontes e viadutos em viga. Tipologias.

As pontes e viadutos que utilizam um sistema estrutural em viga, são constituídos por trechos de vigas longitudinais e transversais apoiados em travessas de pilares, podendo resultar em modelos isostáticos (biapoiados) ou hiperestáticos. Atualmente, essa tipologia do sistema estrutural é a mais amplamente utilizada na construção de Obras de Arte Especiais e resulta economicamente mais vantajosa do que uma ponte ou viaduto em laje.

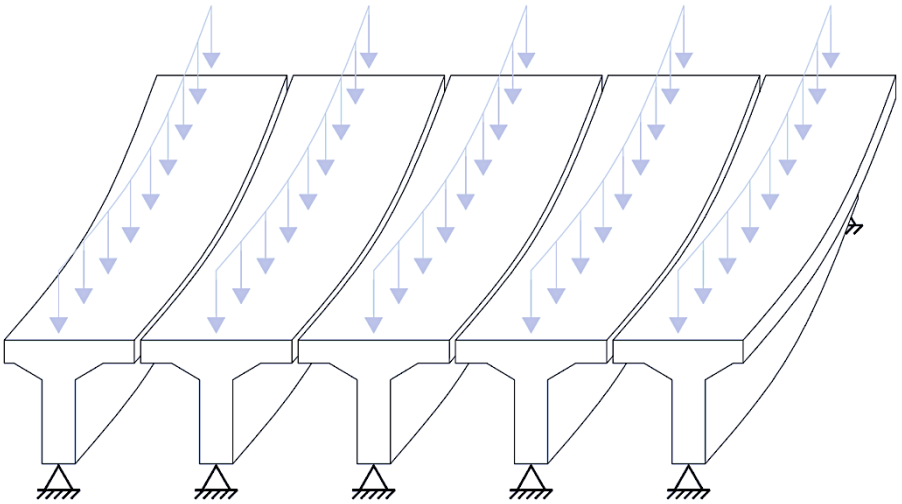
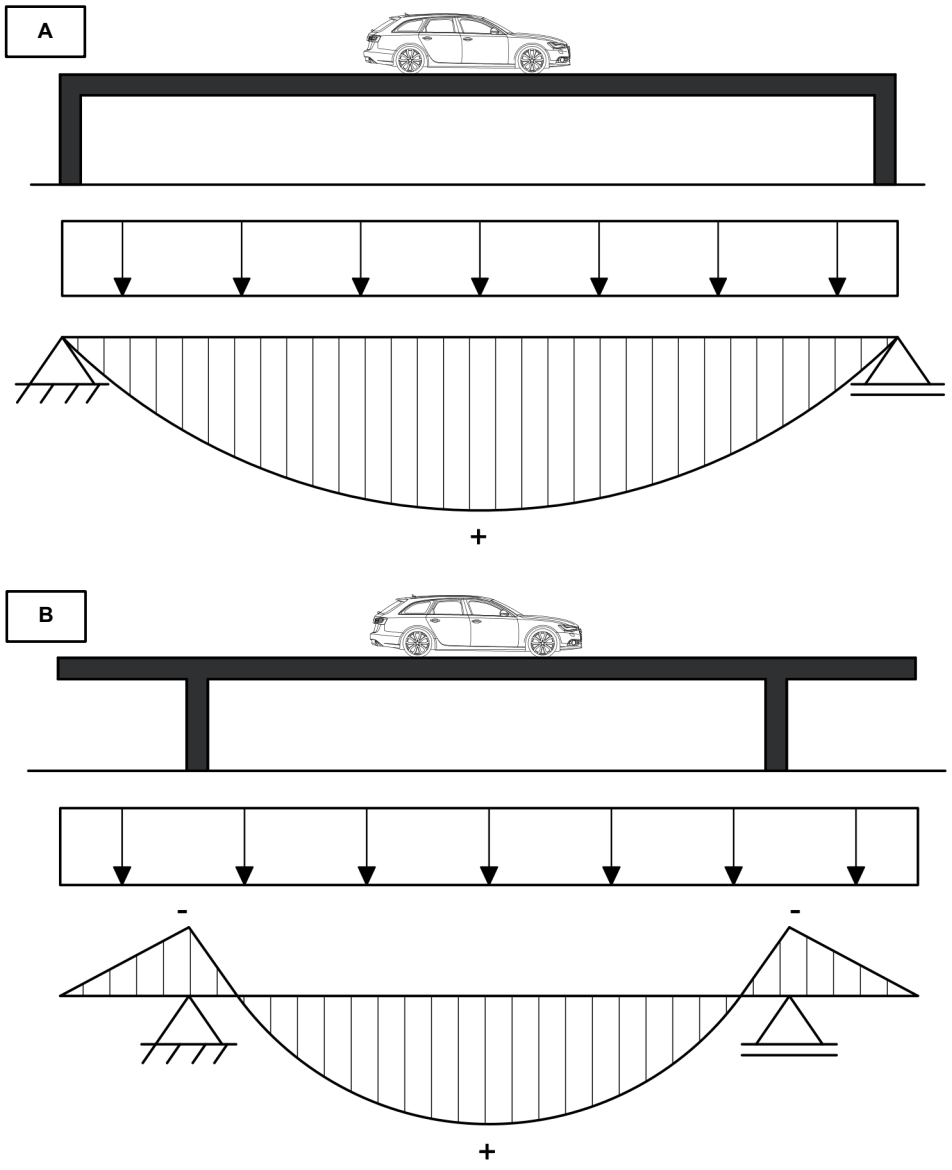


Figura 28 - Longarinas carregadas constituindo o tabuleiro da ponte.

Em geral, em pontes com vãos relativamente pequenos entre 12 e 18 metros, essa tipologia estrutural é a mais competitiva do ponto de vista executivo e financeiro. Os elementos estruturais típicos que compõem as OAE's em viga e laje, serão descritos no próximo subcapitulo do livro.

As tipologias das pontes que utilizam as vigas longarinas bi-apoiadas são as mais largamente utilizadas para construção da infraestrutura rodoviária, tanto no Brasil quanto no exterior. As obras que utilizam esse arranjo estrutural podem ser concebidas com as extremidades em balanço ou não, tendo diferentes comportamentos em relação ao momento fletor máximo. Caso seja utilizado o modelo estrutural com balanços (nas extremidades), o vão principal

será reduzido, proporcionando um menor momento positivo no meio da infraestrutura.



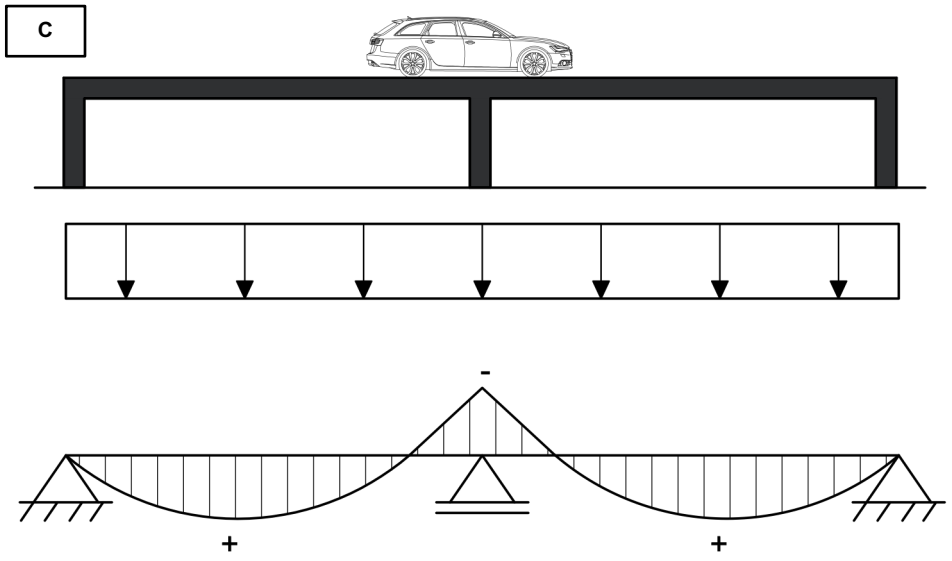
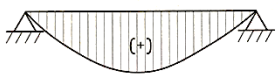
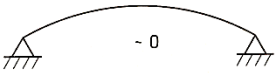
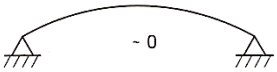
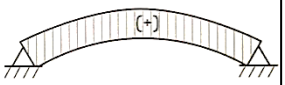
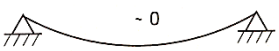
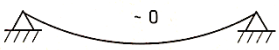
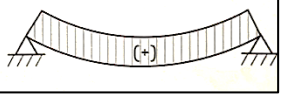


Figura 29 – A. Esquema de ponte em viga biapoiada (isostática) sem balanços. B. Esquema de ponte em viga biapoiada (isostática) com balanços. C. Esquema de ponte em viga hiperestática.

As Obras de Arte Especiais com sistema estrutural típico em viga, caracterizadas pelo esforço predominante de flexão, precisam ter uma inercia expressiva para vencer os vãos previstos pelo projeto. Como mostrado pela figura 30, os outros arranjos estruturais de pontes e viadutos em arco, com sistema estaiado e pênsil, são principalmente solicitados pelas tensões normais de compressão e tração.

Sistema estrutural	Solicitação dominante	Diagrama de momentos fletores	Diagrama de solicitações cortantes	Diagrama de solicitações normais
Viga	Flexão			
Arco	Compressão			
Pênsil	Tração			

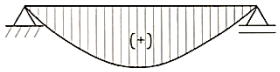
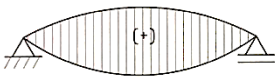
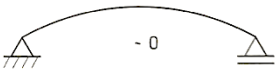
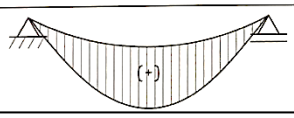
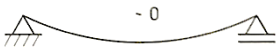
Sistema estrutural	Solicitação dominante	Diagrama de momentos fletores	Diagrama de solicitações cortantes	Diagrama de solicitações normais
Viga retilínea	Flexão			
Viga arqueada	Flexão			
Viga côncava	Flexão			

Figura 30 – Acima, sistemas estruturais de OAE's e esforços solicitantes, abaixo, diagramas de momento fletor, cortante e esforços normais em diferentes sistemas de viga.

1.2 Elementos estruturais de pontes e viadutos (em viga e laje)

Os elementos estruturais que compõem o sistema resistente de uma ponte, se articulam em três grupos principais denominados de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

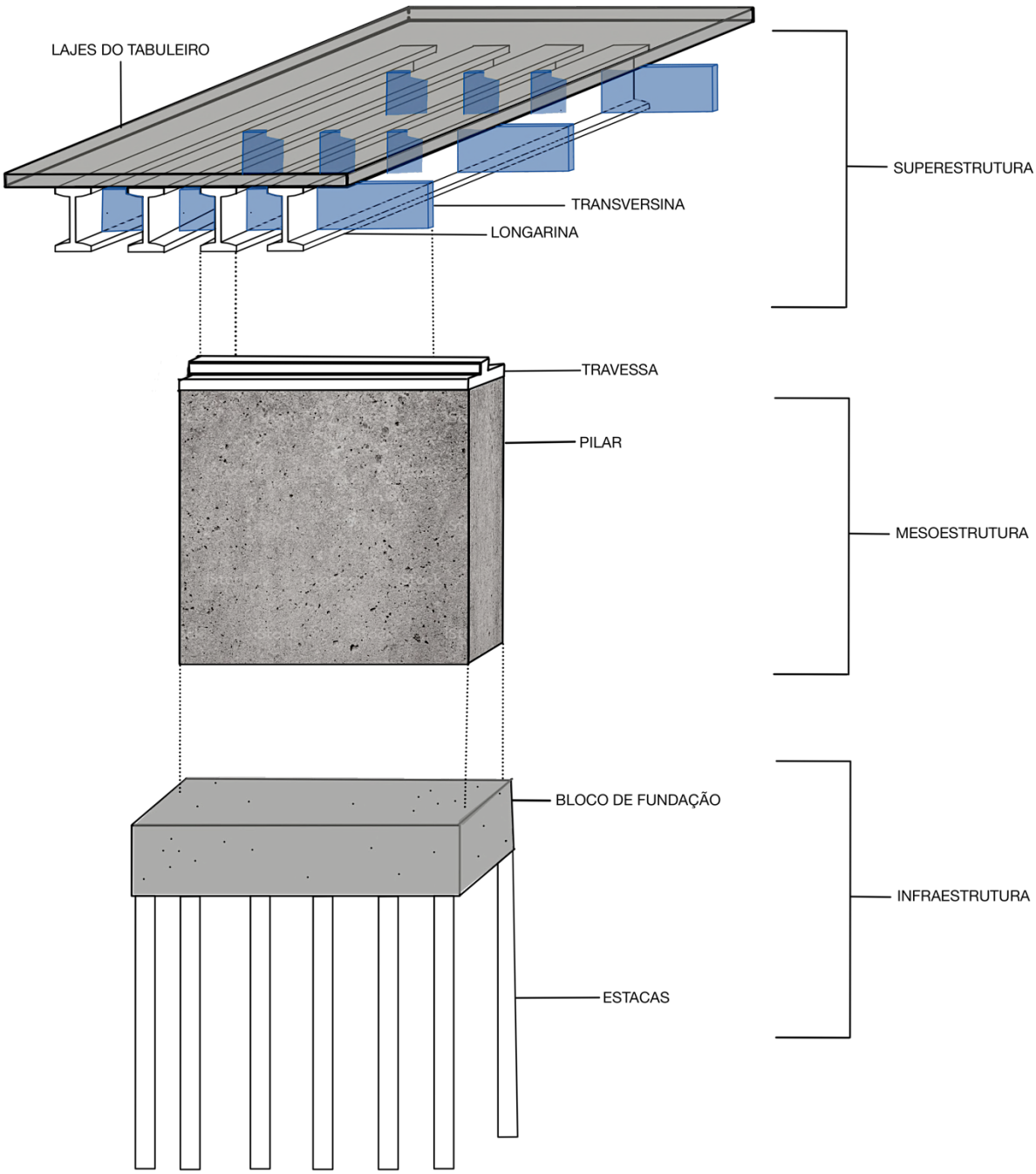


Figura 31 – Superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura de pontes e viadutos.

Podemos subdividir os elementos estruturais das OAE's em quatro macros categorias, sendo elas:

1. **Elementos estruturais principais**: representados pela superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Por sua vez, cada um desses sistemas, possui diferentes elementos estruturais, que serão abordados no próximo subcapítulo.

2. **Elementos estruturais de extremidade**: articulados essencialmente em cortinas de contenção e alas.

3. **Elementos e sistemas de apoio**: constituídos por concreto armado, aço ou materiais elastoméricos.

4. **Elementos de proteção e segurança**: representados por guarda-rodas, barreiras em concreto armado, defensas metálicas (*guard-rail*) e guarda-corpos.

1.2.1 Superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

A superestrutura de uma ponte ou viaduto, é composta fundamentalmente por elementos estruturais de vigas longarinas, transversinas, travessas e lajes, que formam o sistema do tabuleiro. A fim de descrever cada elemento estrutural de uma forma analítica e gráfica, serão utilizados desenhos autorais.

A superestrutura de uma Obra de Arte Especial pode ser constituída por um sistema de lajes ou de vigas.

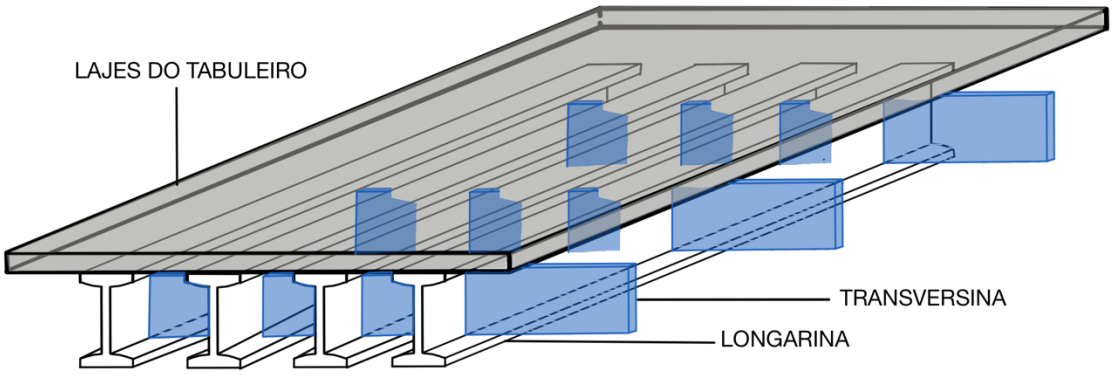


Figura 32 - Superestrutura esquemática de uma ponte.

I. Lajes do tabuleiro. Tipologias.

As lajes do tabuleiro são consideradas como os elementos estruturais planos e são as principais responsáveis para distribuir os carregamentos permanentes e variáveis aos elementos estruturais de sustentação vertical (pilares), podendo resultar em diferentes formas e arranjos geométricos. Com respaldo na ABNT NBR 7187:2003, as lajes maciças para tráfego rodoviário

devem possuir uma espessura e ≥ 15cm, enquanto as medidas das nervuras (bw) devem ser ≥ 12cm. Entre as principais tipologias de lajes utilizadas para Obras de Arte Especiais de pontes e viadutos, as mais utilizadas são as alveolares protendidas e as nervuradas, enquanto proporcionam uma maior leveza e economia de material.

- **Seção maciça de concreto armado com e sem balanços laterais** (asas). Esse elemento de laje monolítica, devido à expressividade do peso próprio, proporciona uma menor economia do ponto de vista do consumo de material respeito à um sistema alveolar ou celular. A figura abaixo, mostra as seções típicas utilizadas para pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

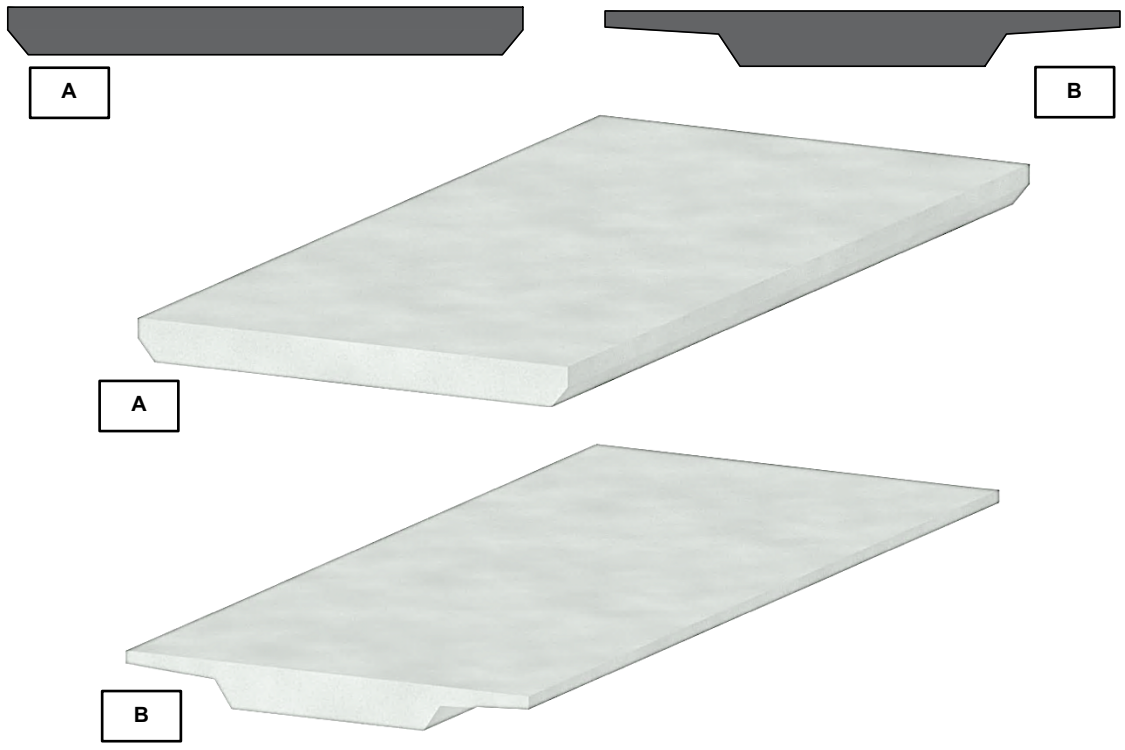


Figura 33 – Lajes maciças sem e com balanços.

- **Seção em laje maciça de concreto armado moldada em loco, sobre vigotas pré-moldadas**. Os elementos de vigotas pré-moldadas permitem dispensar o sistema se escoramento, acelerando a fase de execução da obra, tornando-se mais econômico.

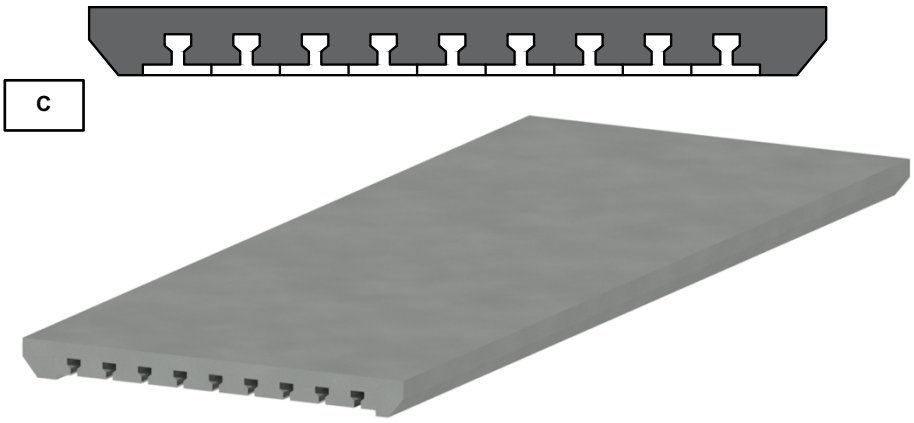


Figura 34 – Laje maciça de concreto armado sobre vigotas pré-moldadas.

- **Seção alveolar em concreto protendido**. As lajes alveolares, executadas através do sistema de protensão com pós-tração, possuem um momento de inércia maior respeito às maciças, menor peso próprio e proporcionam uma economia considerável em termos de consumo de concreto. A ABNT NBR 7187:2003 estabelece que nas lajes ocas, alveolares ou com dutos de seção retangular, deve ser admitida para a mesa inferior uma espessura mínima de 8 cm.

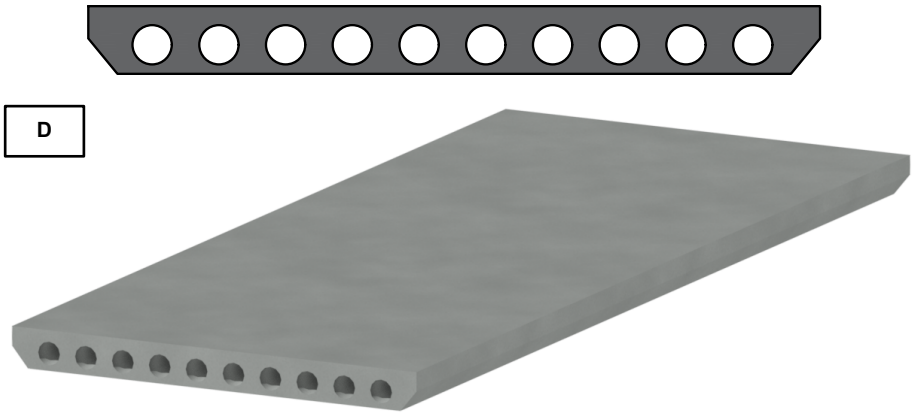


Figura 35 – Laje alveolar protendida.

- **Seção em laje nervurada de concreto armado ou protendido.** As lajes nervuradas possuem um comportamento predominantemente unidirecional, parecido com as vigas longarinas. A imagem abaixo mostra duas seções típicas de lajes nervuradas que corroboram a visão geral do caráter estrutural desse elemento. De acordo com a NBR 7187:2003 as lajes nervuradas devem observar espessura

mínima da mesa hf ≥ 10 centímetros e espessura da alma das nervuras ≥ 12 centímetros.

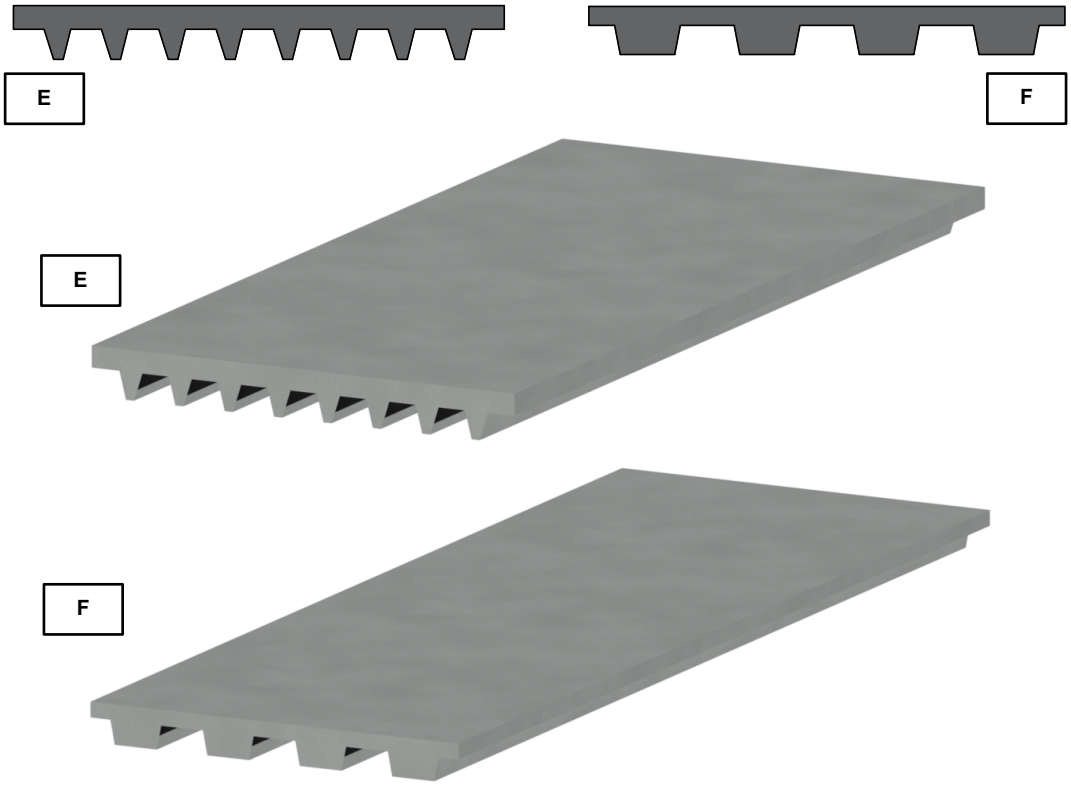


Figura 36 – Lajes nervuradas, tipologias.

II. Longarinas. Tipologias.

As longarinas são consideradas como os elementos de vigamento horizontal, responsáveis para vencer o vão livre da ponte e para receber o carregamento (tanto estático quanto dinâmico) oriundo das lajes superiores. Esses elementos estruturais podem ser constituídos por concreto armado, protendido e aço sendo que, as geometrias típicas e as dimensões das longarinas, variam de acordo com o material empregado e o sistema construtivo (moldado em loco ou pré-moldado). De acordo com a ABNT NBR 7187:2003, as espessuras das vigas (bw) concretadas em loco precisam ser maiores ou iguais a 20 centímetros, enquanto as das longarinas pré-moldadas (com controle de qualidade), ≥ 12cm. Os principais esquemas estruturais típicos das seções transversais das longarinas moldadas no local e pré-moldadas, são ilustrados nas figuras a seguir.

- **Seção transversal de longarinas de concreto armado e protendido *moldado em loco*.** A seguir, a ilustração das seções típicas das vigas.

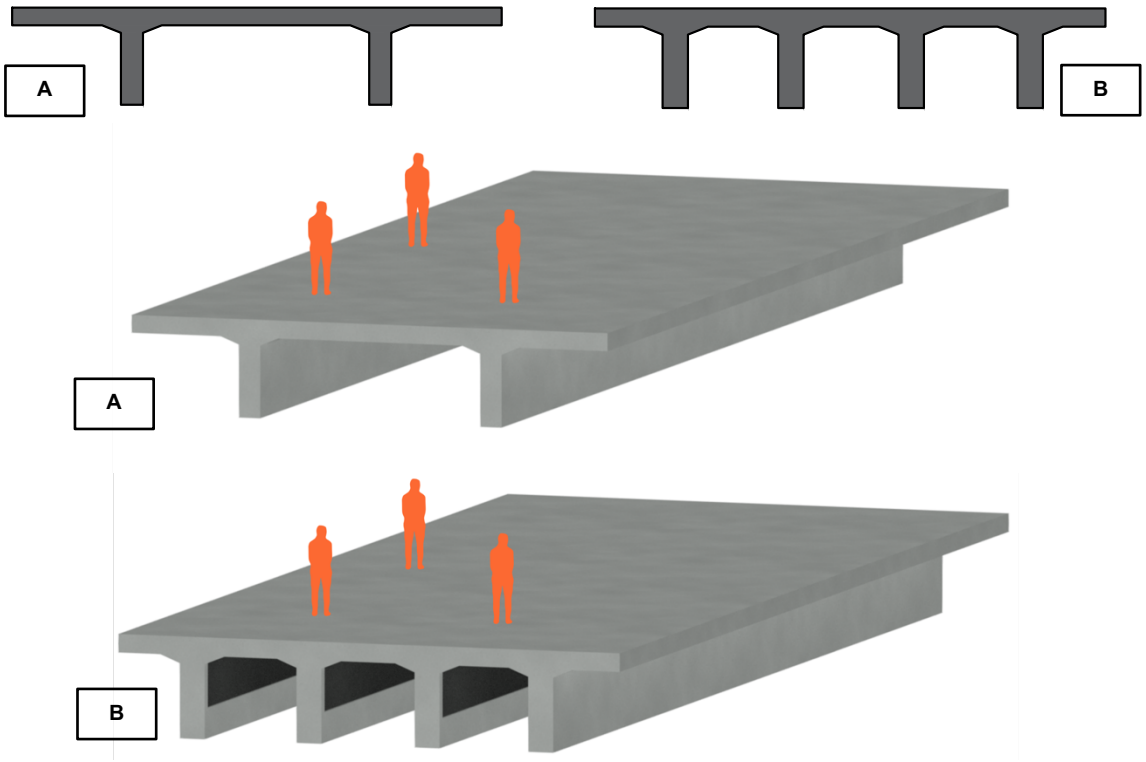


Figura 37 – A. Duas longarinas moldadas em loco. B. Vigas múltiplas moldadas em loco.

- **Seção transversal de longarinas *pré-moldadas* em concreto armado ou protendido e metálicas.**

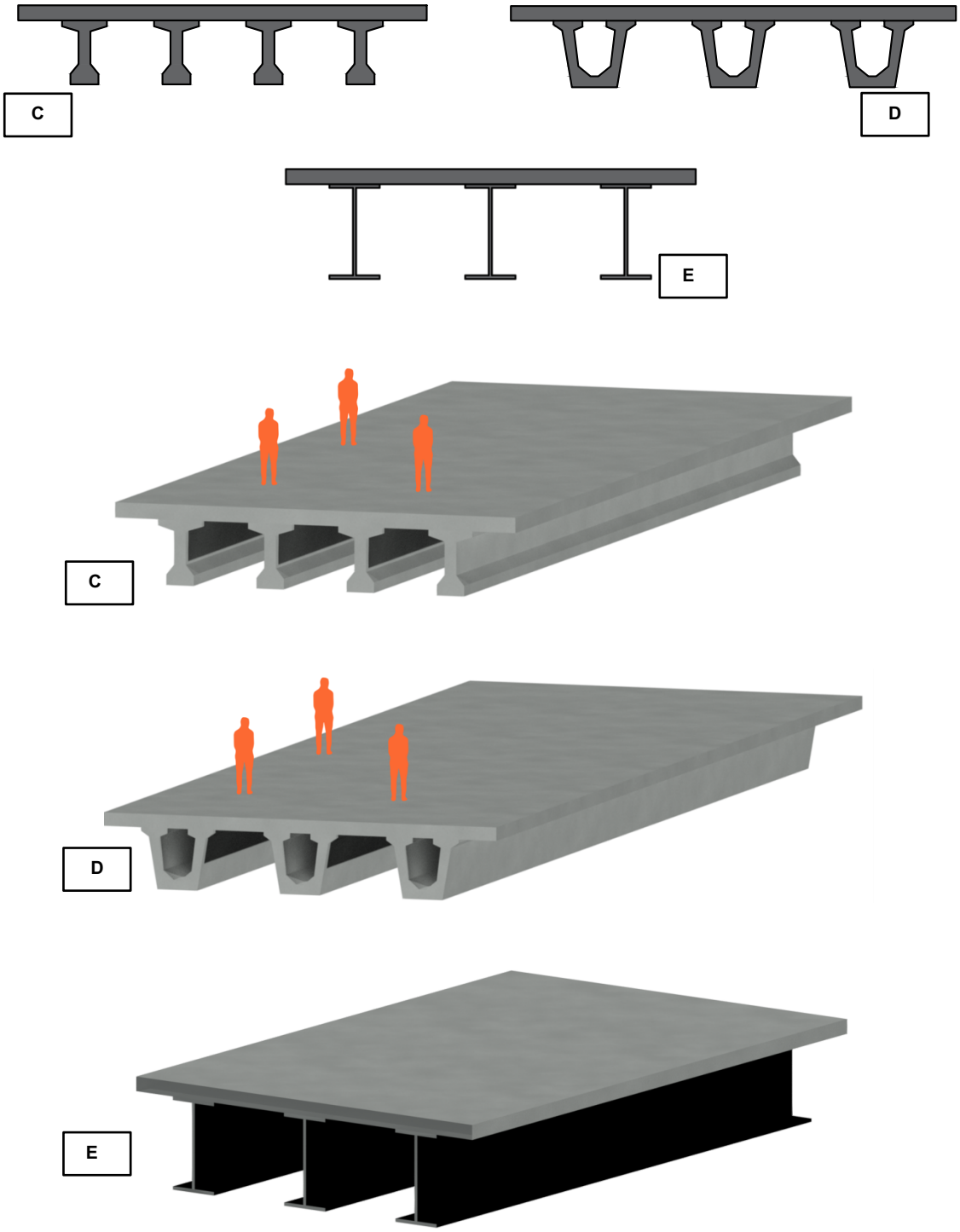


Figura 38 – C. Longarinas tipo “I” pré-moldadas. D. Longarinas “calha” pré-moldada. E. Longarinas metálicas tipo “I” shape.

- **Seção transversal de vigas *pré-moldadas* em concreto armado tipo GERBER.**

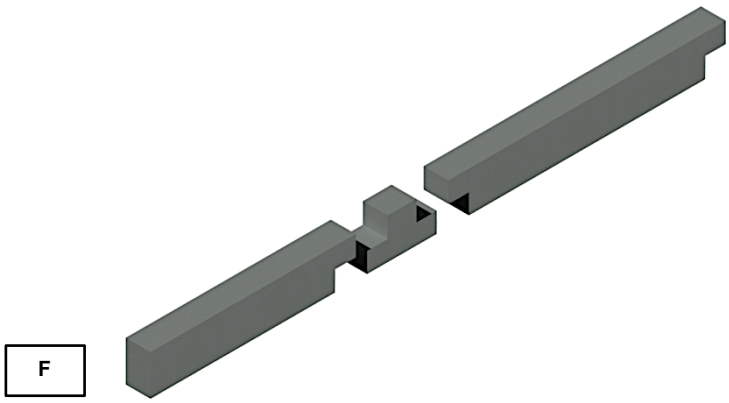


Figura 39 – Viga pré-moldada GERBER.

- **Seção celular ou alveolar**, também chamada de viga caixão, em concreto armado ou protendido e metálica. Essa tipologia de seção, da mesma forma de todas as seções das longarinas, apresenta um comportamento estrutural prevalentemente unidirecional, devido à alta inercia dos elementos.

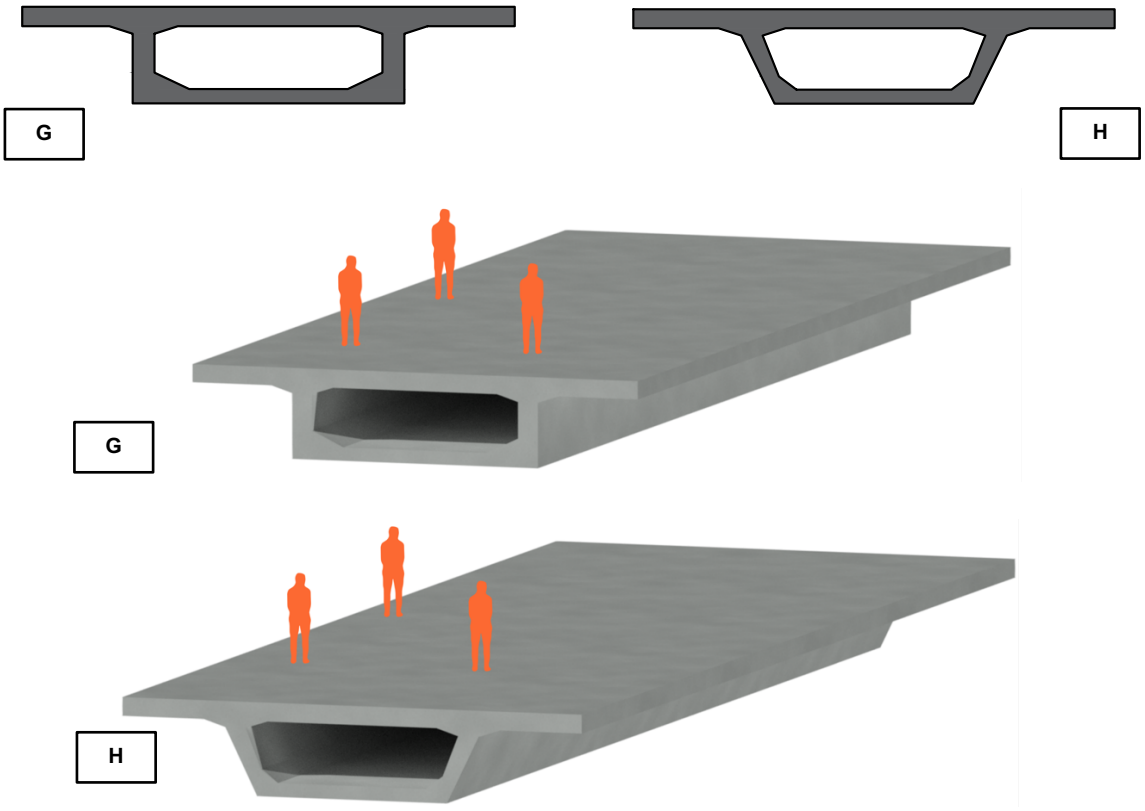


Figura 40 – G. Viga “caixão” com paredes verticais. H. Viga “caixão” com paredes verticais inclinadas.

III. Transversinas.

As vigas transversinas, ou vigas secundarias, são os elementos estruturais transversais às longarinas que proporcionam o enrijecimento do sistema de sustentação do tabuleiro e auxiliam a redistribuição das tensões geradas pelos carregamentos dinâmicos do tráfego rodoviário aos apoios verticais. Geralmente, as transversinas possuem seções transversais menos expressivas que as vigas longitudinais, formando um sistema de “grelha” capaz de alcançar uma alta rigidez a torção e flexo-torção.

Os elementos de vigas secundárias (transversinas) são dimensionados para impedir eventuais deformações nas seções transversais da superestrutura, permitindo que o tabuleiro desempenhe adequadamente o próprio serviço.

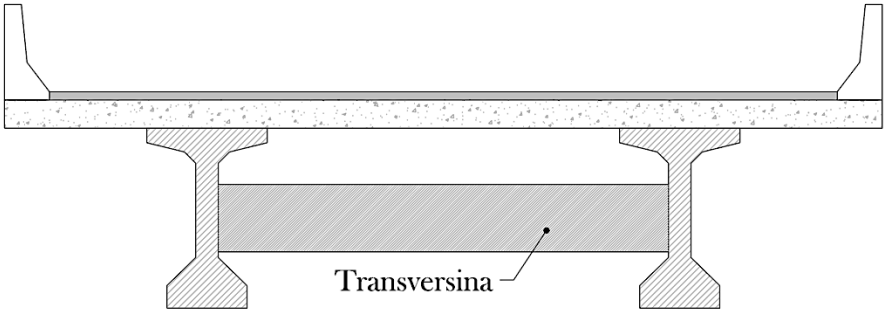


Figura 41 - Viga transversina enrijecendo o sistema da superestrutura. Fonte: adaptado de Cavalcante, 2019

IV. *Travessas*.

As travessas de pontes e viadutos representam o último elemento estrutural constituinte a superestrutura. Geralmente, as travessas estão localizadas sobre os elementos verticais de sustentação, os pilares, e são consideradas elementos estruturais horizontais de apoio para as vigas longarinas.

A *mesoestrutura* de uma ponte ou viaduto, é representada fundamentalmente pelos elementos estruturais de sustentação vertical, chamados de pilares ou mastros, dependendo da tipologia do arranjo estrutural, e pelos apoios, que permitem a conexão com o tabuleiro da superestrutura.

I. *Pilares. Tipologias.*

Desde os primórdios da civilização promovida pelo engenho do homem, os pilares representam muito além do que um elemento estrutural de sustentação. No quinto século. a.C., as colunas gregas, foram criadas com ênfase na busca da proporcionalidade harmônica e, no específico, o estilo dórico foi concebido pela teoria que estabelece as medidas que cada parte do corpo humano deveria ter em relação às outras para atingir a proporcionalidade perfeita[9].

Os pilares são os principais elementos estruturais da mesoestrutura e são responsáveis para a distribuição dos carregamentos oriundos do tabuleiro até ao sistema da infraestrutura (fundações + solo). Nas pontes e viadutos em lajes e vigas, as reações são transmitidas aos pilares através de elementos chamados de aparelhos de apoio. O carregamento ideal de um pilar deve ser axial ao eixo central do elemento e, as solicitações recebidas pela superestrutura devem ser de compressão (axial).

Os elementos de sustentação vertical das Obras de Arte Especiais podem ser classificados a partir do tipo de seção transversal, do material constituinte e do tipo de conexão com o sistema da superestrutura.

i. Classificação de acordo com a seção transversal.

Os pilares das OAE's podem adquirir diferentes formatos a partir de critérios de projeto quais o carregamento a ser sustentado, a plástica determinada pela linguagem arquitetônica (que destaca e caracteriza uma obra de ponte ou viaduto) e o tipo de material, moldado em loco ou pré-moldado. Portanto, as seções típicas dos pilares de pontes e viadutos, variam de acordo com as características do projeto executivo, resultando em:

- Seção *maciça ou oca.*
- Seção variável ou *constante*.

[9] A cabeça é um oitavo de toda a altura; o busto, do púbis ao pescoço, tem três oitavos; três oitavos também é a largura máxima.

- Seção moldada em loco ou pré-moldada.

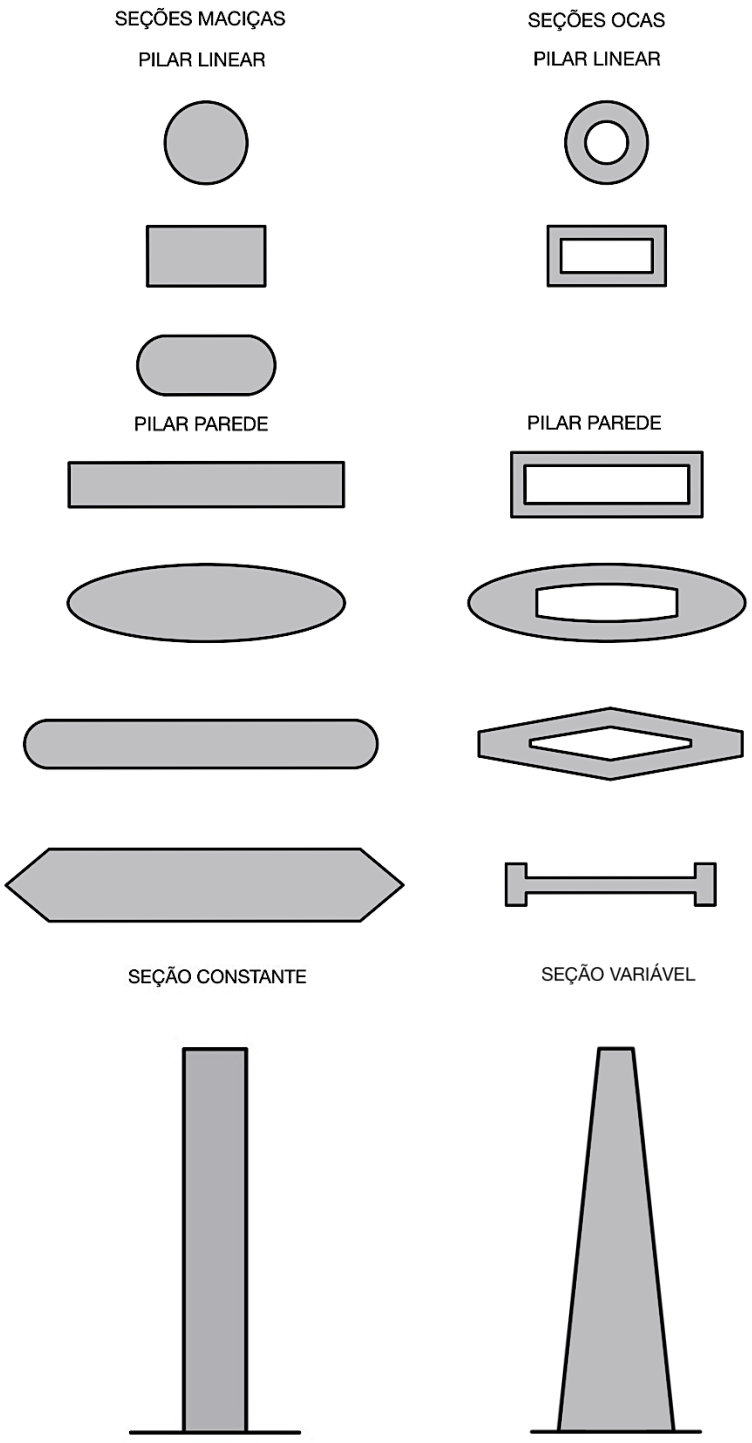


Figura 42 – Tipologias de seções transversais típicas de pilares de pontes e viadutos.

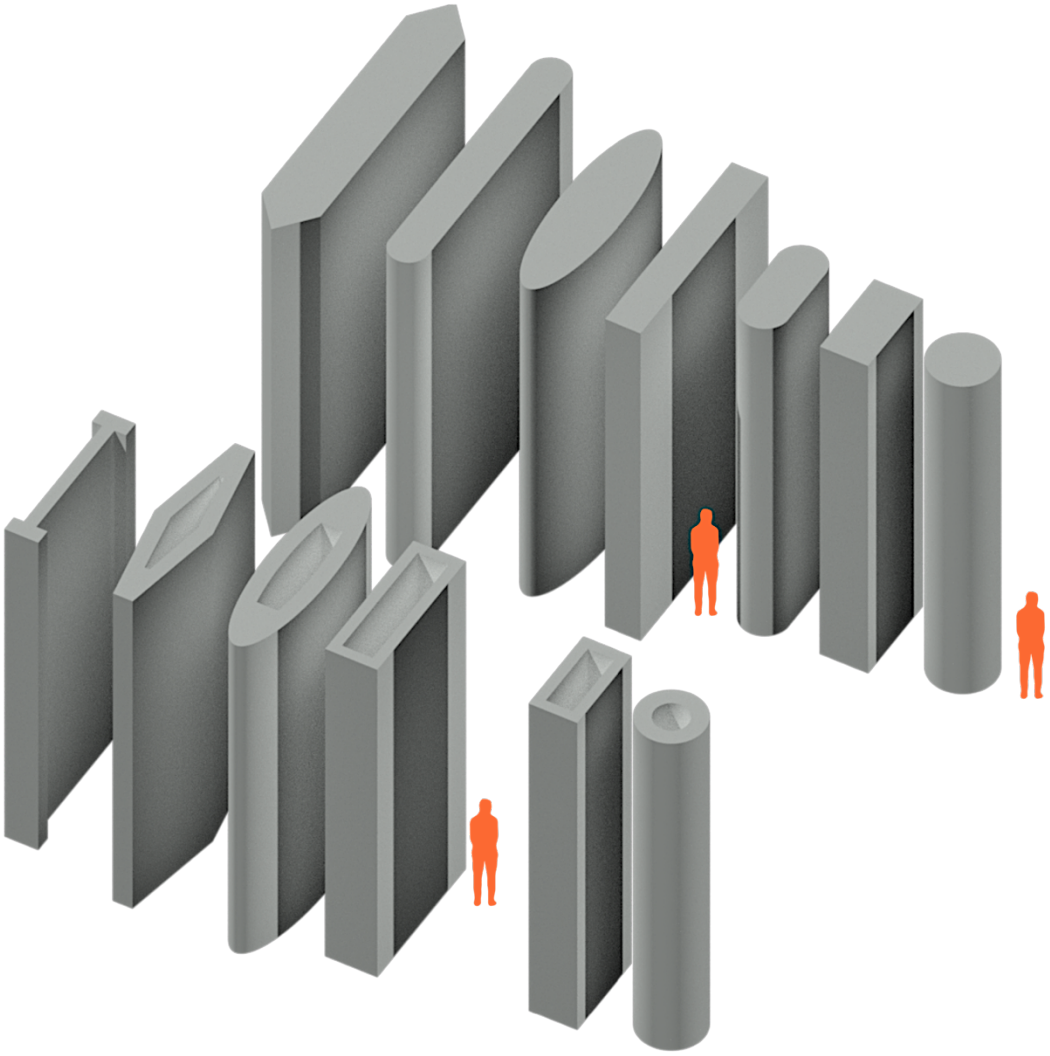


Figura 43 – Tipologias típicas de pilares de pontes e viadutos.

ii. Classificação de acordo com o tipo de conexão com a superestrutura (tabuleiro superior).

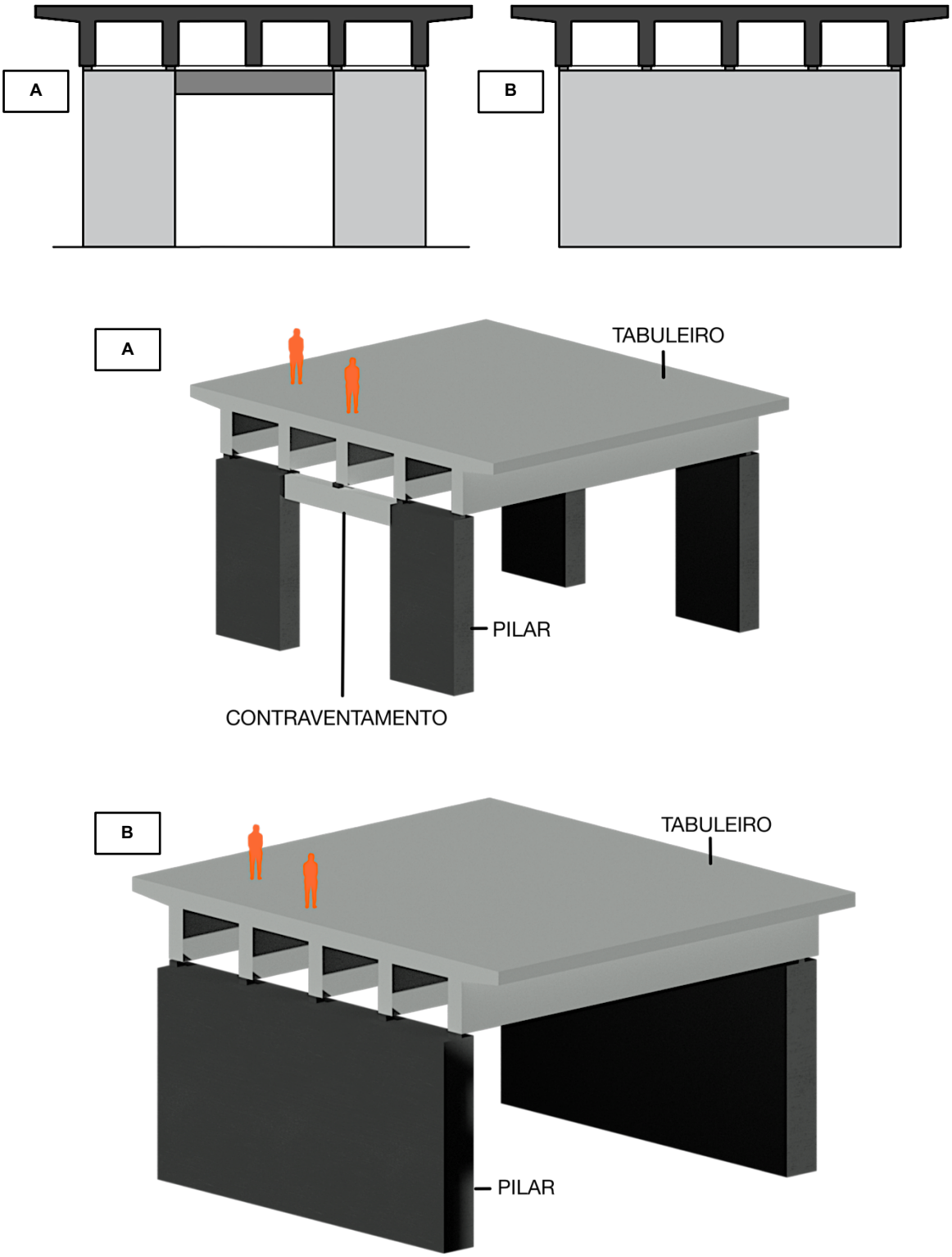


Figura 44 – A. Pilares com contraventamento e tabuleiro apoiado sem uso de travessa. B. Pilar parede (seção maciça ou celular) e tabuleiro apoiado sem uso de travessa.

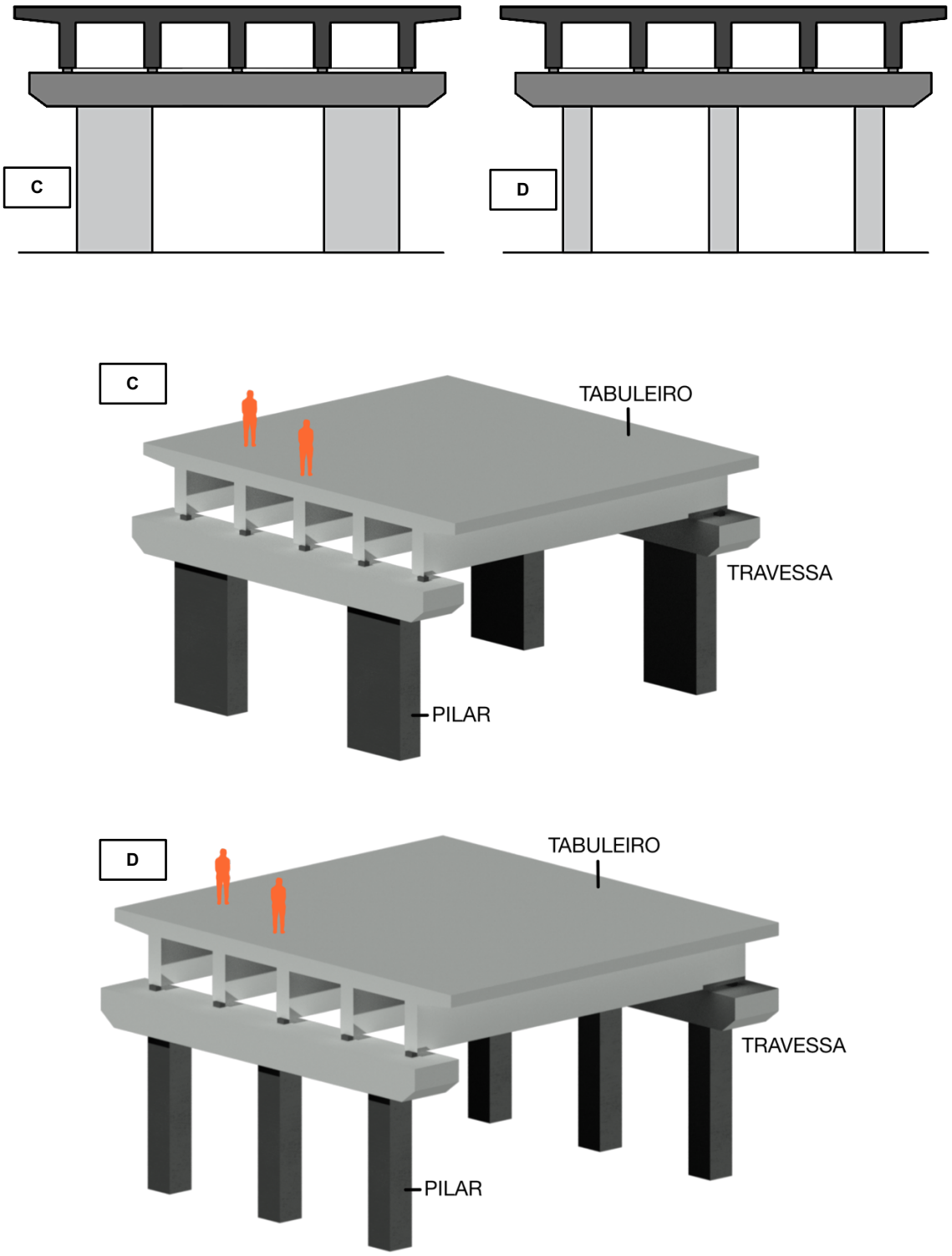


Figura 45 – C. Dois pilares conectados com uso de travessa isostática superior. D. Três pilares conectados com uso de travessa hiperestática superior.

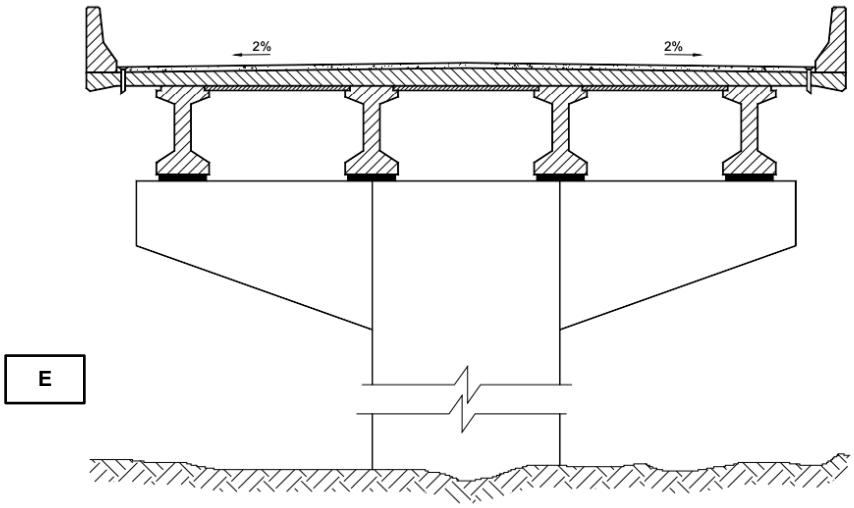


Figura 46 – E. Pilar único com viga-trave de seção variável.

II. *Aparelhos de apoio. Tipologias.*

Os aparelhos de apoio de uma OAE são considerados como as conexões entre a superestrutura e a mesoestrutura de uma ponte ou viaduto, podendo ser constituídos por concreto, aço ou material elastômero.

A superestrutura de uma ponte pode estar simplesmente apoiada na mesoestrutura ou engastada de forma monolítica, caso seja ponte em pórtico.

As principais diferenças entre esses dois tipos de ligação resultam em diversos comportamentos estruturais dos sistemas, solicitados por esforços gerados pelas ações atuantes na estrutura.

No caso de uma OAE em pórtico, os deslocamentos horizontais do vigamento longitudinal não são livres e, portanto, os pilares e as fundações da infraestrutura receberão solicitações expressivas de cisalhamento e flexão. Diferentemente, no sistema de ponte em viga simplesmente apoiada, esses esforços “indesejados” não são transmitidos aos elementos de sustentação vertical, tornando a análise estrutural menos complexa.

Os principais aparelhos de apoio utilizados para essas tipologias de infraestrutura urbana, foram classificados de acordo com o tipo de material empregado.

i. Classificação de acordo com o tipo de material. Tipologias.

- Apoios e articulações em concreto.
- Apoios e articulações metálicas.
- Apoios com material elastômero.

As primeiras articulações em concreto para pontes e viadutos apareceram no final do século XIX e foram implementadas pelo engenheiro alemão Claus Köpcke. Os apoios de concreto são moldados em loco junto à estrutura, podendo salientar quatro modelos:

- Apoio ou articulação *Freyssinet*. Essa articulação é considerada como um apoio fixo que consta na diminuição da própria seção (figura 64) e recebe uma alta concentração de tensões atuantes.

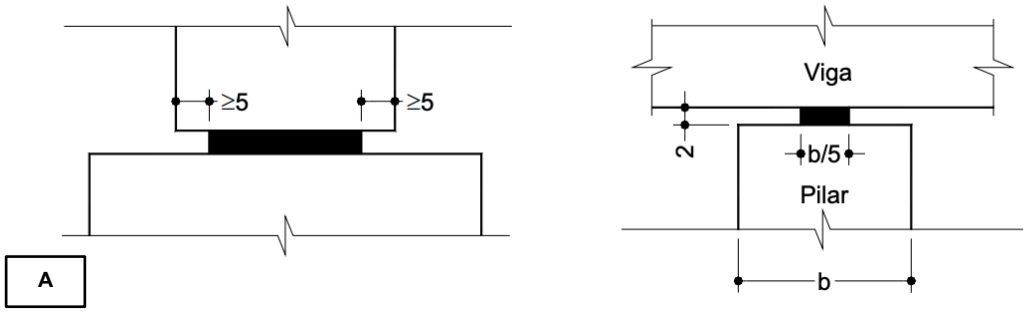


Figura 47 – A. Corte transversal à esquerda e vista longitudinal do apoio tipo Freyssinet, à direita.

- Apoio ou articulação *Mesnager*. É uma articulação fixa e, de forma parecida à Freyssinet, possui uma redução na seção transversal. Essa redução que acontece na parte central do apoio, como mostra a figura a seguir, tem a função de “apenas” proteger a armadura metálica dos agentes atmosféricos (DNIT, 2004)

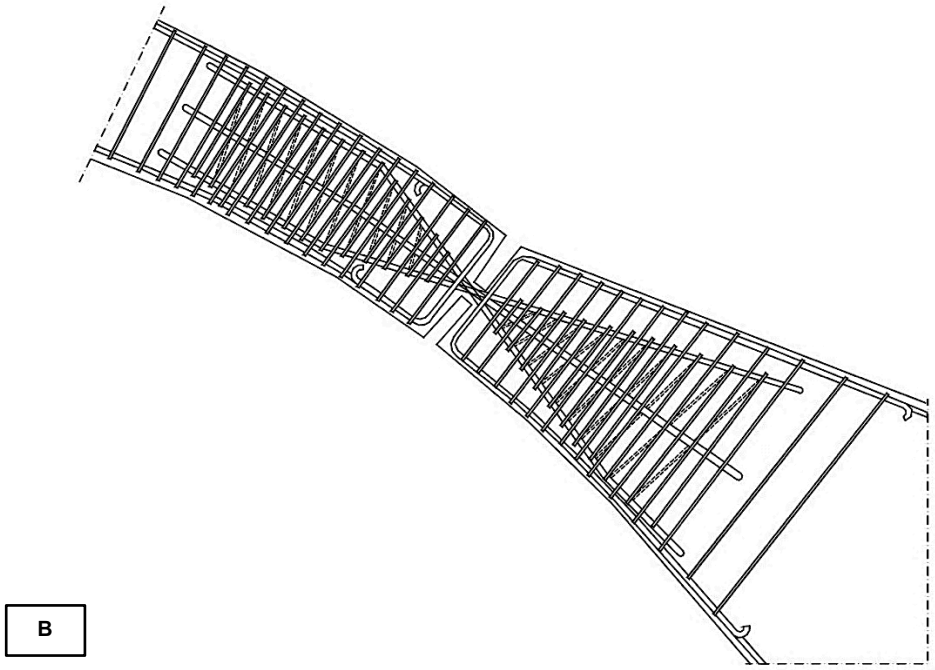


Figura 48 – B. Apoio Mesnager.

- Apoio ou articulação *pendular* em concreto armado. Esse apoio de concreto armado é duplamente articulado no topo e na base, utilizando a própria superfície para garantir a conexão entre a superestrutura e a mesoestrutura.

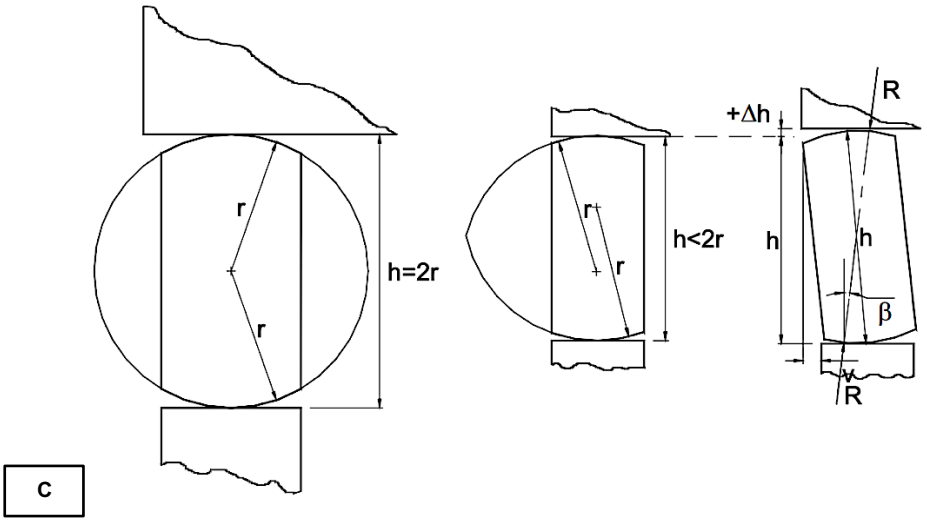


Figura 49 – C. Apoio pendular.

- Apoio de *superfícies cilíndricas.* Esse tipo de articulação, utilizada em ponte e viadutos em arco, contempla duas superfícies de contato curvadas ou cilíndricas, funcionando como um apoio rotulado. Portanto, as superfícies de contato devem possuir um acabamento superficial perfeitamente executado para proporcionar o melhor desempenho desse elemento de contato.

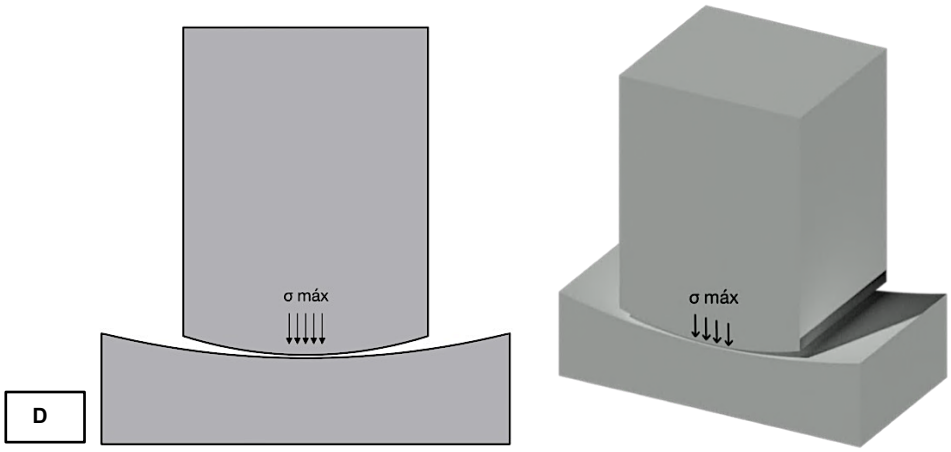


Figura 50 – D. Apoio de superfície cilíndricas em concreto armado.

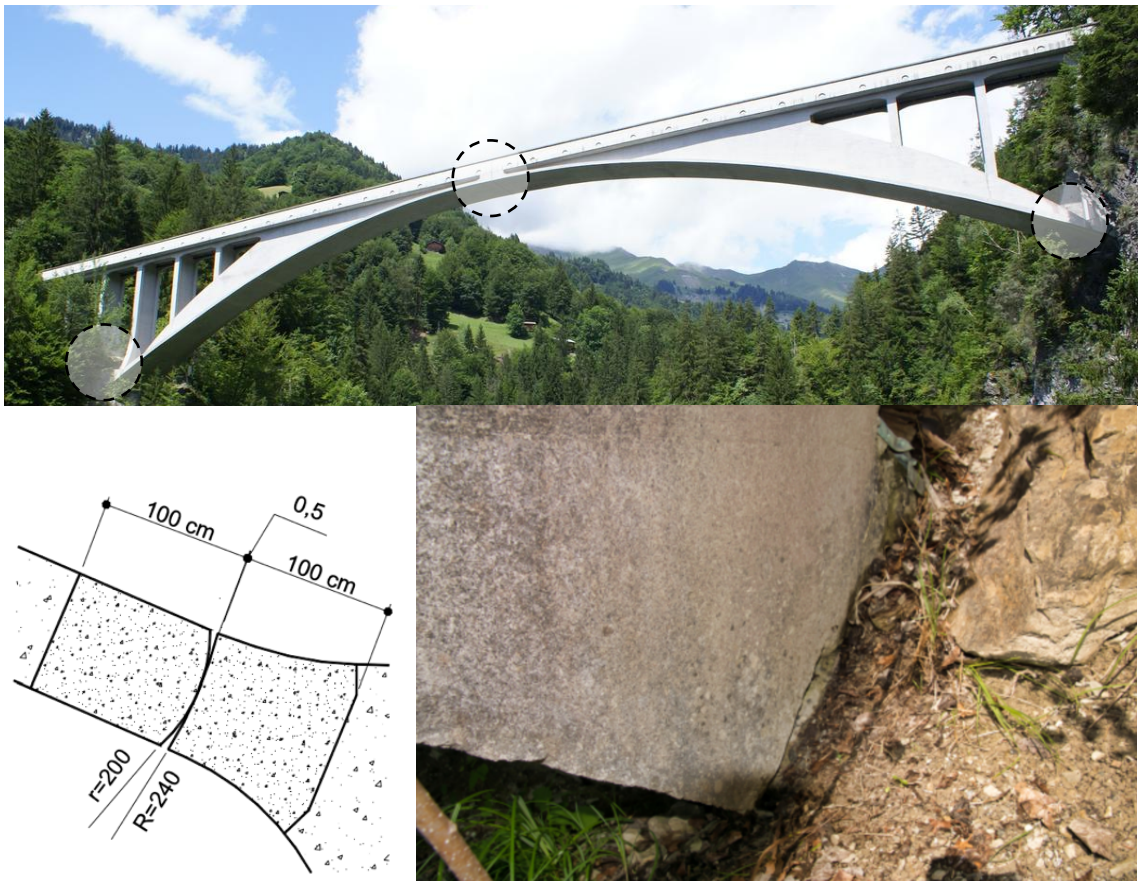


Figura 51 – Ponte triarticulada e detalhes do apoio de superfícies cilíndricas de concreto. Fonte: adaptada de Nicolas Janberg, 2009 e DNIT, 2004



Figura 52 – Apoios de superfície cilíndrica da Ponte Musmeci sobre o rio Basento, Potenza, Itália. Fonte: adaptada de MIBAG, 2018

As articulações metálicas são elementos de apoio largamente empregados para pontes e viadutos, resultando basicamente em apoios de primeiro gênero, que permitem as movimentações de translação e rotação, e apoios de segundo gênero, que proporcionam apenas a rotação, anulando os outros movimentos na estrutura.

- Apoio ou articulação *metálica fixa sem rolo e com rolo metálico*.

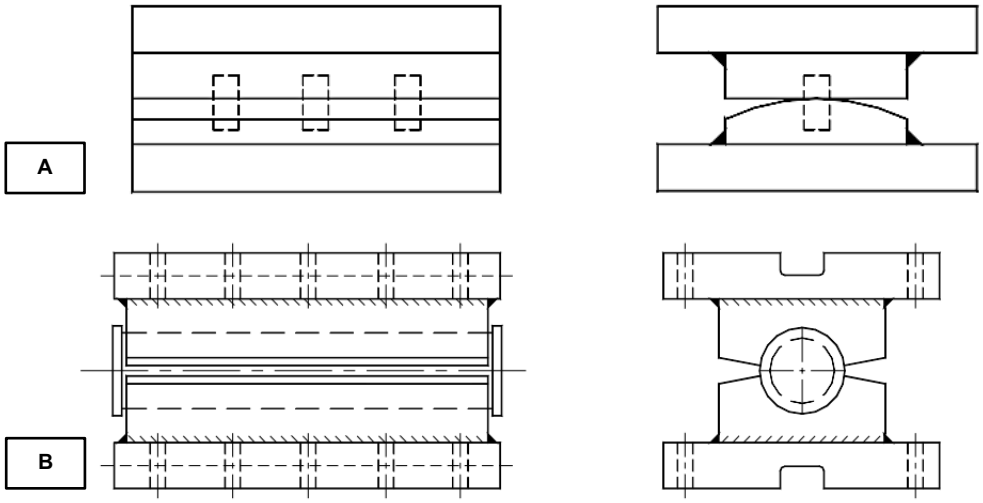


Figura 53 – A. Apoio rotulado fixo sem rolo metálico. B. Apoio fixo com rolo metálico.

- Apoio ou articulação metálica para cargas verticais reversíveis (compressão ou tração).

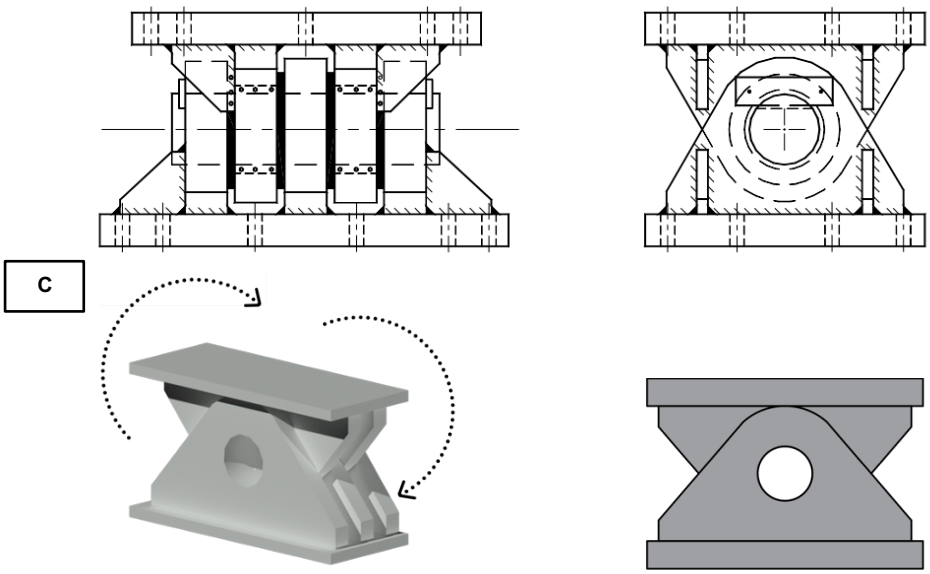


Figura 54 – C. Apoio rotulado metálico para cargas reversíveis.

- Apoio ou articulação *metálica para rolamento em rolo único ou múltiplo*. Essa articulação possui o papel de absorver os movimentos de rotação e translação, não induzindo esforços indesejados para os pilares de sustentação da infraestrutura de pontes e viadutos.

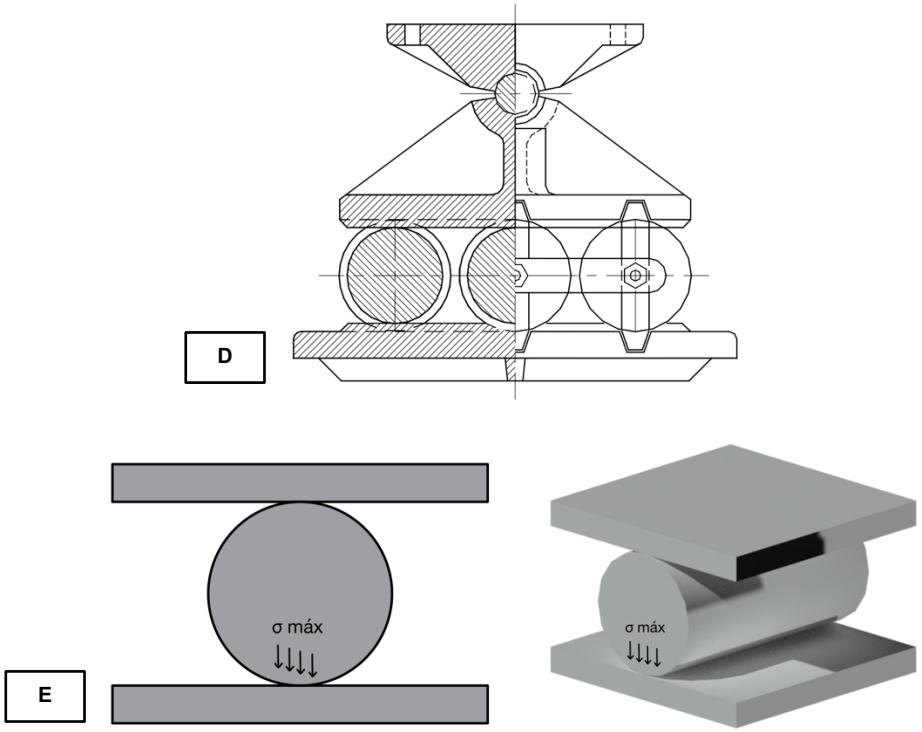


Figura 55 – D. Apoio para rolamento em rolo múltiplo. E. Apoio em rolo único.



Figura 56 - Apoio para rolamento em rolo múltiplo. Ponte Rainha D. Amélia.

Finalmente, o último tipo de apoios utilizado em OAE's consta na articulação em material elastômero, também conhecido como neoprene. Esse elemento proporciona a movimentação natural dos elementos estruturais em Obras de Arte Especiais, absorvendo os esforços de rotação e horizontais, garantindo estabilidade à estrutura e transmitindo ao pilar de sustentação apenas solicitações axiais. Entre as vantagens desse apoio, podemos citar a ótima resistência mecânica e química, além de um bom comportamento contra a ação do fogo. Entre as principais tipologias de apoio em material elastômero, ocorre salientar o tipo *simples* e o fretado. Este último, é constituído por camadas finas de borracha, entre 8 e 20 milímetros, alternadas a chapas metálicas com espessura típica de 2 / 3 milímetros.

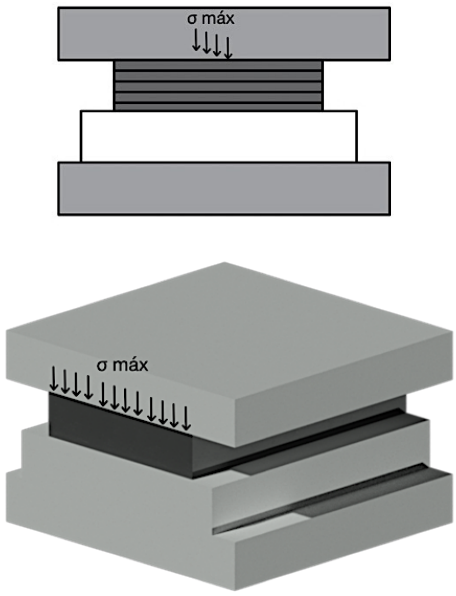


Figura 57 - Apoio em material elastômero, neoprene.



Figura 58 – Apoio em material elastômero, neoprene. Fonte: Diprotec

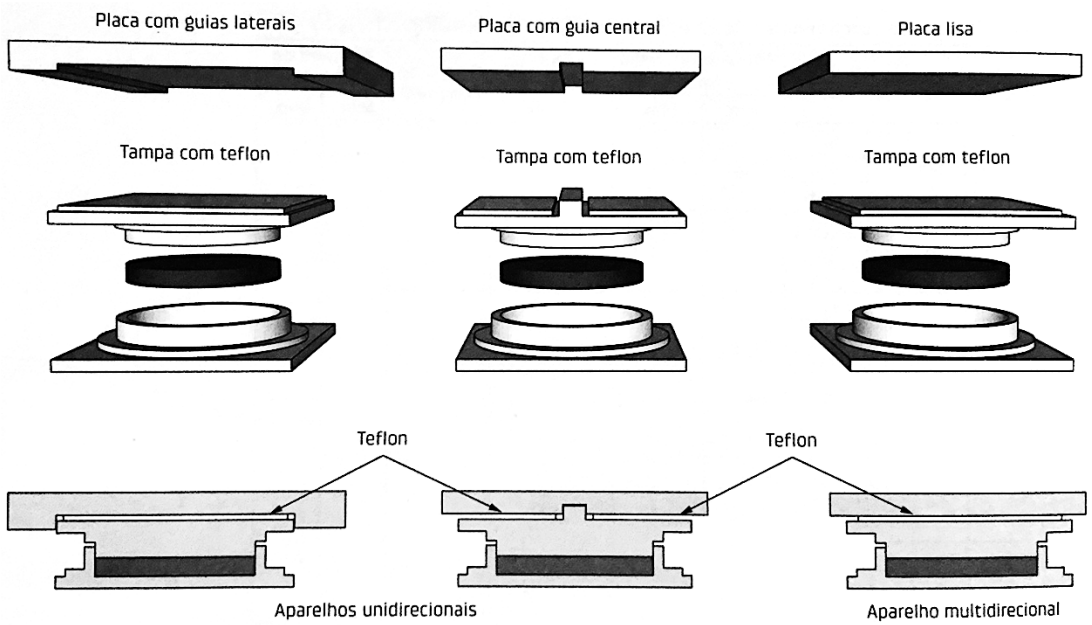


Figura 59 – Apoios do primeiro gênero unidirecionais e multidirecionais em elastômero.

O sistema da *infraestrutura* de uma ponte ou viaduto é composto pela combinação das fundações e do solo, representando a base para instalação da mesoestrutura e superestrutura de uma OAE. A última revisão da norma brasileira ABNT NBR 6122:2019 classifica as fundações em dois principais grupos, sendo eles fundações rasas ou superficiais e fundações profundas.

i. Classificação de acordo com a distribuição dos carregamentos. Tipologias.

- *Fundação superficial, rasa ou direta*. Uma fundação superficial é um elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação (ABNT NBR 6122:2019). Entre os principais tipos, podemos registrar o bloco de fundação, sapata (isolada ou corrida), radier e grelha com vigas baldrames.

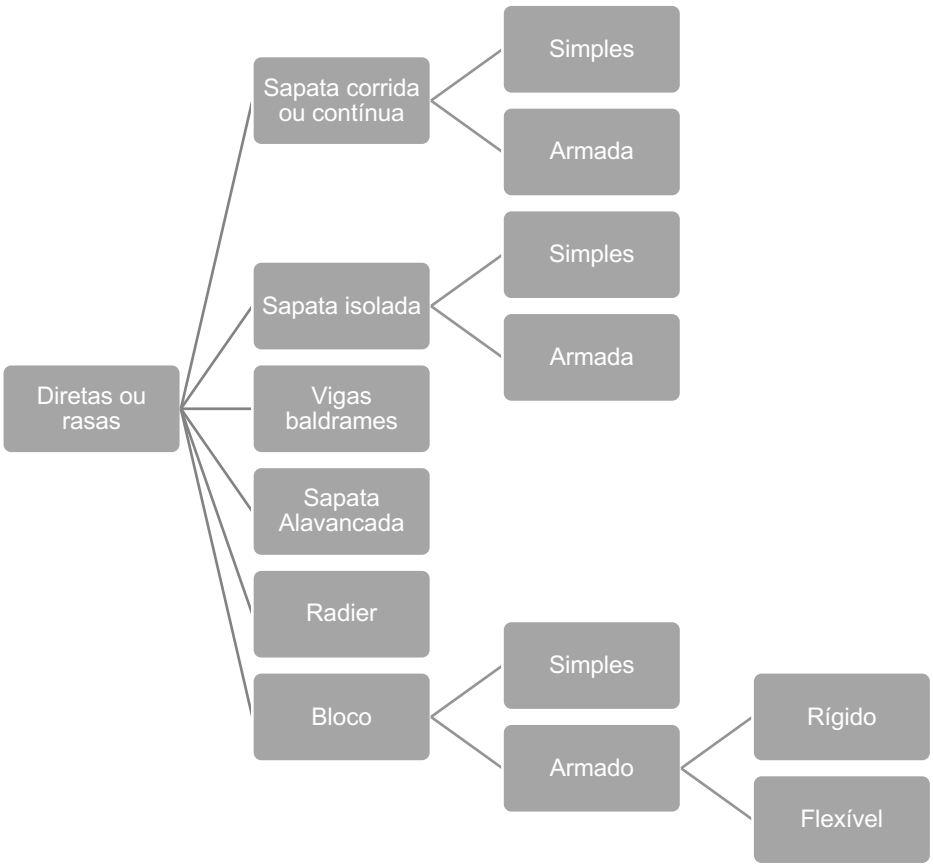


Figura 60 – Fundações superficiais ou rasas.

No caso de pontes e viadutos, o único tipo de fundação empregado, acima do qual se apoia o elemento de sustentação vertical da mesoestrutura, é o bloco de coroamento, também chamado de transição.

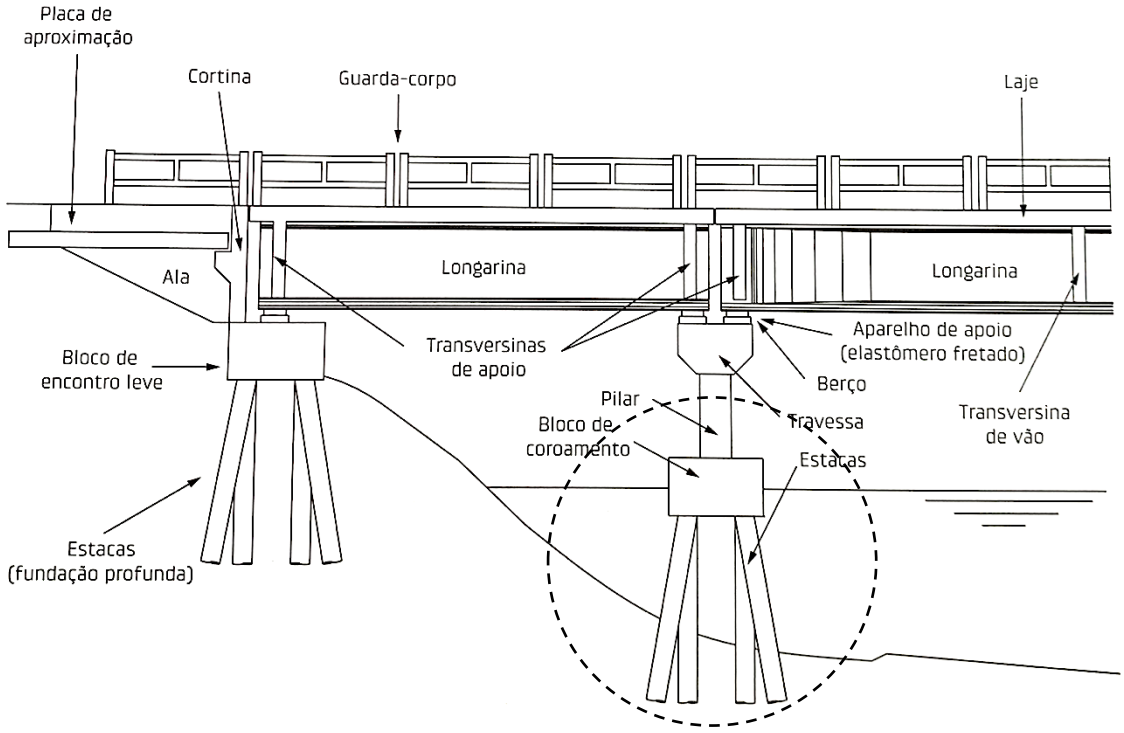


Figura 61 - Elementos estruturais fundamentais de uma OAE. Fonte: adaptada de Valeriano, 2021

Esse elemento estrutural é utilizado para transmitir às estacas profundas as cargas de fundação, podendo ser classificado em bloco flexível ou rígido. Esse último, é um elemento estrutural que trabalha à flexão nas duas direções (longitudinal e transversal), apresentando solicitações de tração concentradas nas linhas de influência sobre as estacas e ao cisalhamento (também nas duas direções) apresentando, eventualmente, ruptura por compressão das bielas.

- *Fundação profunda ou indireta.* De acordo com a ABNT NBR 6122:2019, define-se como *fundação profunda* aquele sistema que transmite a carga oriunda da superestrutura da ponte ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação das duas. As fundações profundas são geralmente empregadas quando as primeiras camadas de solos superficiais não apresentam resistência adequada, determinada pela tensão admissível, e

capacidade de suportar elevadas cargas. Para essa tipologia de fundação profunda, são principalmente utilizadas estacas verticais (de diversos materiais) e tubulões.

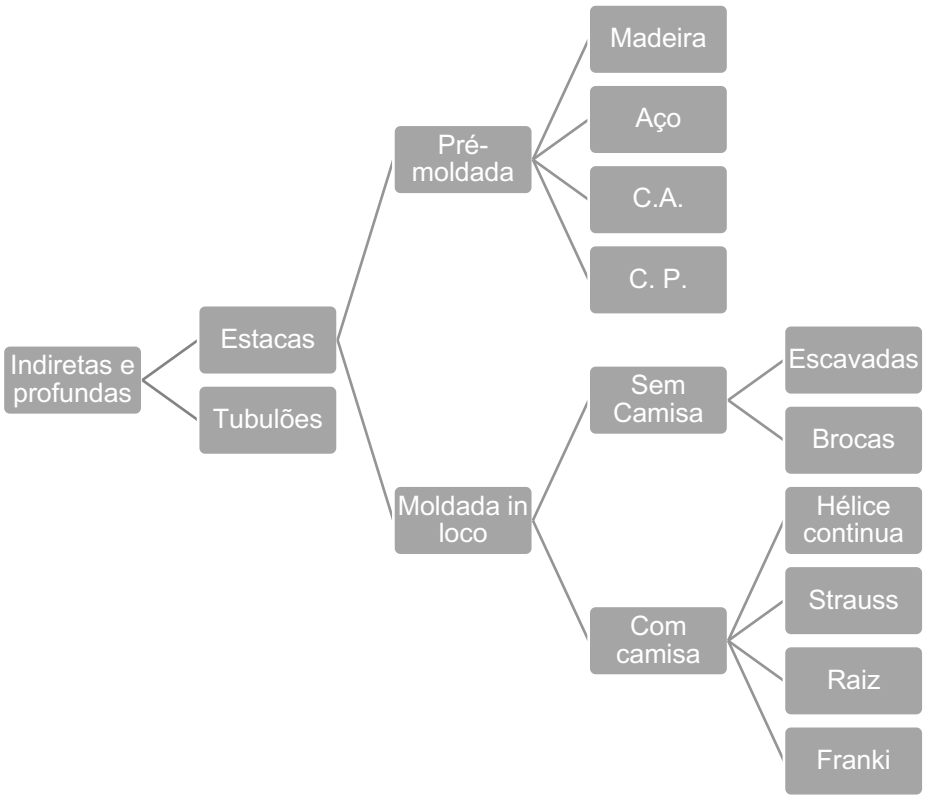


Figura 62 – Fundações profundas.

TIPO	PROFUNDIDADE	CAPACIDADE DE CARGA	LENÇOL FREÁTICO	SUPERESTRUTURA
BROCA	▼ 6 metros	10 tf (⌀ 30 cm);	NÃO	▷ PEQUENO PORTE (GALPÃO LEVE/PEQUENO ARMAZENAMENTO, CASAS);
STRAUSS	▼ 25/28 metro	30 tf (⌀ 30 cm); 60 tf (⌀ 45 cm);	SIM	▷ MÉDIO PORTE (EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS DE MÉDIO PORTE);
HÉLICE CONTÍNUA	▼ 30 metros	30 tf (⌀ 30 cm); 80 tf (⌀ 50 cm);	SIM	▷ MÉDIO PORTE (EDIFÍCIOS EM ALTURA, EDIFÍCIOS DE SUPERQUADRAS);
FRANKI (BATE ESTACA)	▼ 50/60 metros	35/40 tf (⌀ 30 cm); 120 tf (⌀ 60 cm);	SIM	▷ GRANDE PORTE;
RAÍZ (ARGAMASSA)	▼ 70/80 metros	45 tf (⌀ 30 cm); 170 tf (⌀ 60 cm);	SIM	▷ GRANDE PORTE (ESTACAS INCLINADAS, REFORÇO DE FUNDAÇÃO, INDÚSTRIA PESADA
TUBULÃO (AR COMPRIMIDO OU CÉU ABERTO)	▼ do nível da água	ELEVADA CAPACIDADE DE CARGA (DINÂMICA E ESTÁTICA)	-	▷ GRANDE PORTE (FUNDAÇÃO MARÍTIMA, PONTES, ESTAÇÕES DE EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO);

Tabela 1 – Característica das principais fundações indiretas ou profundas.

1.3 Ações consideradas nas estruturas das pontes e viadutos

De acordo com as normas ABNT NBR 8681:2004 (Ações e segurança nas estruturas – Procedimento) e ABNT NBR 7187:2003 (Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento), as ações que agem nas estruturas são aquelas cargas que determinam os esforços ou deformações nas edificações. No caso das pontes e viadutos, as principais ações podem ser classificadas como:

- *Ações permanentes.*
- *Ações variáveis.*
- *Ações excepcionais.*

As *ações permanentes*, chamada em inglês de "*dead load*" (literalmente "carga morta"), ocorrem com valores constantes ou de pequena variação, durante práticamente toda a vida útil da construção. As cargas permanentes podem ser classificadas em ações permanentes diretas ou indiretas.

- A*ções permanentes diretas*. São representadas pelas cargas oriundas do peso próprio dos elementos estruturais, do peso da pavimentação rodoviária, das barreiras em concreto armado (*New Jersey*), dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e dos dispositivos de sinalização.

- Ações *permanentes indiretas.* Além das ações diretas, para a infraestrutura urbana, são também consideradas as ações *permanentes indiretas*, que abrangem os empuxos de terra e de líquidos, as forças de protensão aplicadas nos elementos estruturais (protendidos), as deformações determinadas por fluência e retração do concreto e por variações de temperatura (ΔT).

.

As ações variáveis, chamada em inglês de “*live load*” (literalmente “carga viva”), são aquelas ações de natureza transitória que variam ao longo da vida útil de uma determinada estrutura. Essas ações, consideram, entre outras:

- *Cargas móveis verticais*. A norma ABNT NBR 7188:2013, tem abrangência temática sobre os projetos de pontes e viadutos, galerias e passarelas de pedestres. Para os projetos de OAE’s, a carga móvel padrão considerada pela norma, é a TB-450, definida por um veículo tipo de 450KN com seis rodas (P), cada uma com 75KN, circundado por uma carga uniformemente distribuída (p) de 5KN/m², conforme figura a seguir.

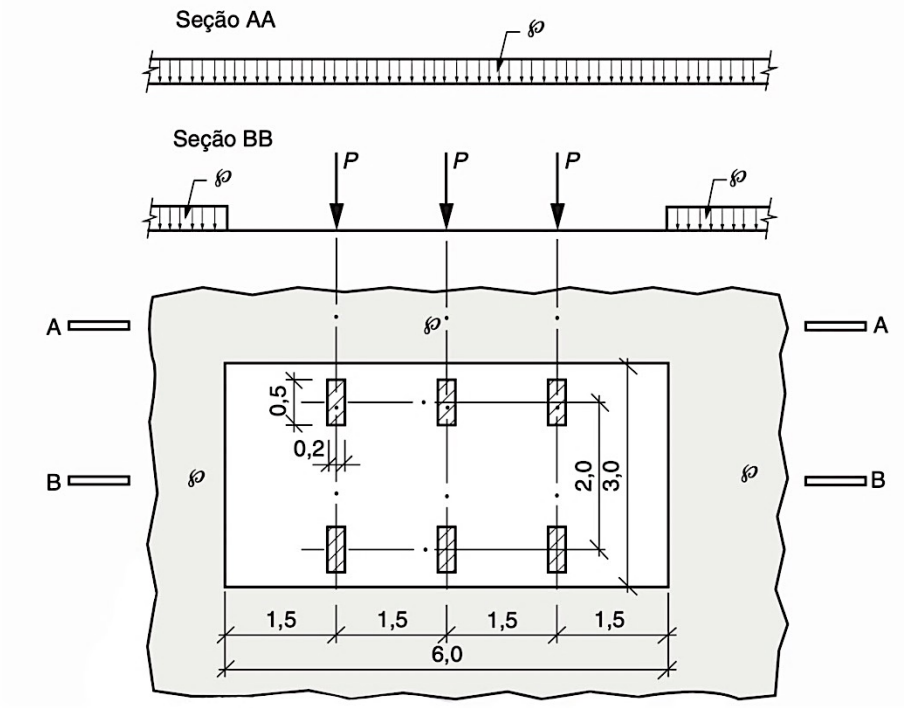


Figura 63 - Disposição da carga estática do Veiculo tipo.

A carga *P*, expressada em KN (quilonewtons), é considerada aquela *carga estática* concentrada aplicada no nível do pavimento do tabuleiro da ponte, sem coeficiente de majoração.

O valor do carregamento (distribuído) *p*, também em KN/m² (quilonewtons por metro quadrado), é representado pela carga uniformemente distribuída aplicada no nível da pavimentação infraestrutural, possuindo valor característico, sem coeficiente de majoração (ABNT NBR 7188:2013).

A carga concentrada Q e a carga distribuída q, como é possível notar pela formulação a seguir, são os valores da carga móvel aplicados no nível do pavimento da OAE, devendo ser majoradas pelo coeficiente de impacto vertical (CIV), pelo coeficiente do número de faixas (CNF) e pelo coeficiente de impacto adicional (CIA).

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA$$

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA$$

Onde:

P = *carga estática* concentrada (75KN, para cada roda do veículo tipo).

p = carga uniformemente distribuída (5KN/m²).

Q = carga concentrada.

q = carga distribuída.

CIV = coeficiente de impacto vertical.

CNF = coeficiente do número de faixas.

CIA = coeficiente de impacto adicional.

O coeficiente de majoração de impacto vertical (CIV), essencial para o cálculo da carga concentrada, pode ser definido como:

$$CIV = 1{,}35$$

(estruturas com vão menor do que 10,0 m).

$$CIV = 1 + 1{,}06 \times \left(\frac{20}{Liv+50}\right)$$

(estruturas com vão entre 10,0 m e 200,0 m).

O coeficiente de números de faixas (CNF), para a norma acima citada, deve ser desprezado para os elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego rodoviário (lajes e vigas transversinas) e é obtido através da equação:

$$CNF = 1 - 0{,}05 \cdot (n - 2) > 0{,}9$$

Onde:

n = número (inteiro) de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos e faixas de

segurança não são considerados como faixas de tráfego da rodovia (ABNT NBR 7188:2013).

Finalmente, para completar o raciocínio sobre as cargas móveis em Obras se Arte Especiais, o coeficiente de impacto adicional (CIA), para a norma acima citada, deve ser considerado como:

CIA = 1,25 (para obras em concreto ou mistas).

CIA = 1,15 (para obras em estrutura metálica).

- *Forças horizontais*. Dentro do assunto das cargas aplicada em pontes e viadutos, a NBR 7188:2013 define que a frenagem e aceleração (de veículos) são forças horizontais aplicadas no nível da pavimentação do tabuleiro de uma OAE, representando um percentual da carga característica, na posição mais desfavorável do pavimento, considerando a seguinte equação:

Hf = 0,25 x B x L x CNF

Onde:
Hf ≥ 135 kN.
B = largura efetiva, expressa em metros (m), da carga distribuída de 5 kN/m2.
L = comprimento concomitante, em metros (m), da carga distribuída.

Além das ações de frenagem e da aceleração consideradas acima, a NBR 7188:2013 considera também as forças horizontais oriundas da força centrífuga nas obras de infraestrutura em curva horizontal, aplicadas no nível da pista de rolamento, representando um percentual da carga característica, na posição mais desfavorável do pavimento, considerando a seguinte equação:

Hfc = 2,4 x P (em kN, para curva com raio R < 200 m).

Hfc R = $\left(\frac{480}{R}\right)$ x P (em kN, para curva com raio 200 < R < 1 500 m).

Hfc = zero, para raios superiores a 1500 metros.

Onde:
R = raio da curva horizontal no eixo da obra, expresso em metros (m).

- *Cargas de vento (W*), regulamentadas pela ABNT NBR 6123:1988, na versão corrigida 2:2013.
- *Empuxo de terra* provocado por cargas dinâmicas.
- *Pressão da água* em movimento.

Finalmente, as últimas a serem classificadas como incidentes na infraestrutura de pontes e viadutos são as *ações excepcionais.*

As ações excepcionais têm uma duração extremamente curta e uma baixa probabilidade de ocorrência durante o ciclo vida útil da construção, devendo (de qualquer forma) ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas, "como é o caso de choques de objetos móveis e fenômenos materiais pouco frequentes, como enchentes catastróficas e sismos, entre outros" (ABNT NBR 7188:2013).

A partir dos conceitos de pontes e viadutos expostos e retratados nesse capítulo, percebe-se a magnitude do universo da infraestrutura urbana e a complexidade estrutural que envolve esses tipos de Obras de Arte Especiais. Um conceito que podemos observar como base sólida para a elaboração de um projeto de qualidade estética e estruturais simples, mas elegante, é o respeito aos requisitos funcionais dos pontos de vista técnicos, estéticos e econômicos. Fornecendo desempenho e segurança, guiada pelos princípios básicos da mecânica, esta abordagem continua a ser muito valida e útil, em particular nos dias de hoje. As intervenções de retrofit urbano, aplicadas aos estudos de caso que serão apresentados nos próximos capítulos, mostram a própria eficácia em ambientes urbanos tombados, tanto em termos de durabilidade das estruturas quanto de impacto econômico e social.

Além disso, a vertente representada pela conservação do patrimônio infraestrutural moderno, localizado em áreas tombadas, eleva o nível de complexidade da análise proposta, baseada em uma metodologia que engloba

diversos parâmetros e fatores para a obtenção do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana, apontando para uma melhoria de crescimento das cidades.



2. RETROFIT DA INFRAESTRUTURA URBANA: PRÁTICAS ARQUITETÔNICAS

2.1 Contextualização e conceitos fundamentais da infraestrutura urbana

Desde os primórdios da história da arquitetura, a rede infraestrutural das cidades, representa o elemento mais antigo que convive de forma simbiótica com as dinâmicas urbanas e humanas.

A necessidade de se deslocar no espaço, para ampliar o controle sobre os territórios e assegurar o desenvolvimento urbano e social, levou a construção de um complexo sistema viário que evoluiu ao longo dos séculos. Conjuntamente ao crescimento populacional, se tornou necessária uma rede de infraestrutura capaz de atender e sustentar o arcabouço da civilização, gerando riqueza e avanços socioeconômicos para a população. A rede sanitária apareceu logo em seguida respeito à rede viária e, as redes energéticas, somente no final do século XIX.

Os antigos romanos, que contavam com uma excelente rede de abastecimento hídrico, na época do ápice do império, construíram viadutos, via pavimentadas, mais de 50 km de aquedutos em alvenaria de pedra e 350 km de canalizações d'água na cidade de Roma. Nesse sentido, a tecnologia da engenharia das redes infraestruturais, foi transformada para servir às massas urbanas, de forma abrangente para a coletividade.

A evolução do ambiente urbano das cidades contemporâneas é representada pelas modificações tanto quantitativas quanto qualitativas das atividades humanas, implicando a necessidade tangível de adequar os espaços urbanos e sua acessibilidade.

A infraestrutura urbana, considerada como elemento viabilizador dessas necessidades, resulta ser a resposta para o avanço sustentável das *urbes*, tanto em termos de desenvolvimento econômico quanto social.

O processo de urbanização ocorreu pelo deslocamento das pessoas das zonas rurais para os centros urbanos, caracterizados pelas atividades desenvolvidas, quais a industrial, comercial e de prestação de serviços.

Pensar em termos de infraestrutura como um complexo de elementos que constituem a base de suporte do desenvolvimento da cidade, ou ainda mais especificamente como aquele conjunto de obras públicas, que formam a base do desenvolvimento socioeconômico de um país, significa fazer uma análise

aprofundada da "*urbe"*, para determinar as conexões entre o meio ambiente e o ambiente antrópico.

A abordagem paradigmática da "*cidade como organismo*", elaborada pelo Lewis Mumford[10], iniciou um processo de produção teórica que visava sistematizar o campo das pesquisas e métodos de intervenção na cidade, determinando a necessidade de identificar interações, conexões e hierarquias entre diferentes esferas dos elementos relativos aos locais e espaços humanos.

Para entender mais a fundo esses aspectos, que condicionam as relações entre a cidade e seus habitantes, é necessário entender o significado do termo *infraestrutura urbana*. Portanto, o que é infraestrutura urbana?

Do ponto de vista etimológico, o termo *infraestrutura* urbana provém do latim, "*inferus*" e "*structura*", que, literalmente, significa "a estrutura que está abaixo da cidade".

A infraestrutura urbana é o conjunto de obras, serviços e instalações imprescindível para atividades humanas no funcionamento de uma cidade, o que proporciona conforto e qualidade de vida à população. Os principais setores ou sistemas da infraestrutura urbana, podem ser classificados em energia elétrica, telecomunicações, transporte rodoviário, ferroviário e aeroportuário, portos, hidrovias e saneamento.

De acordo com o Dicionário da Construção Civil, a infraestrutura urbana é aquele "*conjunto de obras que constituem os suportes do funcionamento das cidades e que possibilitam o uso urbano do solo, isto é, o conjunto de redes básicas de condução e distribuição: rede viária, água potável, redes de esgotamento sanitário, energia elétrica, gás, telefone, entre outras, que viabilizam a mobilidade das pessoas, o abastecimento e a descarga, a dotação de combustíveis básicos, a condução das águas, a drenagem e a retirada dos despejos urbanos".*

A infraestrutura urbana classifica-se em cinco subsistemas técnicos setoriais que integram sua função dentro do meio urbano. Assim sendo, decidiu-

[10] The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects. Mariner Books; 1° ed., 1968

se incorporar o sistema de resíduos dentro do sistema de saneamento, resultando em quatro principais subcategorias ou subsistemas:

1. *Subsistema viário ou de transportes.* Constituído por um conjunto de vias de circulação dos diferentes modais (carros, ônibus, bicicletas etc.) e de pedestres.

2. *Subsistema de saneamento.* Constituído pelas redes do abastecimento de água potável e de esgoto, drenagem e gestão de resíduos sólidos.

3. *Subsistema de energia.* Constituído pelas redes de energia elétrica e de gás.

4. *Subsistema de informação e comunicação*. Constituído pelas redes de telefone, tv a cabo, internet.

O subsistema viário é formado por uma rede de circulação, de acordo com o tipo de função a ser abrigada no espaço urbano (rodovias, ferrovias, ciclovias, etc.), e é complementado pelo subsistema de drenagem de águas pluviais, que assegura o correto funcionamento do sistema viário nas diversas condições climáticas. O subsistema viário ou de transporte urbano deve se basear em quatro princípios básicos, relacionados à organização espacial da cidade, assim sendo:

I. *Deslocamentos rápidos e fluidos*, viabilizados por meio de caminhos os mais diretos possíveis;
II. *Adequação das interferências* para a implantação dos equipamentos necessários aos outros subsistemas infraestruturais;
III. *Constituição racional* dos bairros e praças públicas;
IV. *Limitação da superfície viária* (rodovias, viadutos, pontes, etc.), visando prevenir trechos supérfluos e evitar cruzamentos arteriais excessivos.

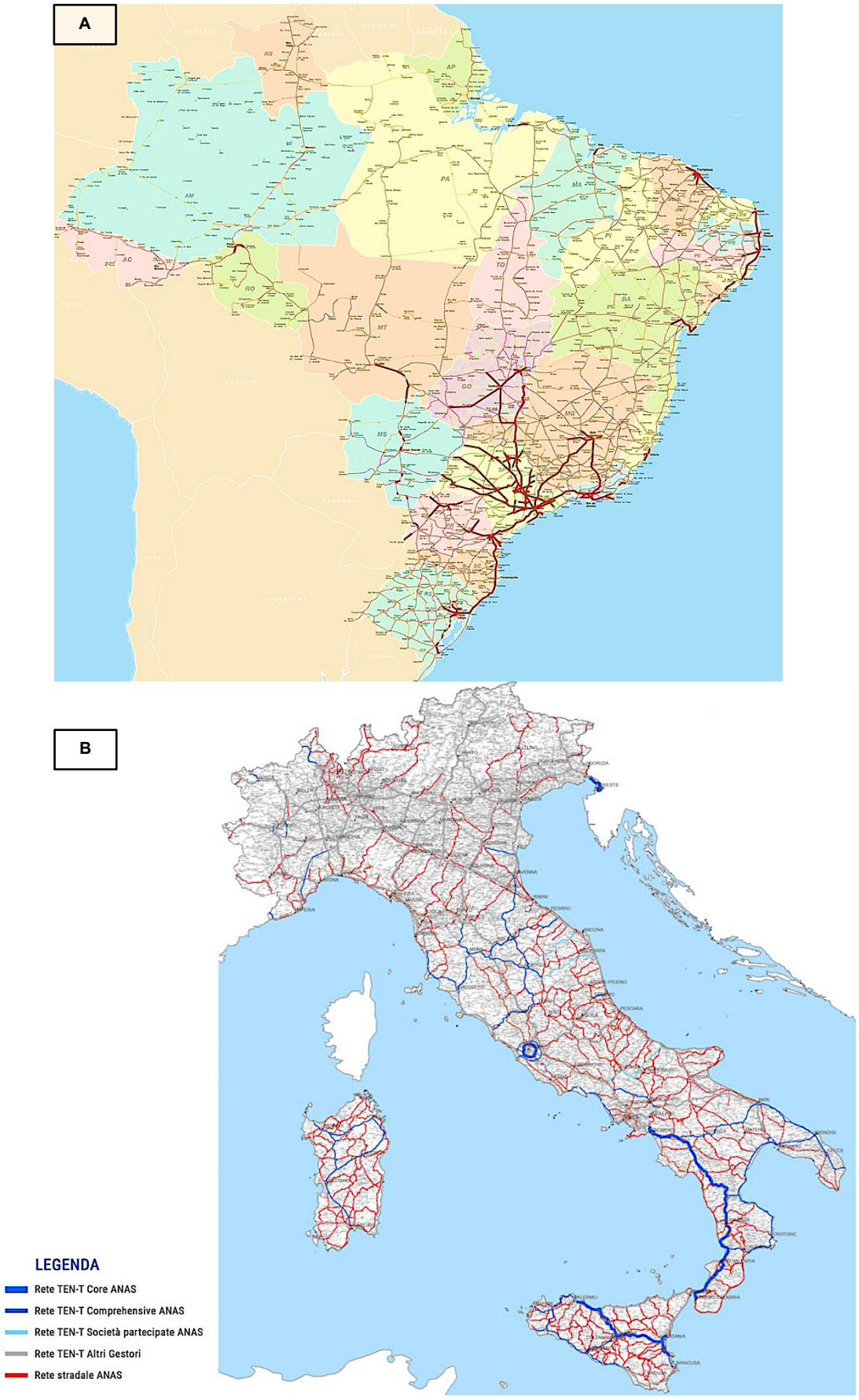


Figura 64 – A. Subsistema rodoviário brasileiro. Sistema Nacional de Viação (SNV). B. Subsistema rodoviário italiano.

Em função de múltiplos fatores como volume, velocidade e intensidade do tráfego viário, sentido do fluxo (unidirecional ou bidirecional) e das interferências tais como cruzamentos, estacionamentos e garagens - as vias desse subsistema podem ser classificadas em quatro categorias, assim sendo:

• *Vias locais:* utilizadas tanto por veículos como por pedestres;

• *Vias coletoras:* conectam as vias locais com as vias arteriais, servindo tanto ao tráfego de veículos particulares quanto de transporte coletivo;

• *Vias arteriais:* interligam áreas distantes, possuindo volume e velocidade de tráfego elevados, com pistas que são geralmente unidirecionais;

• *Vias expressas:* são vias unidirecionais de alta velocidade, que podem ter mais de duas pistas de rolamento e acostamento.

O subsistema viário é considerado o mais custoso dos sistemas infraestruturais, abrangendo mais de 50% do custo total de urbanização dos espaços, e é intimamente vinculado à segurança dos usuários que por ele transitam diariamente. A importância desse subsistema, portanto, resulta como essencial para a articulação das relações econômicas e sociais de um país.

Devido aos excessivos custos, necessários para a implantação das vias e rodovias que constituem esse subsistema, a manutenção se tornou um elemento imprescindível para o planejamento das obras infraestruturais.

As operações de manutenção podem se articular na manutenção preventiva ou periódica, que visa proporcionar o bom funcionamento das vias por meio de intervenções de baixo custo e na manutenção corretiva, geralmente mais custosa e invasiva. Esta última tipologia torna-se necessária quando os agentes de tráfego (representados pelos automóveis, ônibus, caminhões) ou quando naturais impedem o trânsito regular no subsistema viário.

Na configuração espacial e morfológica das suas principais vias, os antigos romanos designaram dois eixos perpendiculares: o *cardo*, indo de Norte a Sul e o *decumanu*s, indo de Leste a Oeste.

De forma análoga, a implantação de toda a infraestrutura urbana do Plano Piloto da cidade de Brasília, se articula em dois eixos principais que se

cruzam em ângulo reto. O Eixo Monumental desce para o lago Paranoá, enquanto o Eixo rodoviário, cruza a cidade inteira de norte a sul. A partir desses dois traçados principais, a cidade de Brasília se expandiu e desenvolveu o seu traçado urbanístico.

A infraestrutura urbana de Brasília faz parte do conjunto urbanístico (CUB) concebido pelo arquiteto Lúcio Costa e, portanto, para conservar as próprias características de autenticidade, precisa ser preservada por meio de intervenções adequadas. Além disso, um outro importante aspecto reside no fato de que as proporções arquitetônicas dos elementos estruturais constituintes a infraestrutura urbana brasiliense, garantem a existência das escalas urbanas (idealizadas pelo arquiteto), característica tombada pelo órgão do IPHAN.

O próprio IPHAN, possui apenas dois instrumentos teóricos para tutelar a proteção do patrimônio moderno: tombamento e Cartilha do Plano para Ação para Cidades Históricas.

Essa cartilha[11], elaborada pelo órgão, propõe -"*enfrentar as questões estruturantes das cidades por meio de um planejamento integrado que estabeleça ações para o desenvolvimento social vinculadas às potencialidades do seu Patrimônio Cultural*".

Além desses dois instrumentos, que mostram mais intenções e iniciativas do que soluções minuciosas e permanentes, sem normatização jurídica, não existem planos de manutenção, revitalização, retrofit ou preservação do patrimônio material relacionado à infraestrutura urbana de pontes e viadutos.

Portanto, permanece a questão sobre como agir no patrimônio construído, ainda mais quando o assunto está intimamente relacionado à segurança pública e vidas humanas.

Na capital modernista, aplicando um recorte específico à infraestrutura urbana de pontes e viadutos, temos exemplos de intervenções de retrofit urbano executadas de forma eficiente, segura e economicamente sustentável para as dinâmicas sociais. Os estudos de caso nacionais, representados pelo Viaduto sobre a Galeria dos Estados e o parque rodoviário do Trevo de Triagem

[11] **Portal do IPHAN**.

Norte, servirão para embasar esse raciocínio sobre a conservação do patrimônio moderno tombado.

No caso da infraestrutura italiana, o modelo de retrofit urbano proposto no livro, a ponte San Giorgio, localizada em Génova, pretende também entender essa articulação entre intervenção e preservação das Obras de Arte Especiais.

No subcapitulo a seguir, serão abordadas as questões fundamentais relativas ao retrofit urbano, suas aplicações e métodos, com ênfase especial para os aspectos estruturais e construtivos.

2.2 Conceitos fundamentais do retrofit urbano

A requalificação urbana das cidades, premissa fundamental para o crescimento econômico e social de um país, deve partir do conhecimento da infraestrutura urbana existente para embasar as intervenções necessárias a serem implementadas. Entre os temas mais críticos em âmbito urbano, o envelhecimento dos subsistemas da infraestrutura das cidades representa um problema complexo, ainda mais quando se trata de cidades tombadas.

Observando o cenário dos últimos anos, acerca das intervenções urbanas nas infraestruturas rodoviárias, a necessidade de efetuar a requalificação estrutural de uma Obra de Arte Especial, seja ela uma ponte ou viaduto, tem sido em grande parte induzida por fatores de escassez de manutenção que, por sua vez, geraram uma situação de precariedade dos espaços urbanos limítrofes. Essa urgência foi acompanhada pela necessidade, cada vez mais expressiva, de reconstruir ou re-funcionalizar o patrimônio existente que sofreu ou passou por uma situação de deterioração mais ou menos grave.

O termo *retrofit*, aplicado à construção civil, se refere às práticas empregadas para requalificação funcional de edificações existentes que, devido ao tempo ou falta de manutenção, se tornaram obsoletas. Na língua inglesa, no sentido literal, a palavra *retrofi*t resulta da crase formada pelas palavras "*retroactive"* e "*refit"*, ou seja, com significado no português de *retroativo* e *re-funcionalizar*[12]. No âmbito do ambiente construído, o termo *retrofit* tem sido utilizado na literatura para ressaltar as intervenções nas edificações e consequentes mudanças das características físicas do existente. O conceito de retrofit surgiu na Europa e nos Estados Unidos na década de 90', primeiramente na indústria aeronáutica e, posteriormente, na construção civil, visando atualização tecnológica e modernização das edificações.

O retrofit, considerado como o "*renascimento no lugar da destruição*", é aquele conjunto de ações voltadas para reabilitação tecnológica de um edifício. Este conceito, determina que a principal finalidade do retrofit seja o

[12] 71 *The Oxford English Dictionary of Current English*, Oxford University Press, 2008, Oxford e *The Oxford Pocket Dictionary of Current English*. 2009. Encyclopedia.com. <http://www.encyclopedia.com/doc/1O999-retrofit.html >.

reestabelecimento do antigo desempenho perdido ao longo da vida útil da obra em questão. Portanto, uma edificação que passou por este processo, deve proporcionar aos seus usuários uma melhor qualidade de vida. As intervenções de retrofit devem ser aplicadas ao patrimônio arquitetônico existente, apontando para própria requalificação que apresente melhorias no seu desempenho global.

Em uma esfera mais especifica e relacionada à cidade, o retrofit urbano é considerado como um conjunto de ações de intervenção e natureza tecnológica no ambiente construído. O retrofit urbano se articula em três fases distintas, sendo que a primeira almeja uma visão de futuro da cidade, a segunda conecta o comprometimento de diferentes atores na demarcação das possíveis estratégias para viabilizar esse planejamento e, finalmente, a terceira abrange a tomada de decisão sobre o patrimônio construído. O principal objetivo do retrofit urbano é tentar resolver questões críticas relacionadas à cidade, com foco na estrutura, infraestrutura, subsistemas e instalações, urbanismo e paisagismo, entre outros.

As intervenções de retrofit urbano, utilizadas para proteger e conservar o patrimônio cultural material, devem verificar em primeira instância as características originais da construção, as mudanças físicas do objeto arquitetônico ao longo do tempo, os danos provocados por transformações antrópicas e a deterioração dos materiais de construção.

A adição de algum elemento, seja ele de matriz estrutural ou tecnológica, é a alma do retrofit que se propõe o objetivo de re-funcionalizar um determinado atributo, Obra de Arte Especial ou construção, compensando fenômenos de obsolescência urbana.

O processo de urbanização das cidades da América Latina, engendrado de maneira pouco eficiente, em especial no que diz respeito às áreas urbanas mais centrais, incluindo regiões de antiga industrialização, áreas degradadas em função do seu uso anterior e áreas de infraestrutura como ferrovias, portos e pátios, tem sido depauperado ao longo dos séculos XX e XXI. Os espaços obsoletos das cidades contemporâneas, muitas vezes, representam vazios urbanos constituídos por áreas abandonadas ou subutilizadas em função de fatores econômicos, fundiários e ambientais, se transformando em “*elefantes brancos”* em plena cidade e sendo tomados informalmente por grupos sociais desfavorecidos. A falta de uma definição específica para aquelas áreas urbanas

que estão socialmente degradadas, por onde há escassez de manutenção e, portanto, qualidade dos espaços urbanos, levou ao levantamento de uma denominação específica. A literatura renomeia as áreas degradadas por contaminação devido ao uso anterior ou por mudança de uso como *brownfields* significando literalmente "*área marrom".*

Essas áreas, presentes de maneira massiva nas cidades brasileiras, podem favorecer o desenvolvimento urbano sustentável caso sejam requalificadas por um processo de retrofit urbano adequado.

Paralelamente às *brownfields,* existem as *greenfields* que são consideradas como aquelas áreas predominantemente verdes e caracterizadas pela presença da natureza. Essas últimas não devem ser consideradas como áreas de futuras expansão urbana, enquanto as *brownfields* representam um grande potencial de desenvolvimento e requalificação das cidades.

Os principais benefícios que o retrofit urbano pode trazer para o ambiente (urbano), se articulam em três dimensões distintas, a *ambiental*, a *econômica* e *social*.

Enquanto a dimensão ambiental prevê a diminuição do uso de recursos naturais, almejando a sustentabilidade nas práticas de retrofit, a econômica se baseia na potencial valorização imobiliária do entorno, viabilização financeira de obras que devem aumentar o valor agregado de espaços urbanos subutilizados ou degradados, aumentando a expectativa da vida útil das edificações. Finalmente, a dimensão social visa a melhoria da qualidade de vida dos usuários que vivenciam os espaços urbanos das cidades contemporâneas.

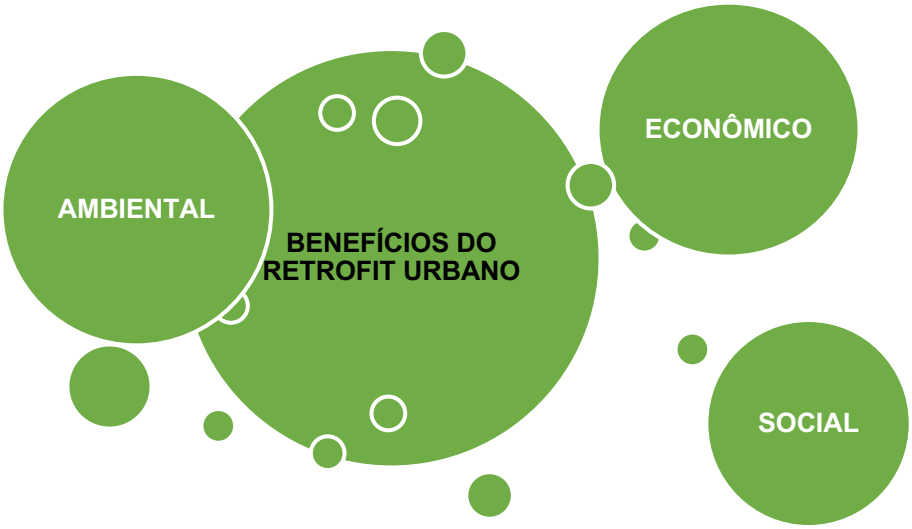


Figura 65 – Benefícios do Retrofit Urbano.

Acerca das principais vantagens que o retrofit urbano pode proporcionar às cidades contemporâneas, podemos ressaltar:

- *Menor consumo de materiais;*
- *Menor desperdício de energia na fase de demolição;*
- *Revigoramento da malha urbana;*
- *Regeneração das vias de transporte;*
- *Preservação histórica das áreas urbanas e do patrimônio material.*

A partir dos benefícios que retrofit urbano pode trazer para a cidade e seus habitantes, é de extrema importância ressaltar os objetivos que devem nortear as intervenções no ambiente construído.

Trazendo alguns questionamentos acerca desse assunto, podemos formular um roteiro que se articula em quatro pontos fundamentais:

1. *O que será feito para a cidade?*
   Essa questão envolve todas as ações que serão implementadas na hora da intervenção do retrofit urbano, com particular atenção nas soluções técnico-construtivas, tecnológicas (a serem utilizadas), metas e custos financeiros.

2. *Quem está envolvido neste processo?*
   Atores chave, planejadores e financiadores.

3. *Por que é importante?*
   Relacionada à motivação da intervenção do retrofit urbano, essa questão deve demandar a justificativa sobre as ações necessárias a serem englobadas no ambiente construído das cidades.

4. *Como será implementado?*
   Essa questão envolve a esfera institucional e a governança pública.

No Brasil, há um déficit em estratégias voltadas para a conservação de obras públicas, deixando grande parte Obras de Arte Especiais em situações estruturais e funcionais precárias, gerando riscos aos usuários e prejuízo ao setor econômico nacional. A estimativa das perdas econômicas e financeiras desempenha um papel fundamental na implementação do planejamento urbano e das estratégias de retrofit, permitindo que os custos sejam reduzidos, almejando a segurança dos usuários.

No caso da cidade de Brasília, as intervenções sobre o patrimônio infraestrutural material, a capacidade de manter a proporção das escalas urbanas, preconizadas pelo arquiteto Lúcio Costa, e proporcionar uma utilização do espaço urbano de forma mais segura, são considerados os parâmetros imprescindíveis para a premissa de um projeto de retrofit urbano. Além disso, perante o aumento da preocupação em se proteger as áreas urbanas tombadas, há uma ampliação da demanda pela solução do retrofit devido à redução dos custos referente a novas construções.

As práticas de retrofit em edificações existentes é complexo e difícil, envolvendo inúmeros fatores à nível político, níveis de tomada de decisão, econômico, científico e técnico, entre outros.

A infraestrutura urbana de pontes e viadutos, que representa o subsistema infraestrutural mais complexo de todos, devido às questões que envolvem não apenas a possibilidade de se deslocar dentro da cidade de maneira dinâmica, mas também de forma segura, precisa ser monitorada para detectar a eventual necessidade de uma intervenção de retrofit urbano, com foco na reabilitação das estruturas. É, portanto, imprescindível prever recursos para monitoramento constante e a modernização das OAE's por serem elementos cruciais na rede da infraestrutura rodoviária. As tecnologias e soluções de retrofit estrutural, juntamente aos resultados de desempenho e serviço, estão atualmente em uma fase de pesquisa e não possuem ainda uma metodologia normatizada no Brasil.

Na ausência de uma normatização própria, todas as atividades de retrofit, no Brasil, são regulamentadas pela norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, definindo o termo retrofit como "*remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, por meio da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando a valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética*".

Diferentemente da realidade brasileira, as intervenções de retrofit urbano no panorama europeu e italiano tiveram um importante avanço do ponto de vista normativo através da *Diretiva Europeia - EU Directive 2018/844*[13]*.* Do ponto de vista econômico, o governo italiano já conta com ferramentas eficazes como incentivos à requalificação e eficiência energética das edificações. As administrações das cidades italianas devem retomar uma orientação cuidadosa dos processos e métodos que visam à mudança da imagem da cidade: uma metodologia de regeneração sustentável que passe primeiramente pelo projeto arquitetônico e depois pelo fato técnico, em respeito à memória, mas voltado para o futuro.

Repensar nas edificações e nas obras existentes, representa o primeiro passo para uma mudança de paradigma sobre a evolução da cidade moderna

[13] EU Directive 2018/844 of the European Parliament and of the Council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.

na Europa e no mundo, com base na segurança, na energia, nas comunicações e nas infraestruturas sustentáveis. O que pode ser definido e conceituado como retrofit urbano, deve incorporar dentro do espaço urbano existente, entre outros, um sistema de transporte viário seguro do ponto de vista estrutural, integrado e sustentável, uma cidade policêntrica com um sistema de transporte público eficiente, uma cidade densa capaz de suportar o esperado aumento da população, além de ser flexível às mudanças que, inevitavelmente, ocorrerão ao longo dos anos.

Diante das questões retratadas nesse subcapitulo, que embasam o conceito de retrofit urbano e suas aplicações no ambiente construído, baseado na infraestrutura constituída pelas OAE's, torna-se indispensável abordar o tema das práticas do retrofit estrutural, nas quais as estruturas devem ser calculadas de modo que sejam seguras e duráveis, levando em consideração tanto a manutenção periódica pós-modernização quanto o respeito pelo meio ambiente. O enfoque desse livro está embasado em exemplos virtuosos de retrofit urbano aplicado às OAE's de pontes e viadutos, inseridos na malha urbana das cidades tombadas, como Brasília e Génova, localizadas, respectivamente, na região centro-oeste do Brasil e no Norte da Itália.

O retrofit estrutural pode ser definido como a operação para trazer o sistema estrutural ou algum dos membros estruturais para um nível de desempenho especificado. A avaliação estrutural é altamente relevante não apenas para estruturas antigas. Embora o reparo e o reforço sejam feitos para fornecer um desempenho satisfatório da estrutura, sob diferentes efeitos de carga. No projeto de retrofit, a estrutura deve ser projetada de forma que esteja de acordo com sua finalidade de uso e seja segura e durável, levando-se em consideração a facilidade de implementação do retrofit e manutenção pós-retrofit, bem como a economia geral da obra e o respeito do meio ambiente. O desempenho que a estrutura (a ser adaptada) deve possuir durante sua vida útil remanescente, após o processo do retrofit estrutural, deve ser determinado de acordo com o tipo de estrutura, finalidade de uso, grau de importância e outros fatores.

O conceito de retrofit, restrito ao âmbito do edifício como objeto de análise, pode ser classificado a partir do sistema a ser requalificado ou segundo a sua finalidade, assim sendo:

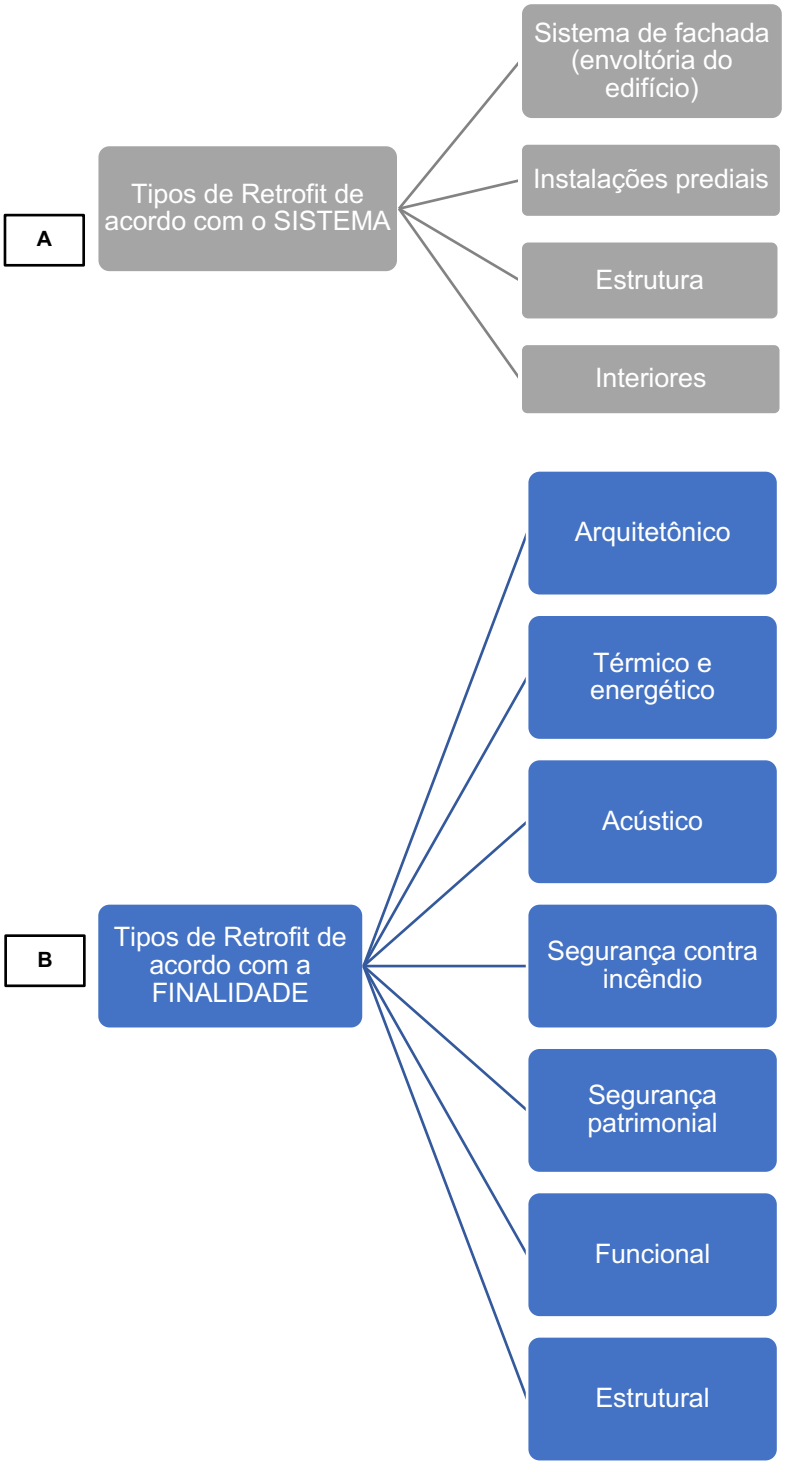


Figura 66 – Classificação do retrofit de um edifício de acordo com o sistema (A) e com a finalidade (B).

Na Itália, existe uma tradição da normatização sobre as estruturas existentes que vem de intervenções pós-sísmicas, desde a década de 1980. Em 2003, a Proteção Civil Italiana emitiu uma normativa para as construções

existentes, na qual o governo exigiu que todas as administrações públicas executassem a avaliação sísmica de todas as construções públicas existentes, e com base no regulamento citado para estabelecer o pico de acelerações de solo que poderiam causar a crise de danos e estado limite.

Em 2008, o novo Decreto do Ministério das Infraestruturas[14] foi emitido e tornou-se obrigatório em Junho de 2009. Portanto, desde 2009 as construções existentes estão sujeitas ao Código, que estabelece níveis de confiabilidade para estruturas novas e existentes.

O *Capítulo 8* do Código trata das construções existentes e estabelece os níveis de segurança sob todos os tipos de ações, não apenas para a ação sísmica e relativa combinação de ações, articulando-se em seis tópicos principais:

1. Como e quando a avaliação de segurança é necessária;

2. Como e quando se deve intervir;

3. Qual nível de segurança deve ser atingido durante o processo do retrofit estrutural;

4. Quais são os procedimentos para fazer a avaliação de segurança;

5. O que é um projeto de retrofit para intervenção em uma estrutura existente;

6. Quais materiais podem ser utilizados para intervenções em estruturas existentes.

As estruturas têm multíplices requisitos de desempenho e, portanto, são realizados procedimentos de adaptação estrutural para melhorar a performance de uma determinada edificação que está intimamente relacionada às características mecânicas dos materiais resistentes. O desempenho que uma estrutura deve possuir durante a sua vida útil restante, após o processo de

[14] Decreto Ministerial 14 Janeiro 2008 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*" Capítullo 8 "*Costruzioni Esistenti*" - Decree of Ministry of infrastructures 14th January 2008 - Technical Regulation for Constructions – Chapter 8 Existing Constructions.

retrofitting, é estabelecido e determinado de acordo com o tipo de estrutura, destinação de uso, grau de importância e outros fatores.

O roteiro do fluxograma de uma operação de retrofit das estruturas, deve ser planejado da seguinte maneira:

1. *Identificar* os requisitos de desempenho para a estrutura existente a ser adaptada e elaborar um planejamento de retrofit desde a inspeção visual até a seleção do projeto da estrutura de retrofitting e implementação de trabalhos de adaptação.

2. *Inspecionar* a estrutura existente a ser adaptada.

3. *Avaliar* o desempenho da estrutura e verificar se ela cumpre os requisitos de serviço, com base nos resultados da inspeção.

4. *Selecionar* um método adequado de retrofit e estabelecer os materiais que serão utilizados, as especificações estruturais e os métodos de construção.

5. *Avaliar* o desempenho da estrutura após intervenção de retrofit e verificar se ela atenderá de forma satisfatória aos requisitos de desempenho preestabelecidos.

A imagem a seguir mostra os principais métodos de retrofit estrutural que podem ser aplicados para estruturas de concreto armado.

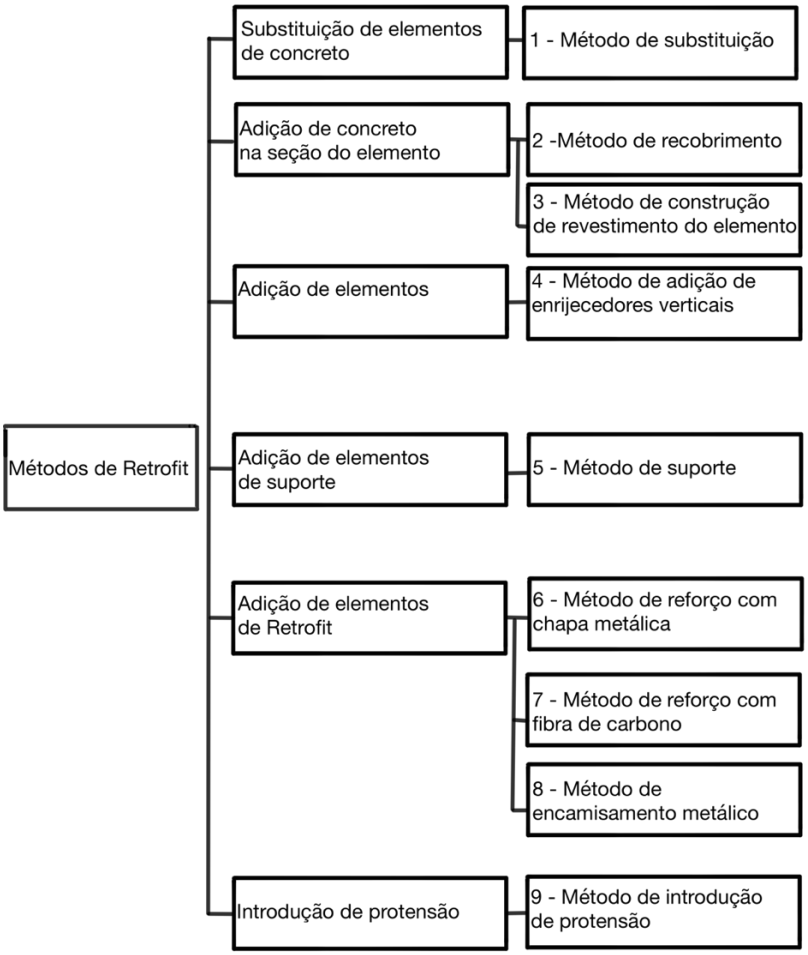


Figura 67 - Métodos de retrofitting.

A necessidade de se reabilitar uma determinada estrutura existente deve ser analisada, primordialmente, com base em suas condições de segurança nas quais versa, e, posteriormente, na possibilidade de a estrutura possuir valor artístico, cultural, histórico ou simbólico, dentre outros, o que demanda um processo de retro análise que extrapole as informações sobre o antigo desempenho estrutural. Portanto, os dados necessários para avaliar o desempenho das estruturas devem ser recolhidos através de inspeções pontuais efetuadas *in loco*.

Ao realizar a inspeção visual, deve ser ter em mente que os dados quantitativos para o cálculo do desempenho estático e dinâmico da estrutura são necessários para sua consequente avaliação. Corroborada por ensaios destrutivos e não-destrutivos, uma inspeção visual deve ser realizada caso a estrutura verse em condições estruturais críticas ou de difícil detecção visual.

Na verificação dos documentos de projeto, que serve como pesquisa preliminar para uma inspeção detalhada no local, além da data de construção e execução, forma estrutural e geometrias, devem ser consideradas e analisadas as condições de carregamento de projeto. Com relação às Obras de Arte Especiais de pontes e viadutos, a tabela a seguir mostra os principais itens para a verificação do documento no caso de retrofitting de uma infraestrutura de ponte.

Type of Study	Study Item
Time of design / construction	Time of design / construction and age of structure
Applicable standard	Type of applicable standard
	Date enacted
Type of structure	Class
	Type of bridge
	Span length
	Bridge length
Type of structure	Lane width
Design conditions	Load conditions
	Material conditions (material strength, etc.)
	Section dimensions
	Steel reinforcements (diameter, quantity, placement, stress level, etc.)
Foundation conditions	Support conditions
	Geology and topography
Visual inspection records	Existence of, and location of, deterioration and damage
Other	Repair/retrofitting history
	Location of annexed structures and construction status

Tabela 2 - Amostra de itens de verificação de documentos (ponte).

2.3 Indicadores para requalificação urbana

Em consonância com as orientações que normatizam as intervenções de retrofit urbano em áreas tombadas, a utilização de indicadores de requalificação urbana torna-se indispensável, na proposição de definir os parâmetros de avaliação utilizados para a infraestrutura das OAE's, a fim de estabelecer um Índice que permita balizar e mensurar a qualidade dos projetos de retrofit e das ações executadas no ambiente construído. Diante dessa premissa, será preciso fazer uma distinção entre os termos *indicador* e *índice*.

Um indicador é um parâmetro ou um atributo que fornece informações diversas sobre um determinado fenômeno ou objeto, representando um instrumento que permite a compreensão de um conceito abstrato.

Os indicadores são considerados como "estatísticas" que fornecem o quadro dos comportamentos de diversos fenômenos, abordados na análise, ao longo de um tempo específico e em um espaço determinado.

Um indicador pode ser definido como um parâmetro, uma propriedade que é mensurada ou observada, ou um valor derivado de parâmetros, que aponta, proporciona informação e/ou descreve a situação de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado além do associado diretamente ao valor do parâmetro. Os indicadores ajudam na fase de transição entre a descrição das características específicas de um determinado objeto e sua consequente avaliação, gerando dados que meçam e interpretem as realidades urbanas atuais. Os indicadores, devido à importância no papel da avaliação de um determinado objeto, não devem se tornar complexos ou demasiadamente simples, enquanto podem realçar "*significados enviesados"* ou esconder aspectos salientes no âmbito global daquele fenômeno ou sistema.

A seleção dos indicadores deve ser norteada, portanto, por meio de critérios de fácil entendimento, que podem ser expressos por três principais características: a *relevância*, a *consistência* e a *mensurabilidade*. Em outras palavras, esses atributos precisam ser representativos e comparáveis (relevância), com embasamento técnico / científico e de consenso comum (consistência) e facilmente mensuráveis. Ainda, os indicadores devem possuir uma compreensibilidade universal para qualquer indivíduo, seja ou não um profissional qualificado de uma determinada área. Os indicadores, em geral,

possuem características de diferente natureza e, portanto, para um melhor entendimento desse assunto, é preciso fazer uma distinção entre eles. A primeira classificação que pode ser atribuída usualmente para os indicadores, se articula em duas categorias, assim sendo:

1. Indicadores *objetivos*: são aqueles parâmetros que podem ser mensurados a partir de dados concretos ou empíricos da realidade a qual se referem;

2. Indicadores *subjetivos*: se baseiam na avaliação subjetiva dos indivíduos ou profissionais com relação aos diferentes aspectos daquela realidade considerada.

Outros autores subdividem as tipologias dos indicadores em duas categorias distintas, a partir de duas abordagens de elaboração dos mesmos, desdobrando-se em:

1. *Top-down*: baseada no conhecimento e experiência de profissionais e especialistas.

2. *Bottom-up*: guiada pela realidade dos usuários das cidades.

A utilização de metodologias que almejem a ponderação dos valores dos indicadores, deriva num índice, estimado como "*grupo de indicadores que promove a síntese dos dados em um único valor numérico, baseado em um conceito abstrato*". Portanto, um sistema ou conjunto de indicadores, também chamado de índice, é considerado como um meio para realizar previsões de diversa natureza, ambiental, espacial e estrutural, entre outros, podendo ser utilizado para medir e monitorar o desempenho de uma determinada realidade e suas dinâmicas ao longo do tempo. Assim sendo, por meio desse embasamento teórico, torna-se imprescindível elaborar indicadores para medir um fenômeno urbano representado pelas intervenções de retrofit na infraestrutura de OAE's, realçando os aspectos significativos e marcantes que caracterizam o subsistema viário das cidades tombadas. A elaboração de uma serie de indicadores para infraestrutura urbana, culminantes em um índice, não representa apenas uma forma de ter informações mais precisas para avaliar as intervenções de retrofit

urbano, mas também, deve ser uma tarefa que envolva a participação dos usuários e dos gestores.

No contexto da infraestrutura das Obras de Arte Especiais, ainda que não haja um arquétipo que permita organizar todas as pontes e viadutos em um modelo único, existem características comuns à maioria delas que as distingue, em seu conjunto, cujo arranjo estrutural satisfaz o ambiente urbano e conecta as relações entre seus bairros. Cada OAE's analisada, representa em sua estrutura e linguagem arquitetônica a sua própria identidade artística, simbólica, histórica e cultural, entre outras, e o seu desempenho em serviço reflete a possibilidade de acesso dos seus usuários aos diversos espaços urbanos. Portanto, para avaliação preposta, decidiu-se selecionar oito principais indicadores, a partir de três macro dimensões que caracterizam as OAE's, ilustradas na imagem a seguir.

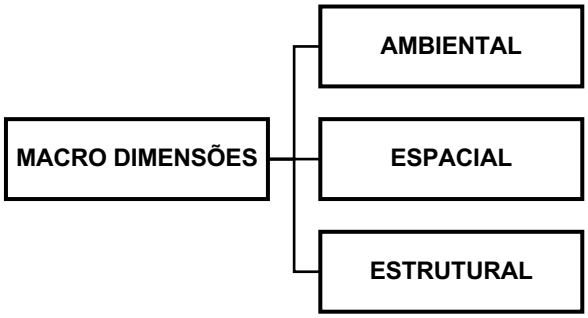


Figura 68 – Macro dimensões da infraestrutura urbana das OAE'S.

Os oito indicadores adotados a partir dessas dimensões, podem ser esquematizados da forma a seguir.

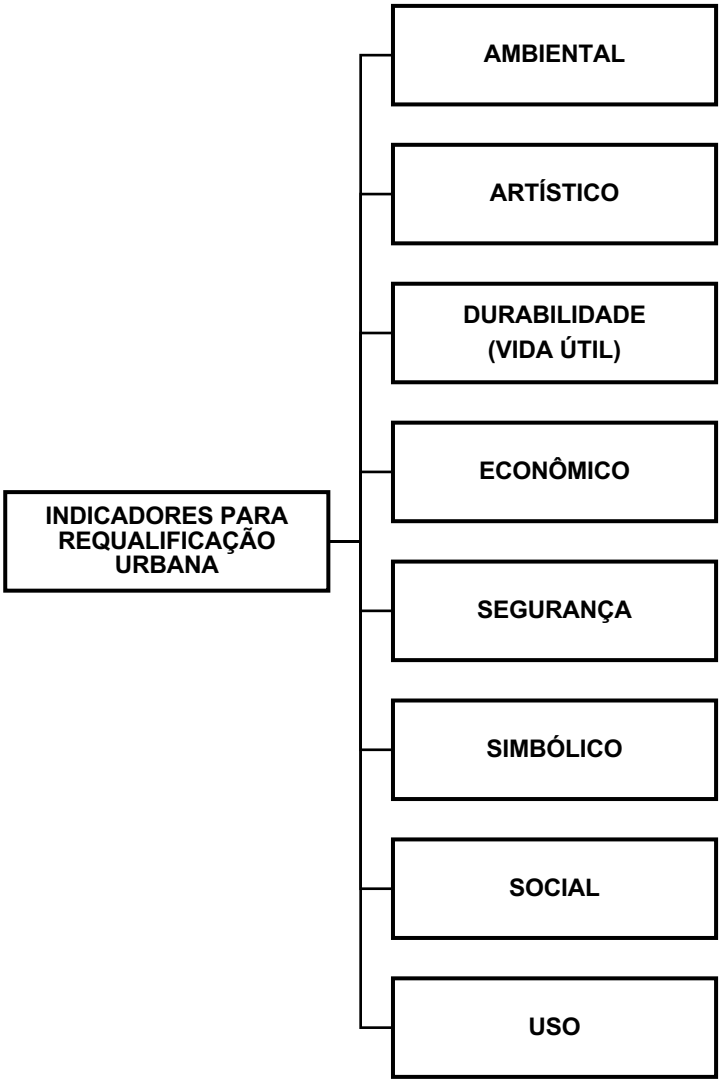


Figura 69 – Indicadores para requalificação urbana.

2.3.1 Indicador de valor ambiental / sustentabilidade

O interesse sempre crescente no âmbito da sustentabilidade, tem direcionado as intervenções de retrofit na infraestrutura urbana de pontes e viadutos, permitindo monitorar a qualidade das intervenções e o desenvolvimento sustentável dos espaços urbanos. Os principais indicadores de sustentabilidade utilizados tanto no exterior quanto no Brasil, visam mostrar o vasto leque de instrumentos disponíveis para atuação, servindo para avaliação dos fenômenos relacionados ao tema da sustentabilidade. A ABNT NBR ISO 37101:2017 é a normativa que estabelece os requisitos fundamentais para o sistema de gestão e desenvolvimento sustentável nas cidades, sendo aplicável para o sistema de infraestrutura urbana.

Propósito de Sustentabilidade	Exemplos
Atratividade	Apelo a cidadãos e outras partes interessadas, tais como: investidores; pertencimento; cultura; lugar; senso de identidade.
Preservação e melhoria do meio ambiente	Desempenho ambiental melhorado, incluindo redução de gases de efeito estufa; proteção, recuperação melhoria da diversidade biológica e serviços ecossistêmicos, incluindo proteção de ecossistemas, diversidade de plantas e animais e migração, assim como diversidade genética; reduzir risco à saúde.
Resiliência	Antecipação; mitigação e/ou adaptação frente a mudanças climáticas; preparação para crises e impactos econômicos; evolução social.
Uso responsável de recursos	Consumo; distribuição; melhor gestão do solo; reduzir, reutilizar e reciclar materiais; respeito a escassez de todos os tipos de recursos (natural, humano, financeiro); produção, estoque e transporte sustentáveis.
Coesão Social	Acessibilidade; cultura; diálogo com partes externas não limitado por fronteiras, diversidade; igualdade; patrimônio; inclusão; redução de desigualdades; raízes; senso de pertencimento e mobilidade social.
Bem-estar	Acesso a oportunidades; criatividade, educação; felicidade; ambiente saudável; melhoria do capital humano; cidade habitável; prosperidade; qualidade de vida; segurança; autoconfiança; assistência social.

Figura 70 - Propósitos de sustentabilidade elaborados pela NBR ISO 37101:2017.

O indicador ambiental, que também pode ser denominado de sustentabilidade, está relacionado diretamente às tecnologias sustentáveis empregadas nas intervenções de retrofit com relação à própria OAE e a nível da escala urbana. Portanto, a presença desse indicador na avaliação global de um Índice, que possa mensurar a qualidade e expressividade do retrofit implementado nas OAE's da infraestrutura urbana, mostra-se indispensável para

a formação do modelo proposto. A manutenção da preservação do meio ambiente deve ser um dos principais pontos de força relacionado com o projeto de arquitetura inerente ao equipamento infraestrutural de pontes e viadutos. Os instrumentos destinados ao desenvolvimento das cidades e da preservação do patrimônio tem se demonstrado ineficazes para lidar com a promoção da sustentabilidade da gestão urbana. Um dos problemas mais complexos a serem analisados na computação dos indicadores é como agir no patrimônio urbano sem causar danos ao equilíbrio ambiental existente. O desenvolvimento sustentável está relacionado com a opção de responder às atuais necessidades das pessoas sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades. Como tal, o desenvolvimento sustentável envolve:

1. Uma visão integrada dos resultados sociais, ambientais e econômicos;

2. Uma perspectiva de longo prazo, preocupada com os interesses e os direitos das gerações futuras, bem como os da população atual;

3. Uma estratégia de ação inclusiva, que reconheça a necessidade de toda a população participar das decisões que envolvem as dinâmicas da cidade.

Os indicadores focados nessa diretriz são:

a. Área disponível;

b. Conforto térmico;

c. Conforto acústico;

d. Sensação visual (estética);

e. Segurança.

A pergunta para individuar o valor da sustentabilidade, segue essa formulação: **“A Obra de Arte Especial da infraestrutura urbana possui requisitos de sustentabilidade ambiental e equipamentos tecnológicos?”**

2.3.2 Indicador de valor artístico

O valor artístico de uma obra está relacionado à apreciação estética do bem e, portanto, é um parâmetro subjetivo. Este reconhecimento é duplamente singular, no sentido de que é sempre realizado por um indivíduo e não pode ser motivado de outra maneira, a não ser pelo reconhecimento valorativo detectado pelo indivíduo singular. Este atributo, possui a capacidade de estimular os sentidos do observador para a beleza, o senso estético e o trabalho artístico. Ainda segundo os autores, os valores do patrimônio além de subjetivos, são maleáveis, ou seja, mutáveis, vinculados ao contexto e relativos, ou seja, poderão variar de geração para geração.

A arquitetura, entendida como obra de arte, possui além da apreciação o conteúdo da própria função. As OAE’s de pontes e viadutos são estruturas utilizadas pela comunidade dos usuários que por lá transitam, proporcionam espaços de vivência e, para que sejam devidamente apreciadas como obras de arte, devem ser entendidas como objetos de uso. Além disso, a arquitetura é considerada como um objeto fixo com entorno definido e, portanto, não pode ser avaliada sem que sejam compreendidas tais relações. Desta forma, entende-se a complexidade da avaliação estética de uma Obra de Arte Especial, bem como a complexidade do indicador artístico.

A seguir, duas perguntas possíveis para individuar o valor artístico e atribuí-lo aos sub-elementos dos três macros parâmetros, pois o tema é complexo e requer embasamento, em geral, sobre a história da arte e da arquitetura:

1) ***“Pode o bem ser apreciado como Obra de Arte Especial, fruto da plástica arquitetônica em simbiose com o arranjo estrutural?”***

2) ***"O bem é fruto de associações a correntes de expressão arquitetônica, como por exemplo, o movimento moderno ou, por exemplo, o movimento contemporâneo?"***

2.3.3 Indicador de durabilidade / vida útil

Planejar as fases de execução de uma obra antes de iniciá-la, ação cuja finalidade é garantir a qualidade da vida útil das construções, constitui o verdadeiro fulcro de todas as arquiteturas de sucesso.

A procura da durabilidade de uma Obra de Arte Especial, devido ao aumento da qualidade de vida dos usuários e à concorrência sempre maior do mercado, é uma tendência que domina o panorama atual da construção civil. A vida útil de uma estrutura, pode ser definida como:

> *"...o período de tempo em que o edifício e seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento aos níveis de desempenho previstos, considerando-se a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção".*

(ABNT NBR 15575:2013)

Esse conceito, que mensura a expectativa de vida e a duração de uma estrutura e de suas partes, tem uma limitação concreta relacionada ao surgimento de patologias pontuais ou difusas.

Após de vários acidentes relacionados á infraestrutura urbana de OAE's no Brasil e no exterior, que causaram graves danos econômicos e sociais, a comunidade internacional dos profissionais das diversas áreas da construção civil, se mobilizou para normatizar esse conceito de durabilidade e aumento da vida útil nas edificações. O desempenho de uma obra, conhecido como o comportamento em serviço de uma determinada estrutura, abrange as condições mínimas de utilização, necessárias para a segurança dos usuários.

A NBR 15575:2013 estabelece 12 critérios de desempenho para edificações residenciais (conforme a tabela 13), baseados e adaptados a partir

da normativa internacional ISO 6241:1984. O conceito de desempenho aplicado às OAE's, junto a manutenção periódica, influência de forma direta a vida útil de uma estrutura.

A norma brasileira de desempenho reforça o fato que é indispensável realizar ações de manutenção, para que se possa atingir a vida útil (VU) determinada pelo projetista.

A tabela a seguir mostra os critérios de desempenho necessários para edificações residenciais, na norma brasileira e na ISO 6242:1984 europeia.

ITENS	NBR 15575:2013	ISO 6242:1984
I	Desempenho estrutural	Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas
II	Segurança contra incêndio	Resistência ao fogo
III	Segurança no uso e na operação	Resistência à utilização
IV	Estanqueidade	Estanqueidade
V	Desempenho térmico	Conforto higrotérmico
VI	Desempenho acústico	Conforto acústico
VII	Desempenho luminoso	Conforto visual
VIII	Durabilidade e manutenção	Durabilidade
IX	Saúde, higiene e qualidade do ar	Higiene
X	Funcionalidade e acessibilidade	Conforto táctil
XI	Conforto táctil e antropodinâmico	Conforto antropométrico
XII	Adequação ambiental	Qualidade do ar

Tabela 3 - Critérios de desempenho para edificações residenciais.

O gráfico apresentado na figura a seguir, mostra a relação qualitativa e quantitativa que existe entre a curva do nível de desempenho de uma construção e seu tempo de vida útil.

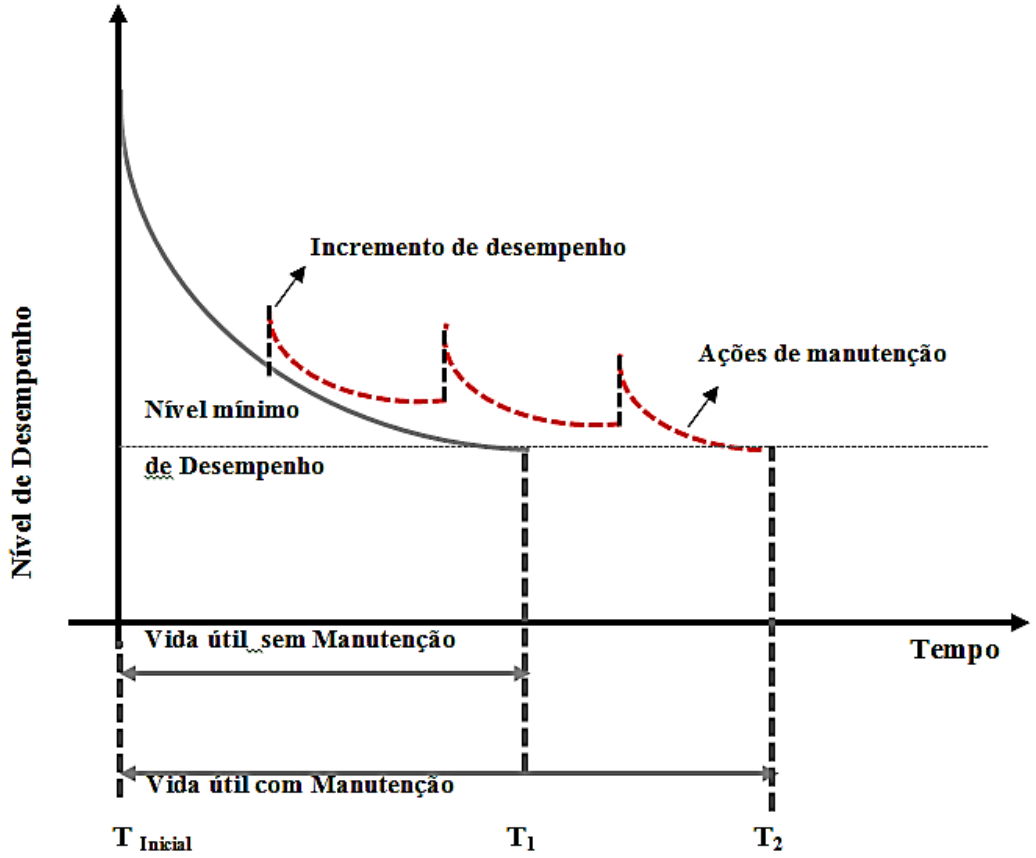


Figura 71 - Desempenho com e sem manutenção para edificações.

Portanto, abrangendo o nosso objeto de estudo, o valor de durabilidade será aplicado às Obras de Arte Especial da infraestrutura urbana. Essa valoração, que será atribuída para cada sub-elemento contido nos três macros parâmetros ESTRUTURAL, AMBIENTAL e ESPACIAL, é definida a partir da durabilidade dos materiais estruturais (concreto e aço) e das características dos cobrimentos das armaduras metálicas que, afinal, representam as principais causas de deterioração das estruturas. Essas considerações devem ser feitas à luz das normas nacionais e internacionais, representadas, respectivamente, pela ABNT NBR 6118:2014 e o Eurocode EN 1992-2:2005[15].

A pergunta para individuar o valor da durabilidade, segue essa formulação: **"A Obra de Arte Especial da infraestrutura urbana foi executada de acordo com as normas técnicas vigentes?"**

[15] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 2: Concrete bridges - Design and detailing rules

2.3.4 Indicador Econômico

O valor econômico relacionado às OAE's é determinado pela relação entre custo e benefício na implementação de uma obra infraestrutural ou de frações urbanas, referida aos elementos organizadores do espaço. Se por um lado, todos os custos oriundos de uma intervenção de retrofit urbano se referem às despesas com a execução do projeto e a manutenção, porém, do outro lado, deve-se levar em conta a mediação entre gastos monetários e benefícios atuais e futuros para a sociedade. O valor de qualquer bem patrimonial está relacionado à sua utilidade para a sociedade, ou seja, ao seu valor de uso. O econômico é, em geral, um valor potencial, ou seja, por não estar relacionado ao seu valor monetário, está vinculado a possibilidade de fomento de atividades econômicas tanto em suas dependências como o fomento a atividades turísticas, como por exemplo uma ponte cujo arranjo estrutural ou arquitetônico atrai pessoas de diversos estados do país ou mesmo do mundo. Claramente o potencial econômico é um fator local e regional de geração de emprego e renda a ser explorado durante qualquer processo de intervenção.

Esse valor, além de tudo, define a necessidade de considerar o aspecto financeiro como um dos principais focos de tomada de decisão, para intervenção em obras de artes localizadas em áreas tombadas. O reaproveitamento do nosso patrimônio material, que almeja a conservação e preservação das obras infraestruturais ao invés da demolição e reconstrução, reduz o consumo de materiais de construção e economiza energia potencial. Os projetos de alta qualidade, por sua própria natureza, garantem usabilidade, flexibilidade e adaptação de longo prazo às necessidades e gerações futuras. A reutilização adaptativa, portanto, contribui para a construção de cidades mais resilientes e sustentáveis. O reaproveitamento do nosso patrimônio edificado pode contribuir para aumentar a atratividade das áreas. Por um lado, a arquitetura de qualidade é um dos principais fatores de reaproveitamento de locais isolados e podem atuar como catalisadores em um contexto mais amplo.

"A Obra de Arte Especial da infraestrutura urbana ou seus atributos propiciam uma economia ou potencial econômico para a sociedade atual ou futura?"

2.3.5 Indicador de Segurança

A segurança estrutural de uma edificação está intimamente relacionada a capacidade da estrutura de resistir às solicitações oriundas dos carregamentos atuantes. A confiabilidade de uma OAE precisa ser assegurada por inspeções regulares e avaliações estruturais pontuais que podem ser estendidas ao inteiro sistema. O DNIT em seu Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários, afirma que a norma estrutural não deve ser usada diretamente na avaliação de estruturas existentes, enquanto, para essa avaliação, deve ser adotado o seguinte procedimento:

1. Inspeção realizada por engenheiro estrutural.

2. Ensaios das resistências dos materiais, destrutivos (extração de testemunhos de concreto) e não destrutivos (como a esclerometría, por exemplo).

3. Análise estrutural linear elástica, para definir os limites da estrutura e, eventualmente para definir o acréscimo de novos carregamentos.

4. Realização de provas de carga estáticas e dinâmicas, para determinar o limite de resistência da estrutura. (segundo os Estados Limites de Serviço e Últimos – ELS e ELU).

Para avaliarmos esse indicador de uma forma simplificada, em OAE's que passaram por intervenções de retrofit, a inspeção visual será o principal norteador desse parâmetro.

"A Obra de Arte Especial ou seus atributos propiciam segurança para os seus usuários e para as dinâmicas urbanas?"

2.3.6 Indicador Simbólico

De acordo com Kohlsdorf[16], as edificações e as áreas urbanas são dimensões que despertam sentimentos diferentes nos seres humanos. A legibilidade de um determinado lugar, uma determinada obra, arquitetônica ou artística, representa a facilidade com a qual o olhar individual consegue relacionar o lugar à uma lembrança, pregressa ou futura, que pode ser entendida como a viabilizadora da avaliação do valor simbólico.

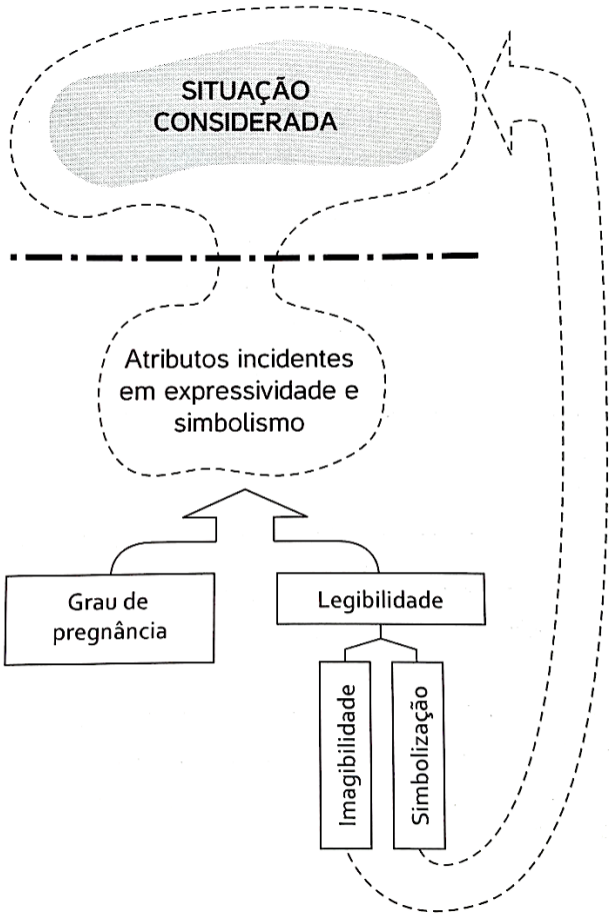


Figura 72 – Cadeia de critérios para avaliação de desempenho simbólico dos lugares. Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017.

Para avaliação simbólica de uma área urbana, o grupo de atributos que podem ser correlatos à esse indicador, se articula entre as Leis de Gestalt, qualidades semânticas, Leis de composição plástica, fenômenos de

[16] Kohlsdorf, G. Kohlsdorf, M. E. Ensaio sobre o desempenho morfológico dos lugares. Brasília: FRBH, 2017.

configuração, diferenças notáveis, qualidades tectônicas, elementos convencionais, tipos de significados e níveis de significados.

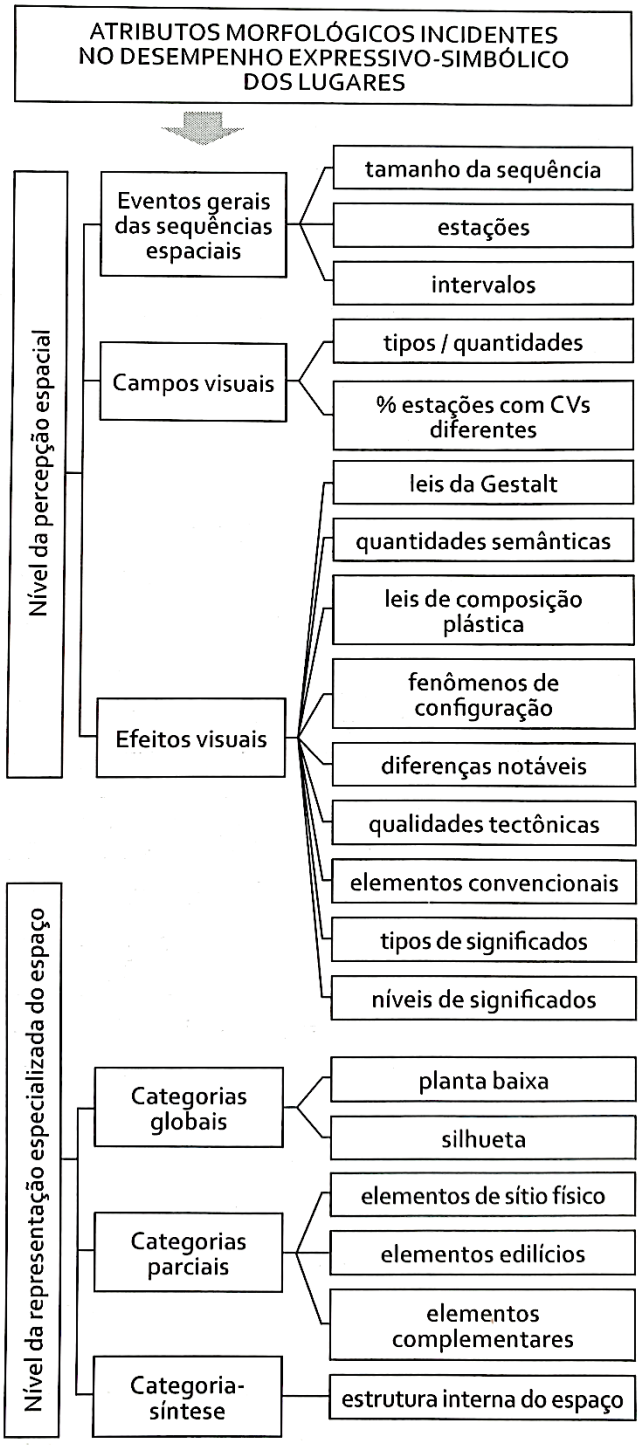


Figura 73 – Quadro síntese dos atributos morfológicos incidentes no desempenho simbólico dos lugares.
Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017.

O atributo simbólico pressupõe um olhar diferenciado sobre o bem patrimonial que se relaciona ao inconsciente do indivíduo que observa e se relaciona com um determinado objeto, mesmo este sendo uma edificação. Há atribuições positivas ou negativas quando nos referimos a símbolos. O vocábulo “símbolo” é comumente entendido como signo, ou seja, um objeto que é capaz de carregar em si referências a outro, seja por analogia ou por alguma semelhança entre os dois. Essa é uma relação construída culturalmente e um símbolo só existe quando persiste essa correlação entre objeto e sentido ou significado a ele atribuído. Por exemplo, a catedral metropolitana de Brasília, apesar de seu desenho moderno e completamente diferente das igrejas tradicionais existentes no país, configurou-se como um símbolo católico utilizado em todo o Brasil.

Os bens patrimoniais estão profundamente vinculados à memória da sociedade e relacionados a fatos e acontecimentos históricos, portanto fazem parte da construção da identidade de uma determinada população e por isso são preservados pelas gerações presentes com o objetivo de formar a herança e a preservação dos símbolos, crenças, conhecimentos, história e cultural para as gerações futuras. Os estudos conduzidos no livro, tratando-se de obras de arte especial da infraestrutura urbana, possuem atributos simbólicos para a sociedade na qual estão inseridos?

Desta maneira, a pergunta sugerida para classificar as obras de arte especial é: ***“Como a OAE ou seus atributos representam ideias e crenças e se relaciona com a identidade de uma população ou nação sob a forma de símbolo?”***

2.3.7 Indicador social

Esse valor vislumbra o impacto social que as intervenções de retrofit urbano vão gerar para a população atual e as gerações futuras, tendo em vista o estilo de vida de uma sociedade antropizada, durabilidade da obra da infraestrutura e relativas soluções construtivas empregadas.

Os locais patrimoniais costumam ser marcos espaciais e sociais, que caracterizam o entorno e lhe conferem uma própria identidade, recriando um senso de lugar para identidade local e regional. Preservando nossa herança, o retrofit urbano pode ajudar a manter e fortalecer a percepção das pessoas sobre suas próprias tradições e história, fornecendo novas perspectivas e horizontes para o futuro. Além disso, a refuncionalização de espaços obsoletos ao público, graças ao reaproveitamento adaptativo do patrimônio construído, pode proporcionar novas dinâmicas sociais nos locais próximos à infraestrutura urbana e assim contribuir para a requalificação urbana.

Assim sendo, a pergunta sugerida para atribuir esse indicador as obras de arte especial é: **“A Obra de Arte Especial da infraestrutura urbana ou seus atributos propiciam um potencial de desenvolvimento para a sociedade atual ou futura?”**

2.3.8 Indicador de uso

O espaço físico das cidades contemporâneas, é considerado como um verdadeiro ambiente planejado pelos arquitetos e urbanistas, no qual se articulam as atividades humanas. A dimensão funcional de uma área urbana está intrinsecamente relacionada com a adequação da sua morfologia espacial à vivência das pessoas.

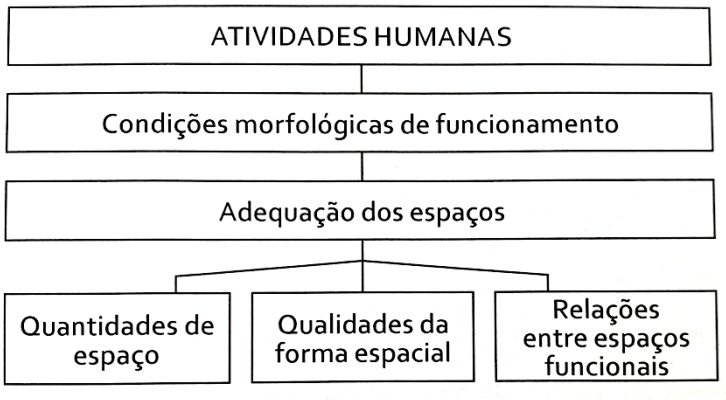
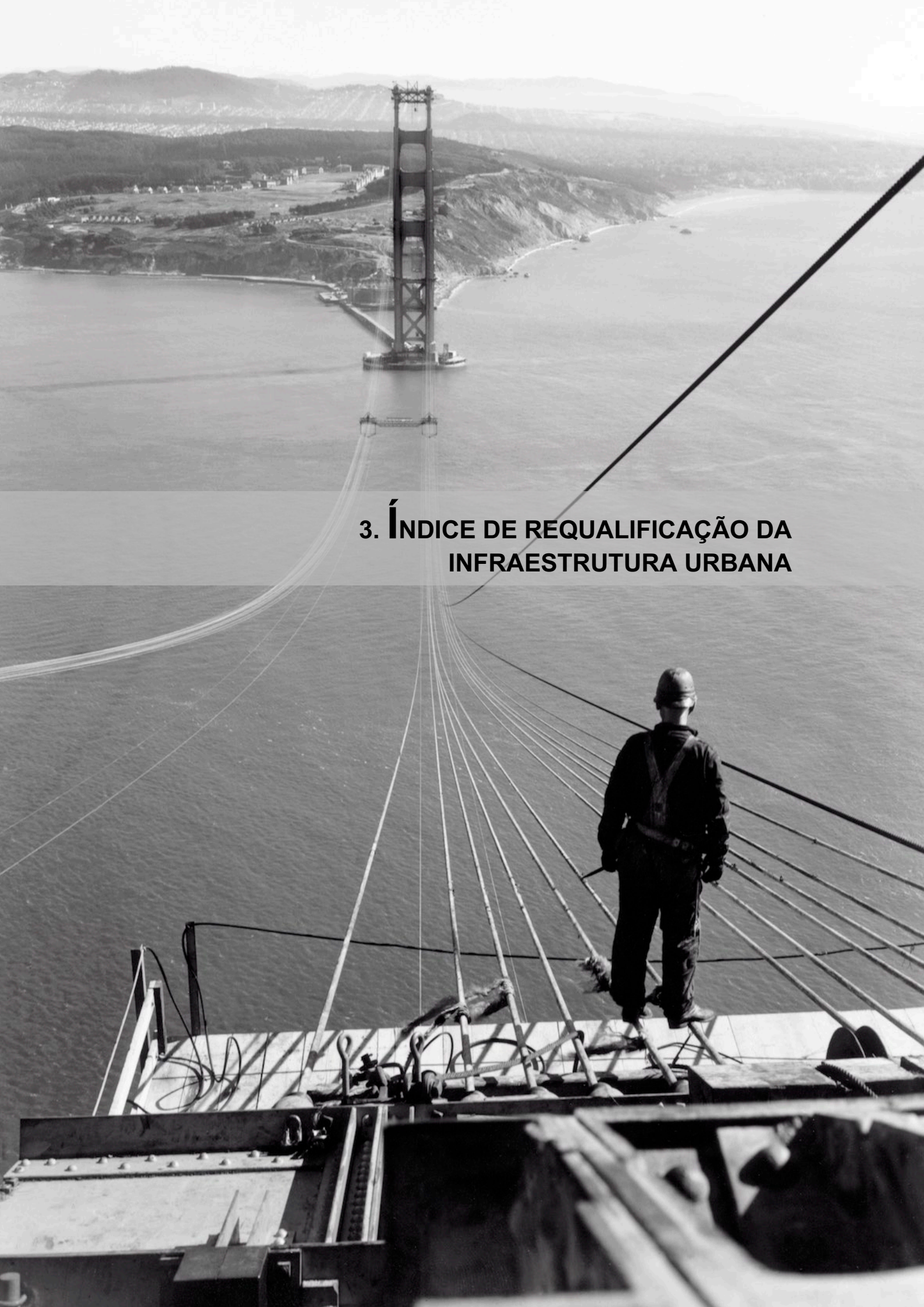


Figura 74 – Características básicas dos espaços funcionais. Fonte: Gunter Kohlsdorf e Maria Elaine Kohlsdorf, 2017.

Observando para a figura acima, dentro das questões que abrangem a adequação dos espaços, existem três macros abordagens que o caracterizam, sendo respectivamente quantitativa, qualitativa e relacional.

Função e uso, significa tudo aquilo para que uma edificação foi concebida, planejada ou construída. E, por Uso, por sua vez, compreende-se a forma como empregamos um determinado objeto, utensílio ou bem. Desta maneira, o valor de uso está relacionado também a sua utilidade e assim associado ao valor econômico.

Um determinado bem patrimonial, incluindo as obras de pontes e viadutos que constituem os principais elementos de conexão da rede urbana, pode ser utilizado para abrigar funções comerciais, administrativas, habitacionais, de ensino, culturais, entre outras, e assim seu valor de uso pode também ser um valor potencial, ou seja, o bem em questão pode possuir características que durante a intervenção permitam a introdução de novas funções e da maneira pela qual o bem é útil à sociedade em transformação. A pergunta proposta para individuar a dimensão de uso, é: ***"Qual é a utilidade do bem ou atributo para a sociedade com a qual está se relacionando?"***



3. ÍNDICE DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA

Como visto no capítulo anterior, o retrofit urbano é uma prática de intervenção na escala da cidade, apta a requalificar e re-funcionalizar uma determinada área e seus equipamentos urbanos, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas que usufruem dos espaços públicos. Portanto, esse conceito não se qualifica apenas como uma reforma, mas como uma substituição de elementos que se tornaram obsoletos ao longo do tempo. No caso da infraestrutura urbana, analisada como propulsor da virtuosidade das conexões viárias das cidades, precisamos buscar alguns parâmetros que sejam eficazes para entendermos como buscar a conservação do Patrimônio Moderno e, sua consequente durabilidade.

O livro propõe o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana – IRU – que considera um modelo multicritério para avaliar o patrimônio infraestrutural moderno, composto pelas Obras de Arte Especiais. Para tanto, o estudo apresenta aplicação de análise integrada do ambiente urbano por meio de três conjuntos, ou macro dimensões, sendo o *Estrutural*, de *Instalações* e *Implantação*. Foram adotados os oito indicadores urbanos descritos no capítulo anterior, possuindo o mesmo valor unitário. As três dimensões, definidas com diferentes pesos para formar a composição do IRU, foram utilizadas para orientar a avaliação das intervenções de retrofit urbano e, consequentemente, para classificar a infraestrutura urbana de pontes e viadutos a partir dessa premissa. Essas escalas, englobam um conjunto de elementos relevantes que permitem estabelecer uma interação dos elementos arquitetônicos e urbanos com a sociedade e o patrimônio tombado das cidades contemporâneas. Além de melhorar a compreensão do desempenho das infraestruturas no espaço urbano, a metodologia utilizada visa determinar um parâmetro simples e de fácil compreensão para qualificar adequadamente as intervenções de retrofit. Os estudos de caso selecionados para o livro, propiciaram a exemplificação para obtenção do IRU de forma mais clara, já que estamos utilizando analogias para a análise do retrofit urbano. Sendo uma prática ainda pouco explorada no Brasil, por falta de legislação específica sobre o assunto, a requalificação urbana pode se tornar um aliado para promover a preservação das nossas cidades.

Em primeira instância, a abordagem metodológica de investigação sobre os diversos objetos arquitetônicos relacionados à infraestrutura urbana, como

pontes, viadutos, deve seguir um *iter* de ação, que começa pelo levantamento dos dados relativos à concepção arquitetônica e estrutural do objeto em questão. Quando tratamos desse tipo de obras, devemos entender a grandeza dimensional do objeto em questão, inserção na escala urbana da cidade, seu papel funcional de conexão viária e a segurança que proporciona aos usuários que por lá trafegam por meio de transporte particular ou público, entre outros. Além disso, as questões relativas à autoria da plástica arquitetônica e do arranjo estrutural das Obras de Arte Especiais analisadas, resultam fundamentais para entender as logicas construtivas da época, deixando um importante registro histórico para todos. A avaliação do ambiente construído urbano se baseia em valores referentes às expectativas sociais e dimensões morfológicas dos lugares, classificando-as em dimensão bioclimática, copresencial, econômico – financeira, expressivo – simbólica, funcional e topoceptiva, entre outras. Para alcançar o objetivo geral deste estudo, a metodologia proposta visa avaliar as Obras de Arte Especiais de pontes e viadutos a fim de garantir a preservação do Patrimônio Construído. A metodologia utilizada para obtenção do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana – IRU, prevê o emprego de um modelo multicritério, baseado na média ponderada de três macro dimensões utilizadas para infraestrutura urbana, assim sendo:

- **Estrutural** (peso 55%): conjunto de 7 sub-elementos estruturais típicos dos sistemas de *infraestrutura*, *mesoestrutura* e *superestrutura* que compõem uma Obra de Arte Especial (tabela 4).

- **Instalações** (peso 15%): conjunto formado por 5 sub-elementos referentes aos sistemas básicos, sustentáveis e tecnológicos aplicáveis à infraestrutura de pontes e viadutos (tabela 5).
- **Implantação** (peso 30%): conjunto formado por 6 sub-elementos referentes à acessibilidade, paisagismo e elementos das áreas externas (tabela 6).

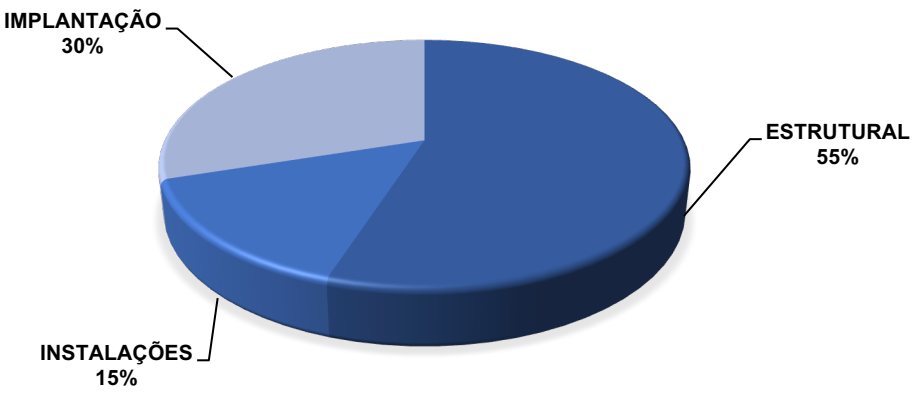


Figura 75 – Gráfico da composição do IRU para OAE's.

Tratando-se de Obras de Arte Especiais da infraestrutura urbana, a dimensão Estrutural foi normalizada para adquirir o maior peso, calibrado em 55% do total, representando uma série de sub-elementos, apresentados a seguir.

Estrutural - Obra de Arte Especial
1 - BLOCOS DE FUNDAÇÃO Elementos estruturais de fundação em concreto armado, que transmitem as cargas das superestruturas para o solo.
2 - CORTINAS DE CONTENÇÃO Elementos estruturais de contenção do solo (em concreto armado).
3 - LAJES DO TABULEIRO Elementos planos de sustentação do trânsito rodoviário, se apoiam em elementos de vigamento horizontal, como longarinas e transversinas.
4 – PILARES Elemento estrutural vertical, cuja função consiste na absorção das tensões oriundas pela superestrutura e, consequentemente, as descarrega para a infraestrutura solo+fudações.
5 - SISTEMA DE APOIO Sintema de conexão e vinculação estática entre o sistema do tabuleiro e de sustentação vertical (pilar).
6 - VIGAMENTO PRINCIPAL Elementos horizontais principais representados por vigas longarinas (maior vão).
7 - VIGAMENTO SECUNDÁRIO Elementos horizontais secundários representados por vigas transversinas (menor vão).

Tabela 4 – Elementos constituintes a dimensão estrutural de uma OAE.

Todos os sub-elementos estruturais adotados na tabela acima compõem o conjunto do sistema resistente de uma OAE sendo que, nos estudos de caso

apresentados nesse livro, não foram consideradas todas aquelas componentes estruturais típicas das pontes estaiadas, como estais e mastros, entre outros.

$$\textbf{ESTRUTURA} = \frac{\Sigma\ (\text{BLOCOS+CORTINAS+LAJES+PILARES+APOIOS+LONGARINAS+TRANSVERSINAS})}{7}$$

Os conjuntos das *Instalações* e *Implantação*, apresentados e discriminados nas tabelas a seguir (10 e 11), foram ajustados de maneira tal que representassem, respectivamente, 15% e 30% do peso total do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana. As *Instalações* foram construídas a partir de cinco itens, os principais em âmbito tecnológico relacionado à infraestrutura de pontes e viadutos. Assim sendo, foi atribuído um peso de 15% para a computação do cálculo final do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana, deixando-o como parâmetro menos significativo respeito ao de *Implantação* (30%) e ao Estrutural (55%). A formulação para sua obtenção, resulta na seguinte expressão:

$$\textbf{INSTALAÇÕES} = \frac{\Sigma\ (\text{CLIMATIZAÇÃO+DRENAGEM+ILUMINAÇÃO+ENERGIA+MONITORAMENTO})}{5}$$

Instalações - Obra de Arte Especial (OAE)
8 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO O sistema de climatização tem como objetivo controlar a temperatura, umidade, movimentação, renovação e qualidade do ar de um determinado ambiente.
9 - SISTEMA DE DRENAGEM Conjunto de estruturas que são instaladas em um determinado local com o intuito de reter e transpor as águas pluviais.
10 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO O sistema de iluminação tem seus projetos e especificações de materiais voltados para eficiência energética, redução de custos e atendimento aos requisitos fotométricos mínimos estipulados em normas (NBR 5101:1992)
11 - SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL O sistema de energia solar fotovoltaica que capta a luz e gera, pelo efeito fotovoltaico, correntes elétricas contínuas, que são convertidas para correntes alternadas. Dessa forma, a eletricidade é distribuída ou armazenada no local.
12 - SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL Sistema de detecção precoce de danos na estrutura, prevendo situações críticas e falhas estruturais, reduzindo os tempos de intervenção e custos com reparos.

Tabela 5 – Elementos constituintes o sistema de Instalações de uma OAE.

Finalmente, a terceira dimensão, representada pelo conjunto dos cinco sub-elementos da *Implantação*, constitui o 30% do IRU e deve ser contemplado dessa maneira:

$$\textbf{IMPLANTAÇÃO} = \frac{\Sigma\ (\text{ACESSIBILIDADE+CALÇADAS+PAISAGISMO+VEGETAÇÃO+MOBILIÁRIO})}{6}$$

Implantação - Obra de Arte Especial (OAE)
13 – ACESSIBILIDADE Possibilidade de acessar um lugar, serviço, produto ou informação de maneira segura e autônoma, sem nenhum tipo de barreira arquitetônica, beneficiando a todas as pessoas, com ou sem deficiência e em todas as fases da vida.
14 – CALÇADAS A calçada é o espaço público reservado ao pedestre para os deslocamentos diários realizados na cidade.
15 – CICLOVIA Pista destinada exclusivamente à circulação de bicicletas.
16 – PAISAGISMO Técnica de projetar, planear e preservar os espaços urbanos, de forma a criar micro paisagens, de acordo com critérios estéticos e sustentáveis de cada lugar.
17 – VEGETAÇÃO A arborização urbana, caracterizada pela vegetação que compõe o cenário ou a paisagem das cidades, tem uma função fundamental na melhoria da qualidade de vida da população, proporcionando aos municípios benefícios ecológicos, estéticos, econômicos e sociais.
18 - MOBILIÁRIO URBANO Termo coletivo para objetos e equipamentos urbanos instalados em ruas e estradas para diversos propósitos.

Tabela 6 – Sub-elementos constituintes o sistema de Implantação de uma OAE.

A partir da bibliografia utilizada para elaborar a lista dos indicadores, que fossem capazes de definir de forma qualitativa a infraestrutura urbana representada por OAE's, foram individuados oito parâmetros avaliativos para cada sub-elemento contido nas três macros dimensões (*Estrutural*, *Instalações* e *Implantação*) para obtenção do IRU. Os indicadores selecionados para avaliação da infraestrutura urbana de pontes e viadutos são o ambiental, artístico, de durabilidade, econômico, de segurança estrutural, simbólico, social e, finalmente, de uso.

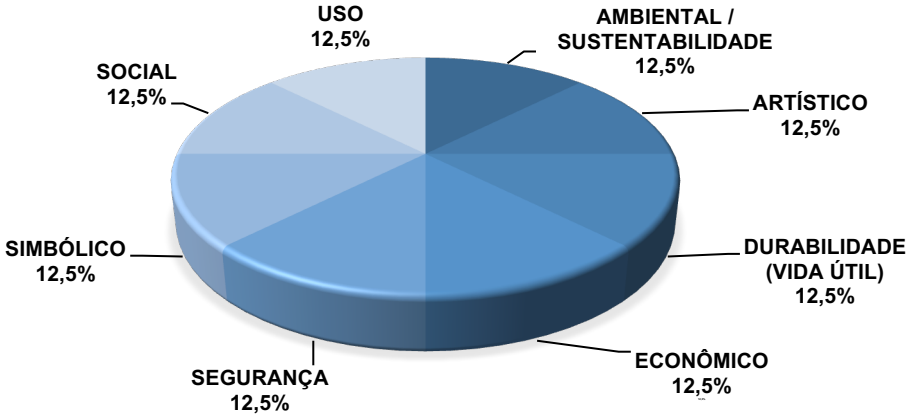


Figura 76 – Gráfico da composição dos Indicadores utilizados para avaliação das OAE's.

INDICE DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA EM ÁREAS TOMBADAS - I.R.U.									
0.A.E. ANO. PROJETISTA. LOCAL. STATUS.									
INDICADOR	**Ambiental**	**Artístico**	**Durabilidade (vida útil)**	**Econômico**	**Segurança**	**Simbólico**	**Social**	**Uso**	**Total parametrizado**
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO									
CORTINAS DE CONTENÇÃO									
LAJES DO TABULEIRO									
PILARES									
SISTEMA DE APOIO									
VIGAMENTO PRINCIPAL									
VIGAMENTO SECUNDÁRIO									
ESTRUTURAL GLOBAL									
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO									
SISTEMA DE DRENAGEM									
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO									
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL									
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL									
INSTALAÇÕES GLOBAL									
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE									
CALÇADAS									
CICLOVIA									
PAISAGISMO									
VEGETAÇÃO									
MOBILIÁRIO URBANO									
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									
I.R.U.									

Figura 77 – Modelo de ficha avaliativa para obtenção do IRU.

Após ter inserido todos os 8 indicadores escolhidos para obter o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana – IRU, deve ser atribuída uma avaliação simplificada para cada sub-elemento das dimensões (estrutural, instalações e implantação), que consta nas opções SIM ou NÃO, por meio do levantamento documental, da análise visual em loco e, naqueles casos nos quais não foi possível averiguar o elemento de forma presencial, do rico acervo fotográfico disponível. Preenchendo a ficha avaliativa, deve ser valorada uma nota para cada indicador específico em cada sub-elemento, resultando na célula do *Total Parametrizado,* referenciado numa escala que varia de 0 a 8, pela qual cada SIM representa o valor unitário de 1. Assim sendo, o mínimo é representado pelo valor de 0/8 e, o máximo, pelo valor de 8/8. Esse "*range"* da escala foi parametrizado de 0 a 1, para que o processo de obtenção de valores ficasse mais claro, simples e direto para qualquer escopo. Portanto, para obter essa proporcionalidade, basta simplesmente utilizar a seguinte equação:

$$X : 8 = TP : 1$$

Onde

X = Incógnita que representa o numero gerado pela quantidade de "SIM".

TP = Incógnita que representa o valor do *Total Parametrizado*.

Atribuído um ponto para cada um dos valores "SIM" e, uma vez que toda a ficha tiver preenchida de acordo com os critérios metodológicos adotados, devemos utilizar a expressão abaixo para obtenção do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana - IRU, assim sendo:

IRU = ((ESTRUTURA x 0,55) + (INSTALAÇÕES x 0,15) + (IMPLANTAÇÃO x 0,30))

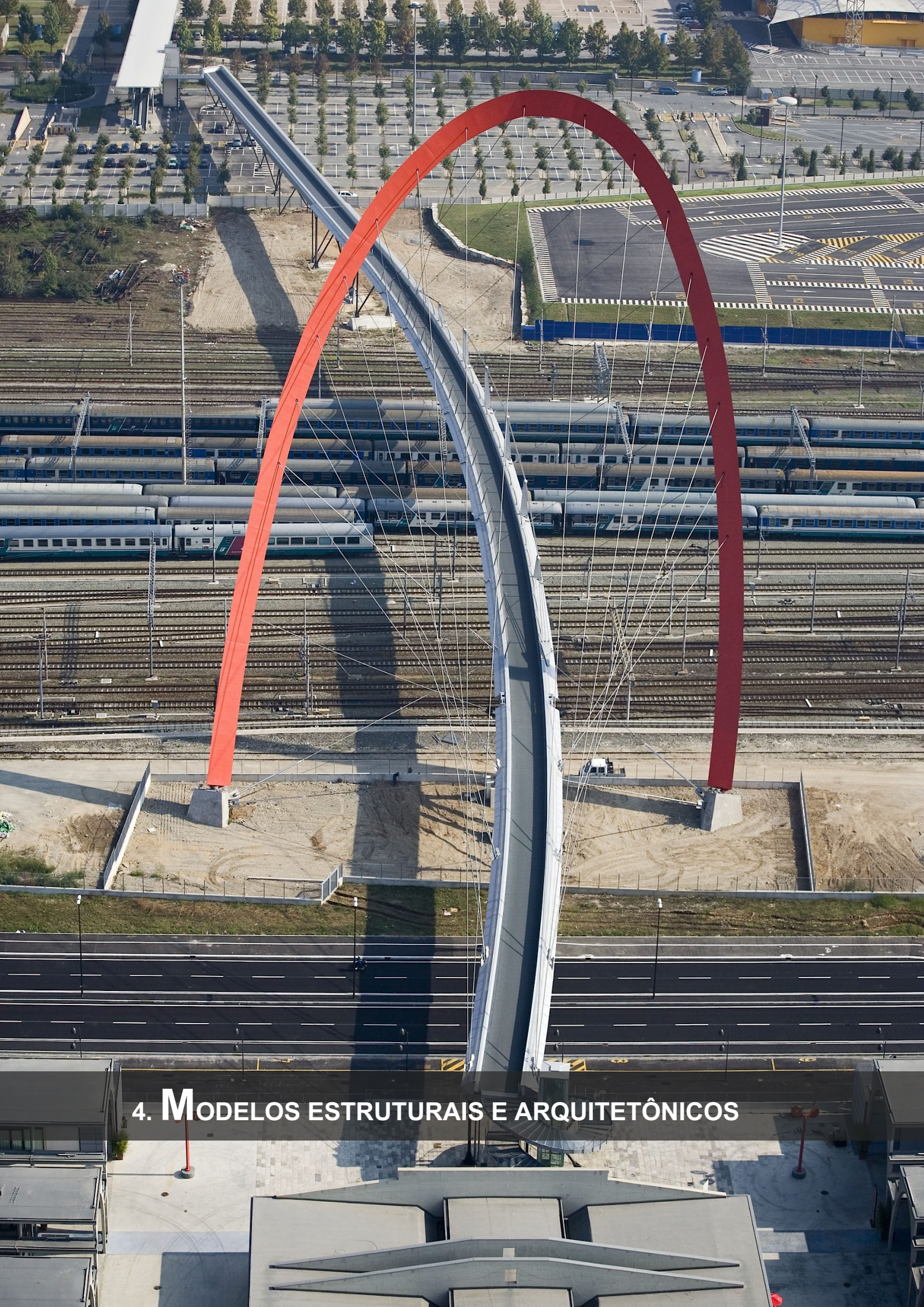
Finalmente, uma vez obtido o índice a partir dessas três dimensões (*Estrutural*, *Instalações* e *Implantação*), podemos proceder com a classificação das intervenções de retrofit urbano a partir de seis níveis ou graus, sendo que ao IRU ≥ 0,9 corresponde o *Grau Máximo – Estado de Requalificação Global*, enquanto ao valor 0, corresponde o *Grau Mínimo – Estado de Obsolescência.*

Para cada uma das seis classificações elaboradas, foi atribuída uma cor diferente, remetendo à escala cromática, que visasse sinalizar de forma gráfica e intuitiva o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana.

IRU	CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES	COR
0,9 - 1	**GRAU MÁXIMO** - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO GLOBAL	ATENDE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,7 - 0,8	GRAU SUPERIOR - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO PARCIAL	ATENDE PARCIALMENTE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,5 - 0,6	GRAU MÉDIO - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	
0,3 - 0,4	GRAU MÉDIO INFERIOR - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0,1 - 0,2	GRAU INFERIOR - ESTADO DE CRITICIDADE ESTRUTURAL	ATENDE PARCIALMENTE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0	**GRAU MÍNIMO** - ESTADO DE OBSOLESCÊNCIA	NÃO ATENDE A NENHUM PARÂMETRO DOS INDICADORES PROPOSTOS	

Tabela 7 – Níveis de classificação do IRU.

Definido o escopo e os processos metodológicos a serem aplicados aos estudos de caso das Obras de Arte Especiais localizadas em áreas de tombamento, encerramos este capítulo para começarmos o raciocínio sobre os objetos da análise e investigação do livro: o Viaduto sobre a Galeria dos Estados e o Trevo de Triagem Norte, localizados no plano piloto de Brasília, e a Ponte San Giorgio, implantada em Génova (região norte da Itália).



4. MODELOS ESTRUTURAIS E ARQUITETÔNICOS

A escolha das Obras de Arte Especiais e dos modelos estruturais / arquitetônicos apresentados no livro, deveu-se às características artísticas e urbanísticas das infraestruturas, época de execução, tecnologia construtiva do concreto protendido, localização em áreas tombadas e heterogeneidade das causas que levaram às intervenções de retrofit urbano. É de fundamental importância salientar que, o capítulo quinto, traz uma importante contribuição acerca do registro histórico, documental e iconográfico da infraestrutura urbana das OAE's. Esse patrimônio material representado pelas pontes e viadutos, muitas das vezes, vem sendo analisado apenas do ponto de vista estático e estrutural, em detrimento das características históricas e artísticas que o destacam. A partir dessa premissa, o capítulo visa apresentar os estudos de caso de uma forma analítica, pretendendo deixar um registro historiográfico dessas obras, estruturadoras das conexões nas cidades contemporâneas.

O primeiro modelo, representado pelo Viaduto sobre a Galeria dos Estados em Brasília – DF, foi escolhido por diversos fatores, enfatizando aqueles que realçam sua importância estruturadora na malha urbana da capital tombada e a natureza do colapso estrutural que sofreu, nesse caso parcial e sem vítimas humanas. Ainda mais, por estar inserida dentro do perímetro tombado de uma cidade reconhecida como patrimônio mundial pela UNESCO, e por ter sido concebida pelo traço do arquiteto Lúcio Costa e pelo engenho do calculista Bruno Contarini, essa infraestrutura possui todas as características necessárias para embasar a metodologia anteriormente proposta. Além disso, a intervenção de retrofit urbano na área do Viaduto, mostrou a qualidade do projeto arquitetônico, urbanístico e estrutural, proporcionando um espaço ameno para os seus usuários.

No caso do segundo estudo apresentado, o parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte (TTN), os motivos da escolha verteram sobre a extraordinária expressividade da intervenção urbanística em um trecho rodoviário tão crítico e extenso, representada por uma implantação de 13 OAE's entre pontes e viadutos de concreto armado e protendido. A Ponte do Braghetto, ícone do patrimônio infraestrutural brasiliense, faz também parte do complexo rodoviário do TTN, mostrando uma obra que experimentou a tecnologia estrutural e construtiva da protensão parcial, implementada pelo engenheiro responsável Aderson Moreira da Rocha. A intervenção de retrofit urbano promovida no Trevo de Triagem Norte

abrange todas as prerrogativas metodológicas que foram costuradas no capítulo anterior, com intuito de produzir um pensamento crítico a partir da resolução de um problema de natureza relacionada ao tráfego rodoviário.

O terceiro estudo de caso proposto, trata sobre a infraestrutura da Ponte San Giorgio, fruto da reação do homem ao desabamento estrutural catastrófico, causando 43 vítimas humanas. Essa premissa é de fundamental importância para que possamos entender o tipo de intervenção realizada para esse trecho crucial da infraestrutura rodoviária italiana. A antiga ponte Morandi, protendida e estaiada, não existe mais. Hoje, renomeada de San Giorgio, como o santo, a Ponte de Génova é uma estrutura que entra de direito na história das grandes obras infraestruturais italianas tanto pela magnitude dimensional e importância que tem na rede rodoviária italiana, como pelo breve período em que foi reconstruída (menos de dois anos), enfrentando as dificuldades operacionais introduzidas pela pandemia do Coronavírus, que afetou a população mundial. Se voltarmos para o 14 de agosto de 2018, quando a antiga ponte literalmente desabou sob o peso dos anos e do abandono, podemos entender bem como não pode haver nome melhor do que o de San Giorgio para retratar o orgulho genovês de uma grande infraestrutura rodoviária.

A peculiaridade de ter utilizado essas três Obras de Arte Especiais reside no fato delas proporem diferentes intervenções de retrofit urbano, a partir de três experiências iniciais diferentes. Utilizando essas diversidades como premissa, notou-se que, durante a avaliação qualitativa de cada OAE, o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana – IRU se adaptou de maneira flexível aos modelos estudados.



4.1 VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS, Brasília – DF, Brasil

4.1.1 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural

O objeto de estudo em análise faz parte da infraestrutura viária da área central de Brasília, proporcionando o acesso direto à Rodoviária do Plano piloto para todos os usuários que transitam as Asas Norte e Sul, setores bancários, comerciais, hospitalares e de autarquias. Localizado na parte sul do Eixo Rodoviário de Brasília (DF-002), o Viaduto está centralizado no coração comercial do plano piloto.

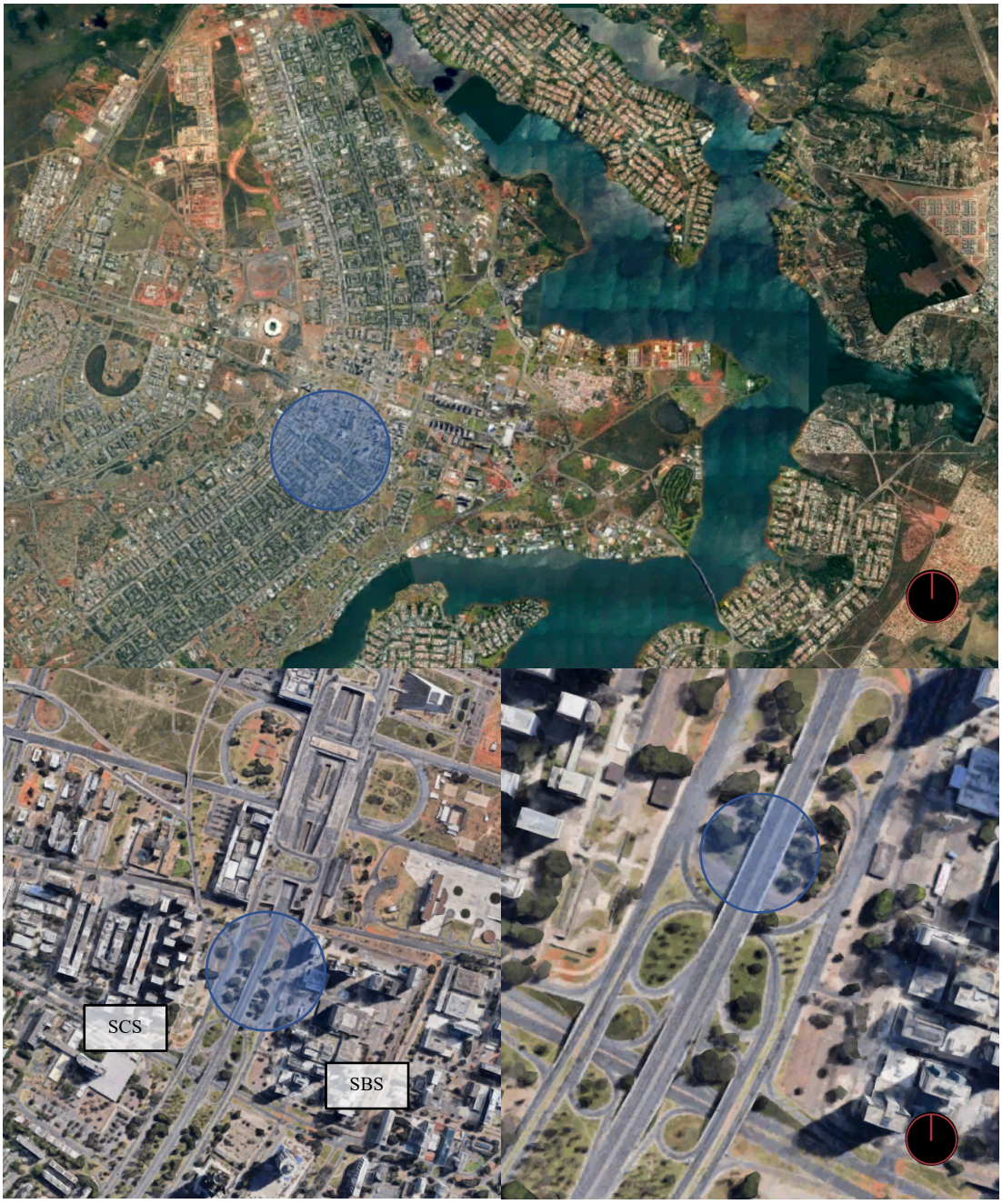


Figura 78 – Localização da infraestrutura urbana, Plano Piloto, Eixo Rodoviário, Brasília - DF.

O Viaduto sobre a Galeria dos Estados é uma via concebida sob a visão rodoviarista destinada para a realização de grande parte dos deslocamentos Sul-Norte e vice-versa, considerada, portanto, uma das principais artérias viárias de Brasília tanto em termos de importância no que tange à estrutura urbana, quanto em termos de volume veicular.

A infraestrutura urbana, composta por seis faixas de trânsito e uma faixa presidencial central, totalizando 28 metros de largura e aproximadamente 200 metros de extensão, foi concebida e construída entre dezembro de 1959 e fevereiro de 1960 pelo arquiteto Lúcio Costa e o engenheiro Bruno Contarini, calculista do Oscar Niemeyer.

O Viaduto sobre a Galeria dos Estados consta de uma estrutura composta por 8 lajes alveolares, protendidas independentemente, apoiadas em 7 pilares de concreto protendido e 2 cortinas de contenção nas extremidades, sendo uma das obras pioneiras a utilizar esse tipo de tecnologia em Brasília. Os apoios das lajes, de tipo GERBER, permitem uma razoável simplificação na determinação das equações de momento fletor e esforço cortante.

Para entendermos a importância dessa infraestrutura da capital, na nota 7, referente ao Relatório do Lúcio Costa sobre Brasília, emerge a priorização desse eixo viário:

> *"Desse modo e com a introdução de três trevos completos em cada ramo do eixo rodoviário e outras tantas passagens de nível inferior, o tráfego de automóveis e ônibus se processa tanto na parte central quanto nos setores residenciais sem qualquer cruzamento. Para o tráfego de caminhões estabeleceu-se um sistema secundário autônomo com cruzamentos sinalizados, mas sem cruzamento ou interferência alguma com o sistema anterior, salvo acima do setor esportivo e que acede aos edifícios do setor comercial ao nível do subsolo, contornando o centro cívico em cota inferior, com galerias de acesso previstas no terrapleno".*
>
> (COSTA, 1991)

4.1.2 Os pilares e as cortinas de contenção

Os novos pilares do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, mais robustos e duráveis, mantiveram o formato em “asa delta” dos antigos apoios, respeitando as proporções previstas pela escala Gregária idealizada pelo arquiteto Lúcio Costa. Os elementos de sustentação vertical são 9, sendo 7 pilares possuindo as mesmas características formais / geométricas e duas cortinas de contenção. Cada pilar é feito de concreto maciço, possui uma seção transversal de largura variável e duas alças que remetem ao formato de asa delta.

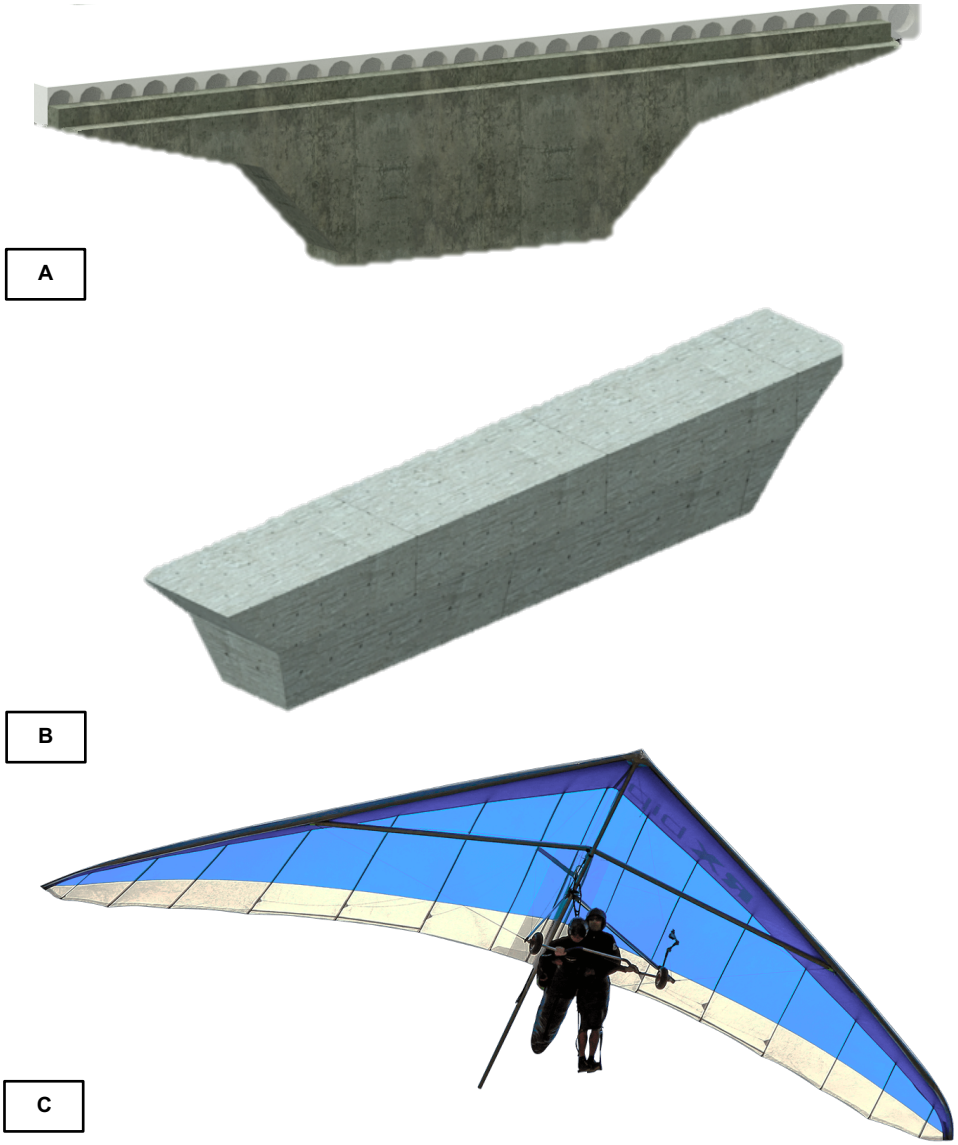
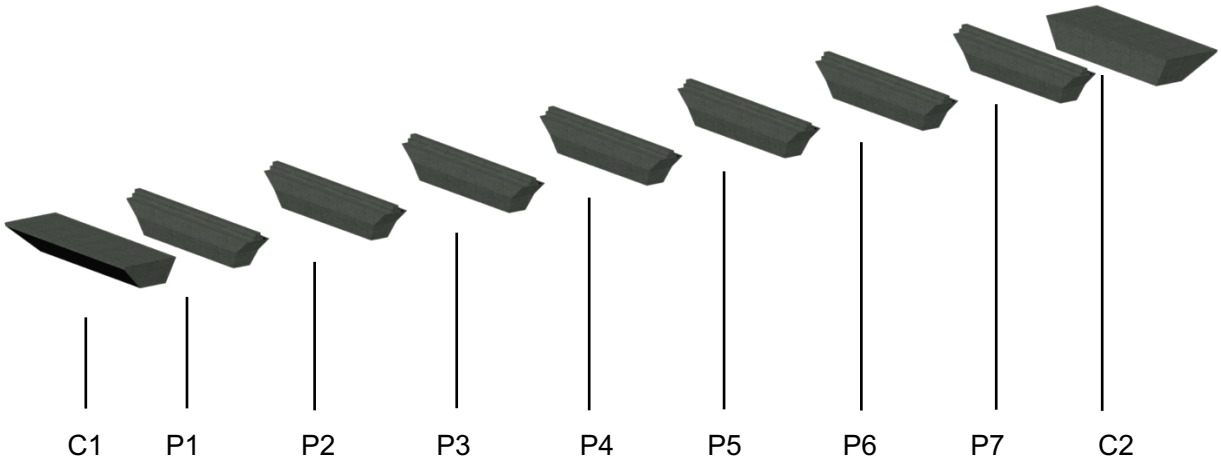


Figura 79 – A. Antigo pilar, Pré-retrofit. B. Novo pilar, Pós-retrofit. C. Asa delta. (A, B) GardaFlyingParadise (C)

Além dos pilares, existem duas cortinas de contenção de concreto protendido, que delimitam fisicamente o trecho dessa infraestrutura urbana. Nesse paragrafo, a seguir, será apresentado um mapeamento (figura 80) de todos os elementos estruturais de apoio vertical, a partir do Sul e terminando em direção ao norte.



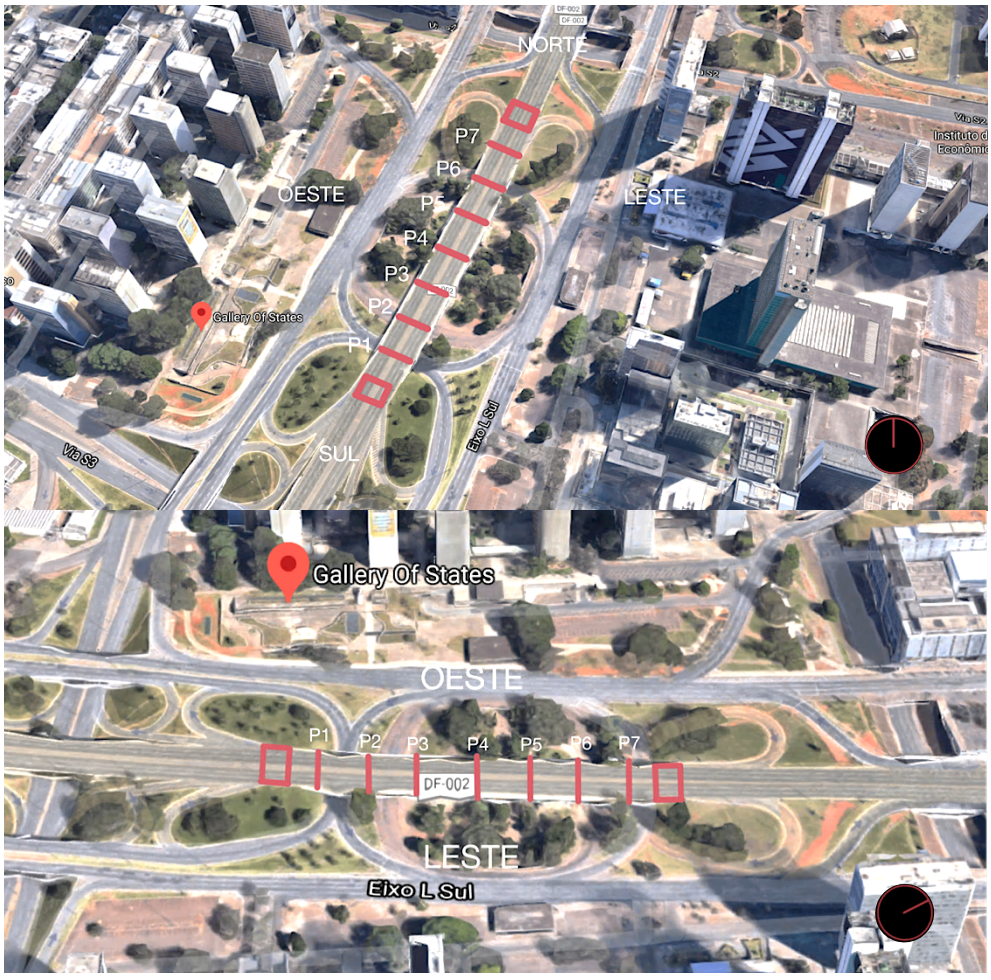


Figura 80 - Mapeamento dos pilares Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

A cortina de contenção sul representa o começo do Viaduto sobre a Galeria dos Estados e, portanto, o primeiro apoio vertical da infraestrutura urbana. Este elemento não sofreu alterações estruturais após o desabamento parcial, mantendo a volumetria original idealizada durante a criação dessa obra de arte. A figura 81 mostra a localização da cortina sul.

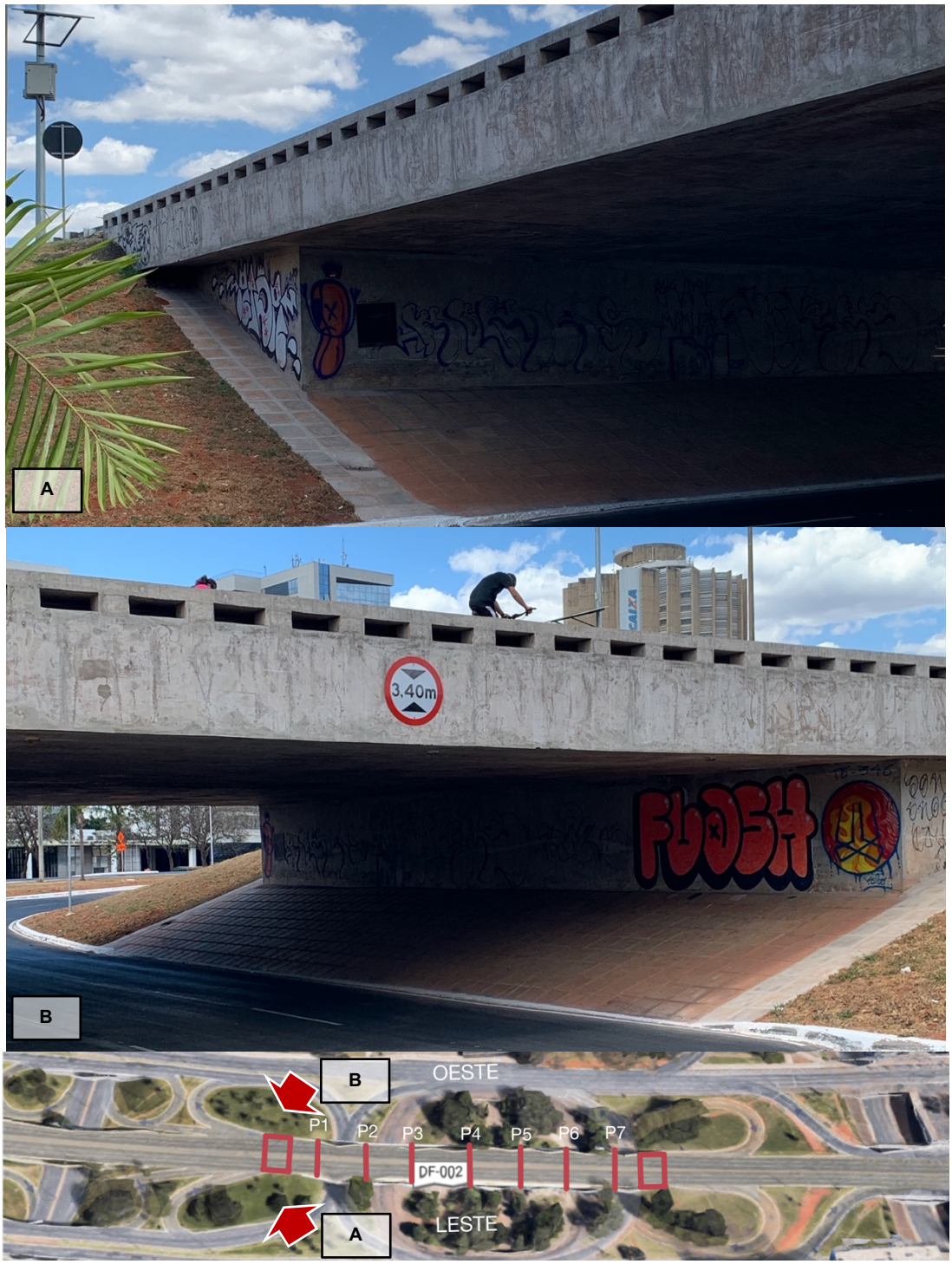


Figura 81 – A. Cortina de contenção sul, vista leste. B. Cortina de contenção sul, vista oeste.

O primeiro pilar, nomeado como P1, está localizado na parte sul do Viaduto, logo após a cortina de contenção sul.



Figura 82 - Pilar 1, Lado Leste, vista frontal.



Figura 83 - Pilar 1, vistas sul (acima) e norte.



Figura 84 - Pilar 1, Lado Oeste, vista frontal.

O segundo pilar a partir da orientação sul do viaduto, nomeado como P2, está localizado logo após o pilar P1 e a cortina de contenção sul.



Figura 85 - Pilar 2, Lado Leste, vista frontal.



Figura 86 - Pilar 2, vistas sul (acima) e norte. .



Figura 87 - Pilar 2, Lado Oeste, vista frontal.

A figura 93 retrata a vista do lado sul do antigo pilar P2, reforçado estruturalmente após o desabamento parcial do conjunto infraestrutural. O terceiro pilar, nomeado como P3, está localizado logo após os pilares P2, o P1 e a cortina de contenção sul.



Figura 88 - Pilar 3, Lado Leste, vista frontal.



Figura - 89 Pilar 3, vistas sul e norte.



Figura 90 - Pilar 3, Lado Oeste, vista frontal.

O quarto pilar, nomeado como P4, representa o pilar central do inteiro conjunto e está localizado logo após os pilares P3, P2, P1 e a cortina de contenção sul. Este pilar, junto ao P5, abriga a passagem da Galeria dos Estados, ponto central do projeto de infraestrutura brasiliense.



Figura 91 - Pilar 4, Lado Leste, vista frontal.



Figura 92 - Pilar4, vistas sul e norte.



Figura 93 - Pilar 4, Lado Oeste, vista frontal.



Figura 94 - Galeria sobre os Estados, Lado Leste, vista frontal.

O quinto pilar, mapeado como P5, está localizado logo após os pilares P4, P3, P2, P1 e a cortina de contenção sul. Este apoio vertical, juntamente ao anterior P4, abriga a famosa Galeria dos Estados.



Figura 95 - Pilar 5, Lado Leste, vista norte.



Figura 96 - Pilar 5, vistas sul e norte.

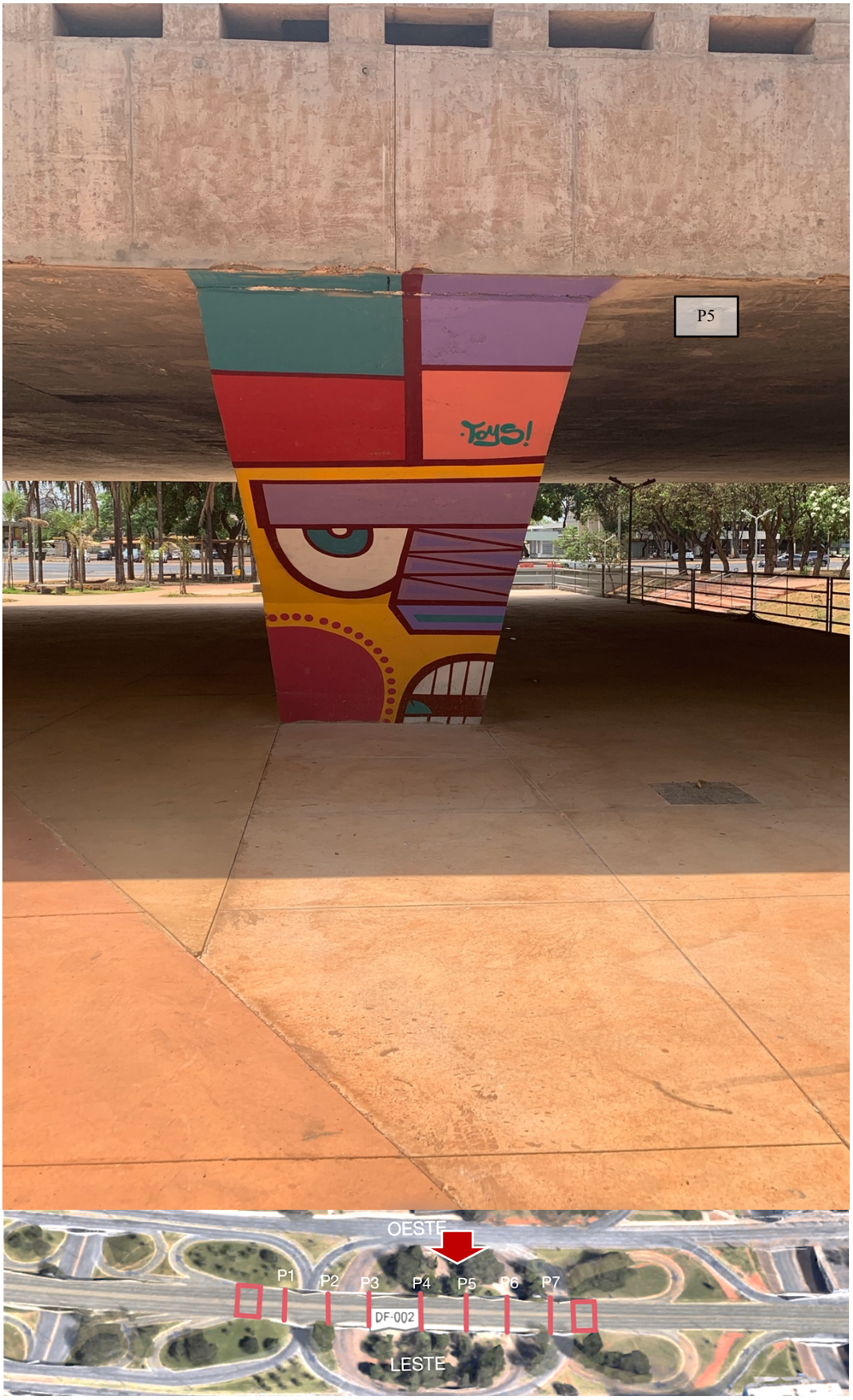


Figura 97 - Pilar 5, Lado Oeste, vista frontal.

O pilar 6, nomeado como P6, está localizado logo após os pilares P5, P4, P3, P2, P1 e a cortina de contenção sul.



Figura 98 - Pilar 6, Lado Leste, vista norte.



Figura 99 - Pilar 6, vistas sul e norte.



Figura 100 - Pilar 6, Lado Oeste, vista frontal.

O pilar P7, implantado após os pilares P6, P5, P4, P3, P2, P1 e a cortina de contenção sul, é o pilar de toda a infraestrutura mais próximo à cortina de contenção norte, sendo ele o último apoio do conjunto do Viaduto sobre a Galeria dos Estados. Esse apoio, junto ao P6 e ao tabuleiro sustentado pelas alças localizadas na orientação oeste do viaduto, foi o elemento estrutural mais afetado pelo desabamento parcial do conjunto.



Figura 101 - Pilar 7, Lado Leste, vista norte.



Figura 102 - Pilar 7, vistas sul e norte.



Figura 103 - Pilar 7, Lado Oeste, vista frontal.

As lajes L7 e L8, apoiadas entre o P6 / P7 e P7 / Cortina de contenção norte, respectivamente, foram as únicas duas a serem demolidas e reconstruídas integralmente, com a ajuda de longarinas protendidas, vigas “T”

invertidas na cabeça dos pilares e conexão GERBER com as novas lajes. Finalmente, o último elemento de apoio da infraestrutura urbana do Viaduto sobre a Galeria dos Estados é constituído pela cortina de contenção, ilustrada abaixo.



Figura 104 - Cortina de contenção norte.

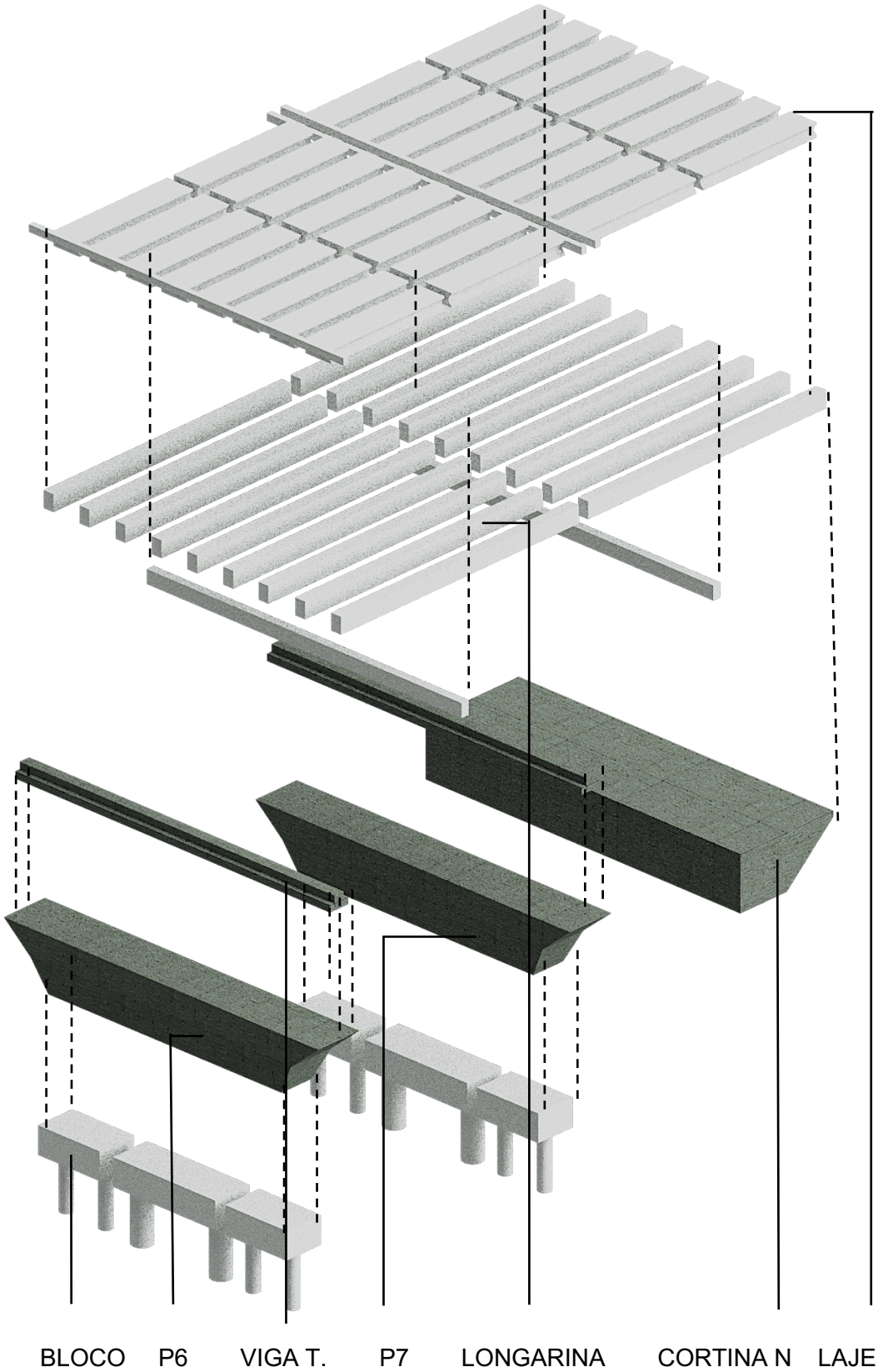


Figura 105 - Esquema estrutural 3D do Viaduto e arranjo das conexões entre vãos dos pilares.

4.1.3 As lajes, o vigamento horizontal e o sistema de drenagem

O Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi concebido com um sistema estrutural formado por 8 lajes alveolares protendidas, apoiadas por dentes GERBER. Após o desabamento estrutural parcial de um trecho de laje apoiado entre o P6 e o P7, foi executada a demolição total da L7 e reconstituída com vigas longarinas protendidas, mantendo o partido arquitetônico original da infraestrutura urbana.

As outras lajes, sendo elas a L1, L2, L3, L4, L5, L6 e L8, terminadas as operações de retirada de concreto das cabeças e da armadura existente, foram reforçadas com novas longarinas protendidas.



Figura 106 - Longarinas protendidas antes do capeamento da laje elástica.

O tabuleiro do viaduto, composto pelas lajes e pelas longarinas e transversinas, possui uma altura total de 1,05m. Nas novas lajes entre o P6 e o P7, reforçadas por longarinas protendidas e por uma laje de consolidação continua ao longo de todo o Viaduto, é garantida a hiper estaticidade do elemento plano. O esquema estrutural tridimensional das novas lajes reforçadas, composto por longarinas protendidas, transversinas, trechos de laje alveolar

preexistente, laje de 12 cm e capeamento com asfalto de 5 cm, está representado na figura abaixo.

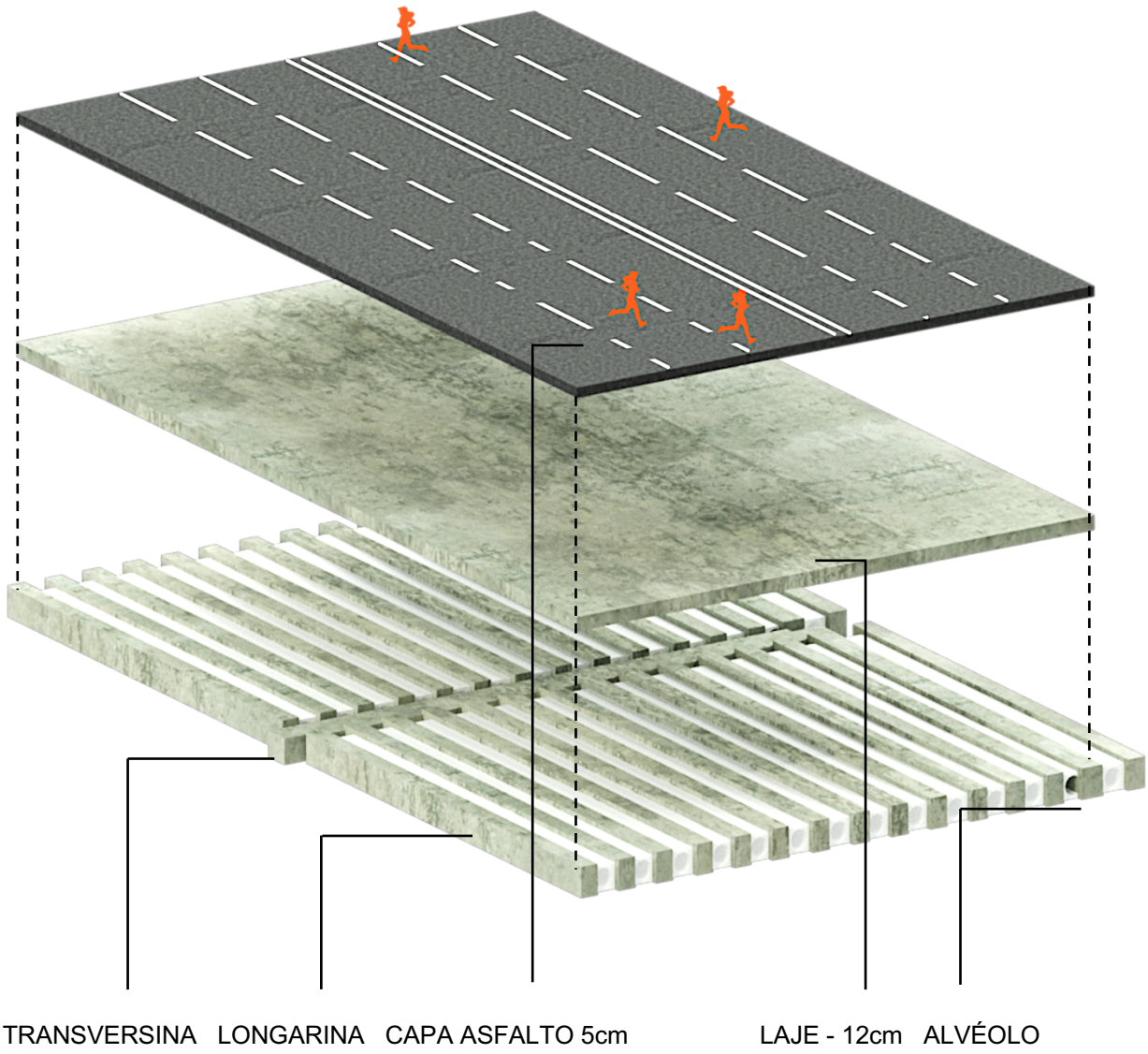


Figura 107 - Esquema estrutural 3D da nova laje do Viaduto.

Para o levantamento das lajes, foi executado um mapeamento de todos os elementos estruturais planos, seguindo a mesma logica dos pilares anteriormente apresentados, a partir do Sul e terminando em direção ao Norte. Diferentemente do antigo projeto, as galerias de águas pluviais foram eliminadas para favorecer a instalação de buzinotes que, de forma direta, permitam o rápido escoamento das águas pluviais evitando assim a infiltração da água nos elementos estruturais.

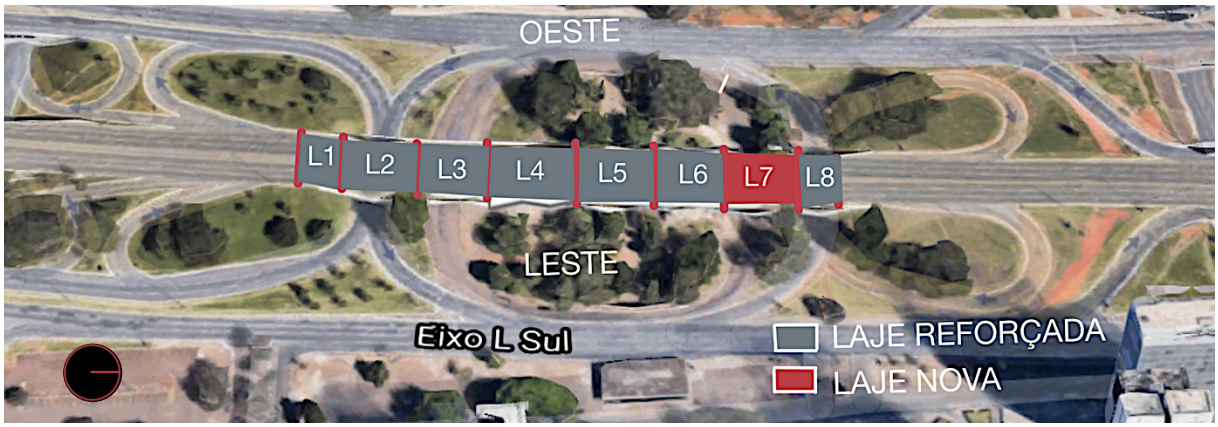


Figura 108 - Mapeamento lajes do Viaduto sobre a Galeria dos Estados,

Os buzinotes, localizados no trecho oeste da Viaduto por causa da declividade da estrutura (figura 115), são 34, distribuídos em 5 unidades a cada vão entre as cortinas de contenção e os pilares adjacentes (P1 e P7) e em 4 a cada vão entre apoios (P1 / P2, P2 / P3, P3 / P4, P4 / P5, P5 / P6, P6 / P7).



Figura 109 - Buzinotes de escoamento instalados na parte oeste do Viaduto entre os vãos dos pilares P6 e P5.

A intervenção de Retrofit para o Viaduto sobre a Galeria dos Estados trouxe uma tecnologia já amplamente utilizada na construção civil, o concreto permeável. Esse material possui um alto índice de vazios interligados que garante a passagem de grandes volumes de água pluvial, aliviando a rede pública de drenagem.

Abaixo dos buzinotes de queda das águas pluviais, foi colocada uma pavimentação de concreto permeável para permitir um escoamento mais rápido, evitando a formação de eventuais poças de água que dificultariam o transido de pedestres. Na figura abaixo, aparece a pavimentação com os pontos permeáveis para coleta das águas pluviais previstos no projeto de Retrofit.



Figura 110 - Ponto de escoamento em pavimentação drenante, concreto permeável, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF

4.2 Desabamento estrutural e metodologia de atuação (pós colapso)

A importância estruturadora do Viaduto da Galeria dos Estados centraliza a ideia da circulação viária da cidade, permitindo aos usuários de Brasília rápido acesso aos extremos da capital. Acontecido em 6 de fevereiro de 2018, por volta das 11h45, o desabamento paralisou o fluxo de trânsito nessa porção nodal de Brasília.



Figura 111 - Local do desabamento do Viaduto sobre a Galeria dos Estados

O processo de degradação em uma estrutura submetida à diferentes esforços e solicitações, além das ações ambientais variáveis, é determinada por diferentes fatores quais a baixa qualidade dos materiais, problemas na fase de projeto, de execução de obra e a falta de manutenção periódica.

A procura da durabilidade de uma estrutura, devido ao aumento da qualidade de vida dos usuários e à concorrência sempre maior do mercado, é uma tendência que domina o panorama internacional atual da construção civil.

A preservação patrimonial do Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi garantida por meio de uma análise empírica sobre o status das condições nas quais versava e serão expostas as causas que geraram o desabamento da alça do pilar e do trecho do tabuleiro alveolar.



Figura 112 - Vista do elemento de laje em ruína parcial, Viaduto sobre a Galeria dos Estados.



Figura 113 - Local do desabamento do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

A concepção arquitetônica e estrutural do Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi gerada de uma forma que resultou difícil em manutenção à infraestrutura. As galerias de águas pluviais foram feitas em caixão perdido, propiciando a entrada de água / detritos e favorecendo a infiltração da mesma

na estrutura. Analisando o estado de deterioração das armaduras e a complicada logística para executá-las, foram detectadas patologias oriundas ao fenômeno de infiltração de água, incluindo trincas e fissuras.

Os três principais agentes que favoreceram a formação das patologias que afetaram a infraestrutura urbana foram a temperatura, a água e o dióxido de carbono.

As estruturas de concreto, assim como outras, estão sujeitas à dilatação e à contração devido à variação de temperatura. Parte dessa retração de origem térmica fica restringida por vários motivos (própria rigidez interna do concreto e vinculação da estrutura no solo), gerando tensões de tração que ultrapassaram a capacidade de resistência mecânica do concreto, ocasionando fissuras. Devido também à existência de infiltrações de água, ocorreu um processo de dissolução e transporte da cal hidratada presente no concreto, chamado de lixiviação. Esse produto lixiviado, ao interagir com o dióxido de carbono presente no ar, resultou na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, gerando eflorescência. As consequências ocorridas resultaram na redução da resistência mecânica do material e permitiram a entrada de gases e líquidos agressivos às armaduras e ao próprio concreto.

O mecanismo de infiltração da água por um longo período na ligação entre o tabuleiro e o pilar, devido às juntas de dilatação e à presença de fissuras de contração nessa região, já indicava a necessidade de intervenção emergencial no local em que ocorreu a ruptura do trecho do tabuleiro protendido do Viaduto sobre a Galeria dos Estados (coincidente ao Pilar P7).

Devido também à percolação da água através das trincas existentes por um período prolongado, houve corrosão das armaduras em elevado grau e consequente fenômeno de despassivação. Dessa forma, por causa da corrosão das armaduras ativas do pilar P7, o elemento estrutural não foi capaz de suportar o carregamento dinâmico dos veículos levando-o ao estado de colapso, sobrecarregando a alça em balanço do pilar P6, que também desabou.



Figura 114 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto.

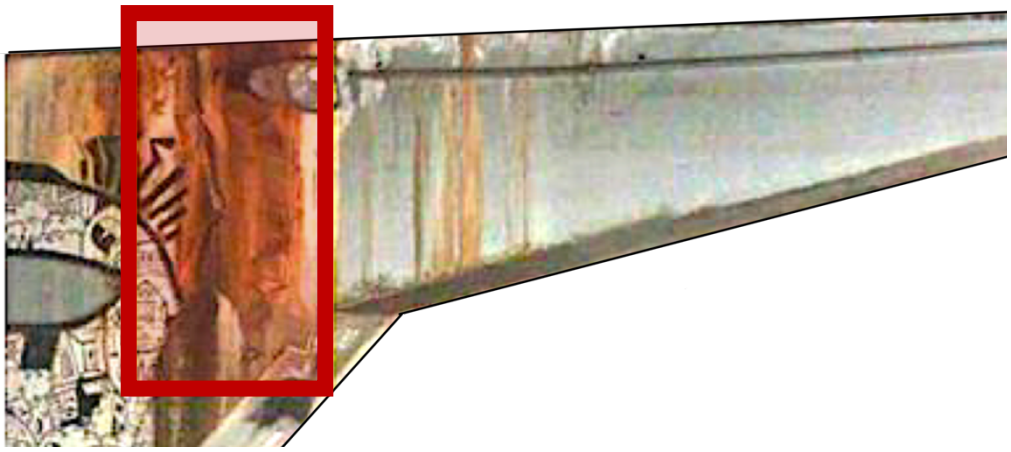


Figura 115 - Fissuras ocorridas no pilar P7 antes do colapso estrutural.



Figura 116 - Corrosão das cordoalhas protendidas.

O concreto produzido com cimento Portland comum resulta em um material bastante alcalino e não favorece o desencadeamento de reações de corrosão nas armaduras. Com a penetração de ar nos poros do concreto, em meio úmido, na estrutura do viaduto ocorreram reações químicas que deram origem ao carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (carbonatação, figura 117). O processo de carbonatação redundou em uma acentuada queda no pH do concreto, com consequente redução na proteção das armaduras, gerando despassivação das mesmas.



Figura 117 - Extração do corpo de prova mostrando carbonatação.

As análises qualitativas e quantitativas das equipes da Novacap, DER e UnB, levantaram a causa do acidente que levou ao desabamento do tabuleiro do Viaduto sobre a Galeria dos Estados. A ocorrência de elevados níveis de corrosão nas cordoalhas de protensão existentes nas “alças” em balanço dos pilares do Viaduto propulsionaram o colapso parcial da estrutura em questão.

O processo de corrosão das armaduras ativas e passivas se deu por causa do fenômeno de infiltração de água que, ao longo do tempo de vida útil do Viaduto, desde a sua inauguração, decretou a sua queda parcial.

As fissuras, localizadas nas regiões de conexão entre o tabuleiro e o apoio do pilar, as juntas de dilatação, se manifestaram intensamente devido à uma falha de concreto estrutural e armadura passiva (vergalhões e estribos) na região de protensão dos cabos entre os alvéolos da laje do tabuleiro. As alças - em balanço - dos pilares P6 e P7 colapsaram, proporcionando o desabamento do trecho da laje protendida do tabuleiro do Viaduto, sendo que muitas cordoalhas sofreram corrosão devido à percolação da água entre as fissuras no concreto.

Para garantir e proporcionar segurança para a população brasiliense, foram tomadas diversas ações que visassem minimizar o impacto causado pelo colapso estrutural do tabuleiro do Viaduto.



Figura 118 - Trecho do tabuleiro em ruína e área externa antes do Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF. Fonte: Tony Winston/Agência Brasília

Em uma primeira fase de crise foram identificados e convocados profissionais qualificados nas diferentes áreas da engenharia civil para trabalhar em equipe, objetivando tarefas de avaliações estruturais, projeto de escoramento metálico, segurança do trabalho e serviços técnicos especializados em construção civil, infraestrutura e viária.



Figura 119 - Inspeção dos órgãos públicos após desabamento, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF. Fonte: André Borges/Agência Brasília

Junto aos órgãos do GDF, incluindo CEB, CAESB, DETRAN, DEFESA CIVIL E PMDF, foram isoladas as áreas de risco e executado o cimbramento para escoramento da estrutura abalada após colapso.

O escoramento da estrutura colapsada foi priorizado para garantir a segurança dos pedestres na região da passarela que conecta o acesso do metrô Estação Galeria dos Estados ao Setor Bancário Sul.

Todos os pórticos metálicos de sustentação provisória da infraestrutura urbana foram calculados pela equipe de especialistas de engenharia civil da Universidade de Brasília. Na primeira etapa foram executados os cimbramentos como solução preventiva de novos eventuais colapsos estruturais na área do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

À medida que foram fabricadas as escoras metálicas verticais, por meio de material reciclado (aço) e mão de obra direta, os cimbramentos provisórios foram substituídos.



Figura 120 - Escoramento metálico de sustentação.

Além desta medida provisória foram instalados medidores de deslocamentos e vibrações na estrutura do Viaduto, particularmente nos pilares P6 e P7 e na laje da passarela de pedestres. O monitoramento, baseado em análise de acelerômetros e inclinômetros, foi utilizado para avaliar o comportamento estrutural do viaduto da Galeria dos Estados e compará-lo com os valores admissíveis pela ABNT NBR 6118:2014 – Projeto e Execução de Obras em Concreto Armado.

Em segunda instância, para assegurar que o fluxo viário contínuo de veículos não fosse comprometido pelo acidente, os órgãos da NOVACAP e DER executaram o projeto de desvio do Viaduto por meio de duas alças, contando com três faixas cada e com uma sinalização vertical e horizontal completa.

Conclusas as operações preliminares emergenciais, foram realizados uma inspeção visual (vistoria) e um levantamento in loco de todas as patologias detectadas nos trechos estruturais do Viaduto. O Laudo de Vistoria Técnica foi realizado nos dias 12 e 13 de fevereiro de 2018 pela Gerente de Projetos da NOVACAP, Rosângela Marx, Arquiteta e Urbanista.

Durante a vistoria prevista pela administração do GDF, foram recolhidos testemunhos de corpos de prova do concreto, da armadura metálica e da cordoalha protendida para a realização dos ensaios de caracterização e resistência dos materiais, bem como da metalografia.

Sucessivamente, nos dias 24 e 25 de fevereiro de 2018, foi realizada a etapa de demolição das vigas de concreto armado rompidas e consequente retirada do entulho gerado pela obra, como mostra a imagem abaixo.

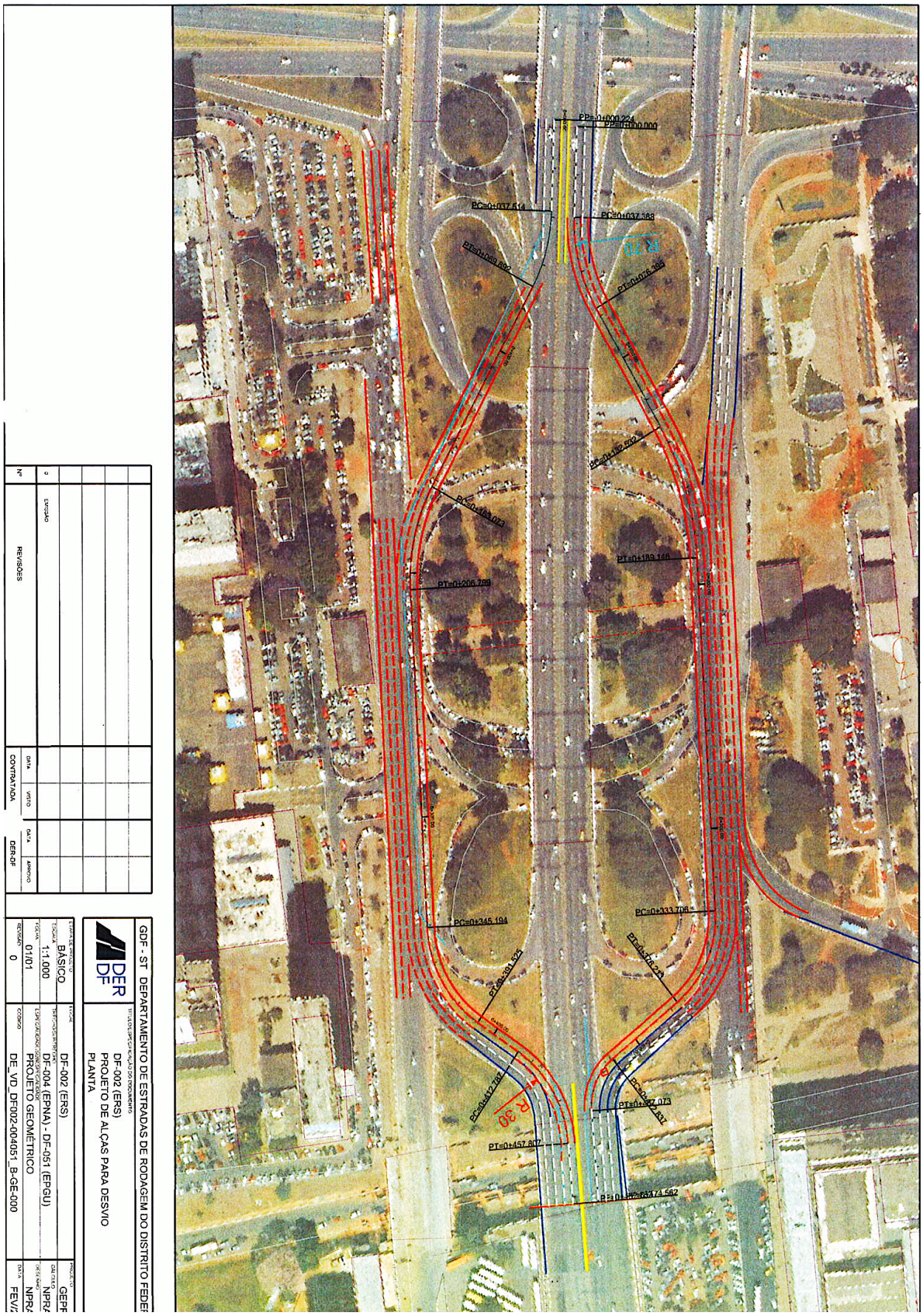


Figura 121 - Projeto das alças para desvio do trânsito do Viaduto sobre a Galeria dos Estados:

4.2.1 Diagnóstico e ensaios de caracterização dos materiais

A equipe da Universidade de Brasília desenvolveu um programa experimental por meio do qual os cientistas pudessem extrapolar todos os valores referentes às características físicas e mecânicas dos materiais estruturais (concreto e aço) constituintes a estrutura do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

Além de extração de testemunhos de corpos de prova de concreto, foram executados ensaios de tração em barras / cordoalhas metálicas e ensaio metalográfico para detectar fragilidades na estrutura superficial das componentes de aço.

Vale ressaltar que os ensaios descrevem apenas as características dos materiais não podendo, portanto, avaliar o status estrutural da infraestrutura urbana. Os ensaios destrutivos nos testemunhos de concreto, que determinam o parâmetro de resistência à compressão do corpo de prova, foram realizados em laboratório, de acordo com as prescrições da ABNT NBR 7680:2015, “Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão”.

O material concreto apresentou uma resistência à compressão bastante satisfatória e os testemunhos se mostraram homogêneos e sem alterações internas. Foram extraídos 4 corpos de prova e foram submissos ao ensaio com uma prensa Forney que produz 100ton de pressão. Como da figura (122), a amostra 001, referente ao Pilar P7, face sul, resultou em um fck de 43,8 Mpa.

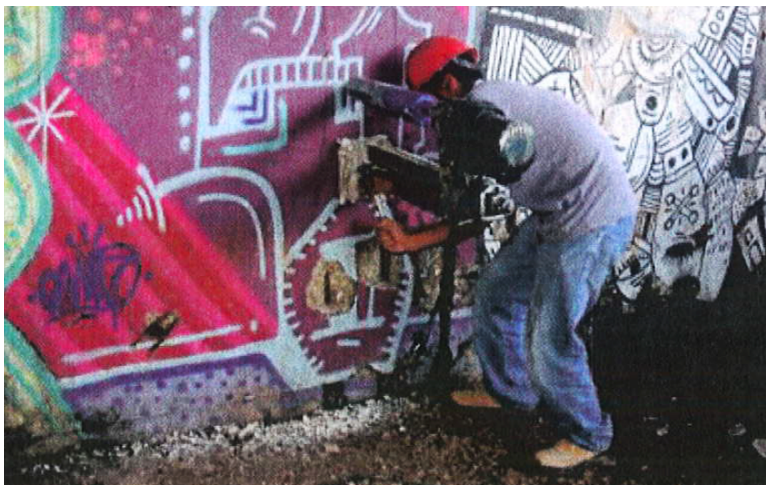




Figura 122 - Corpo de prova 001, P7, face sul.

Seguindo a mesma metodologia de atuação, foram extrapolados também testemunhos pelas faces na orientação norte dos pilares 7 (amostra 002), P6 (amostra 003) e P5 (amostra 004), resultando em resistências à compressão de, respectivamente, 43,30 MPa, 27,90MPa e 33,70MPa. Os parâmetros de resistência do concreto, portanto, indicaram que a qualidade do concreto utilizado foi absolutamente preservada durante a fase de execução do Viaduto.

Amostra	Local da Extração	Tempo de Estocagem	Altura (mm)	Diâm. (mm)	Relação h/D	Massa (g)	$f_{ci,ext,inicial}$ (MPa)	$f_{ci,ext}$ (MPa)
001	Pilar P07	72h	140,53	67,38	2,08	1.137,30	39,50	43,80
002	Pilar P07	72h	140,32	67,36	2,08	1.146,10	39,00	43,30
003	Pilar P06	> 72h	139,78	67,33	2,08	1.136,50	25,10	27,90
004	Pilar P06	> 72h	139,61	67,28	2,08	1.145,90	30,40	33,70

Tabela 8 - Resultados de resistência à compressão dos testemunhos extraídos da estrutura do viaduto.

Concluindo o raciocínio, o concreto extraído dos pilares P6 e P7, apresentou uma resistência superior à estimada na fase de execução da obra, com uma média igual a 30,80 MPa e 43,55 MPa.

Os ensaios de caracterização de resistência à tração das barras e fios de aço e das armaduras passivas e ativas foram realizados de acordo com as prescrições das ABNT NBR 6349:2008, ABNT NBR 6892:2002 e ISSO 15630-1:2010. A equipe de engenheiros da UnB coletou vinte e quatro amostras.

O material aço constituinte a armadura passiva do arranjo estrutural do Viaduto apresentou um elevado nível de corrosão e foi determinada a tipologia de aço utilizado, tipo CA-32. Algumas amostras analisadas pela equipe da UnB, não conseguiram alcançar o nível mínimo de tensão ao escoamento, resultando em uma ruptura prematura devido à pequena área transversal da barra, em estado avançado de corrosão.

O material aço constituinte a armadura ativa do sistema demostrou um elevado nível de corrosão e foi determinada a tipologia de aço utilizado, tipo CP-150 RN.

Portanto, a área transversal das cordoalhas, reduzida de até 50%, encontrou-se em estado avançado de corrosão.

No que tange ao ensaio de metalografia do aço, o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (ENC/UnB) observou, em uma das

amostras, uma severa diminuição da seção transversal, na ordem de aproximadamente 67%.

Amostra	Comp. (mm)	Diâm 1. (mm)	Diâm 2. (mm)	Diâm 3. (mm)	Diâm. Med. (mm)	f_s (MPa)
002 – CORD TR02	483	5,00	4,99	5,04	5,01	>1300
003 – CORD TR02	476	5,05	5,02	4,99	5,02	>1200
001 – CORD 01	472	4,96	5,04	4,34	4,78	>1200
001 – CORD 01a	464	5,38	5,30	5,21	5,30	=1200
002 – CORD 01a	473	5,08	5,43	5,30	5,27	>1100
003 – CORD 01a	473	5,08	4,83	4,98	4,96	>1200
004 – CORD 01a	470	5,25	5,27	5,05	5,02	>1300
001 – CORD 03	469	5,11	5,02	4,15	4,76	>1200
002 – CORD 03	517	5,15	4,79	3,54	4,49	>800
003 – CORD 03	490	5,00	4,64	5,11	4,92	=1200
004 – CORD 03	495	4,15	4,05	4,23	4,14	>1400
005 – CORD 03	493	5,00	4,97	4,90	4,96	=1200
006 – CORD 03	495	4,92	4,26	4,45	4,54	=1400
007 – CORD 03	502	4,76	4,35	4,96	4,69	>1300

Tabela 9 - Resultados do ensaio de tração direta dos fios de protensão utilizados como armadura ativa.

Amostra	Comp. (mm)	Diâm 1. (mm)	Diâm 2. (mm)	Diâm 3. (mm)	Diâm. Med. (mm)	f_s (MPa)
001 - LONG 01	508	6,80	6,76	6,85	6,80	>250
002 - LONG 01	492	6,72	6,64	6,70	6,69	>200
003 - LONG 01	500	7,75	6,89	6,51	7,06	>200
001 – ARM 01	495	6,61	6,52	6,55	6,56	>350
002 – ARM 01	498	5,31	6,87	6,28	6,15	>300
001 - EST - CONS	492	15,76	15,81	15,77	15,78	>300
002 - EST - CONS	492	16,02	15,98	15,91	16,00	=250
003 - EST - CONS	485	15,99	15,92	15,72	15,88	>350
004 - EST - CONS	485	15,56	15,54	15,62	15,57	>300
001 - LONG - CONS	483	13,23	10,70	13,36	12,43	=600

Tabela 10 - Resultados do ensaio de tração direta das barras utilizadas como armadura passiva.

4.2.2 Mapeamento das patologias nos elementos estruturais

O laudo de vistoria técnica, elaborado pelo Relatório Técnico da Novacap (2018), foi executado a partir de uma inspeção visual aos elementos estruturais, nem sempre acessíveis após o desabamento do Viaduto, sendo eles pilares, lajes e galerias das águas pluviais.

O procedimento metodológico adotado para execução do Laudo de Vistoria e mapeamento de patologias, realizado entre os dias 12 e 13 de fevereiro de 2018, abordou quatro principais pontos:

1. Visitas técnicas ao local para inspeção visual in loco;

2. Inspeções visuais foram realizadas nas lajes inferiores e superiores do Viaduto da Galeria dos Estados, nos pilares e nas galerias de águas pluviais, exceto os locais de acesso restrito (P3, P4, P5, P6, L3, L4 e L6);

3. Avaliação de patologias sofridas na estrutura e mapeamento de danos por meio de representações gráficas constando as regiões afetadas e a especificação das tipologias de patologia encontradas;

4. Emissão de Relatório Fotográfico exaustivo e elaboração de um relatório técnico.

As principais patologias detectadas no Viaduto sobre a Galeria dos Estados estão intimamente relacionadas à deficiência no cobrimento das armaduras e à falta de manutenção periódica da estrutura, afetando o estado de conservação da infraestrutura urbana de Brasília. As principais manifestações patológicas identificadas na estrutura de concreto armado, foram:

1. Corrosão e exposição das armaduras;
2. Fissuras;
3. Desplacamento;
4. Lixiviação;

5. Infiltração;
6. Eflorescência;
7. Rugosidade superficial;
8. Obstrução das galerias de águas pluviais.

Os mapeamentos dos elementos estruturais analisados durante o Laudo Técnico foram reelaborados graficamente para melhor entendimento do estado de conservação do Viaduto. Para elaborar um mapeamento quanto mais fiel ao original, a área da face longitudinal do pilar foi dividida em quarenta (40) subáreas, como mostra a figura 129 abaixo.

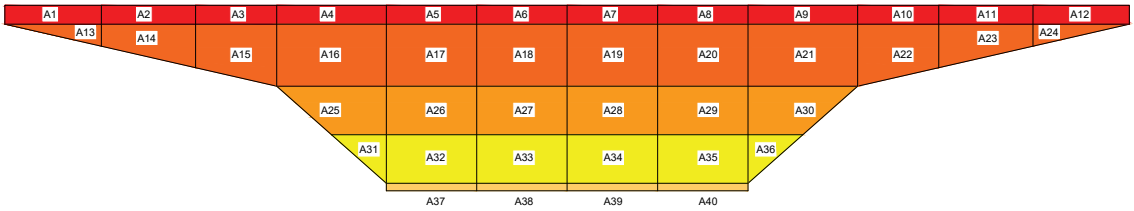


Figura 123 - Mapeamento da superfície do pilar antes do Retrofit em subáreas.

O P1, primeiro pilar mapeado a partir do sul, mostrou nas duas faces longitudinais (norte e sul) sinais expressivos de corrosão da armadura na base inferior, infiltração de água na faixa superior a contato com o tabuleiro e lixiviação nas alças em balanço.



Figura 124 - Pilar 1 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local.

Para o mapeamento das patologias decorrentes nos elementos de apoio da infraestrutura urbana, foi utilizada uma legenda gráfica para facilitar a leitura das diferentes deficiências detectadas.

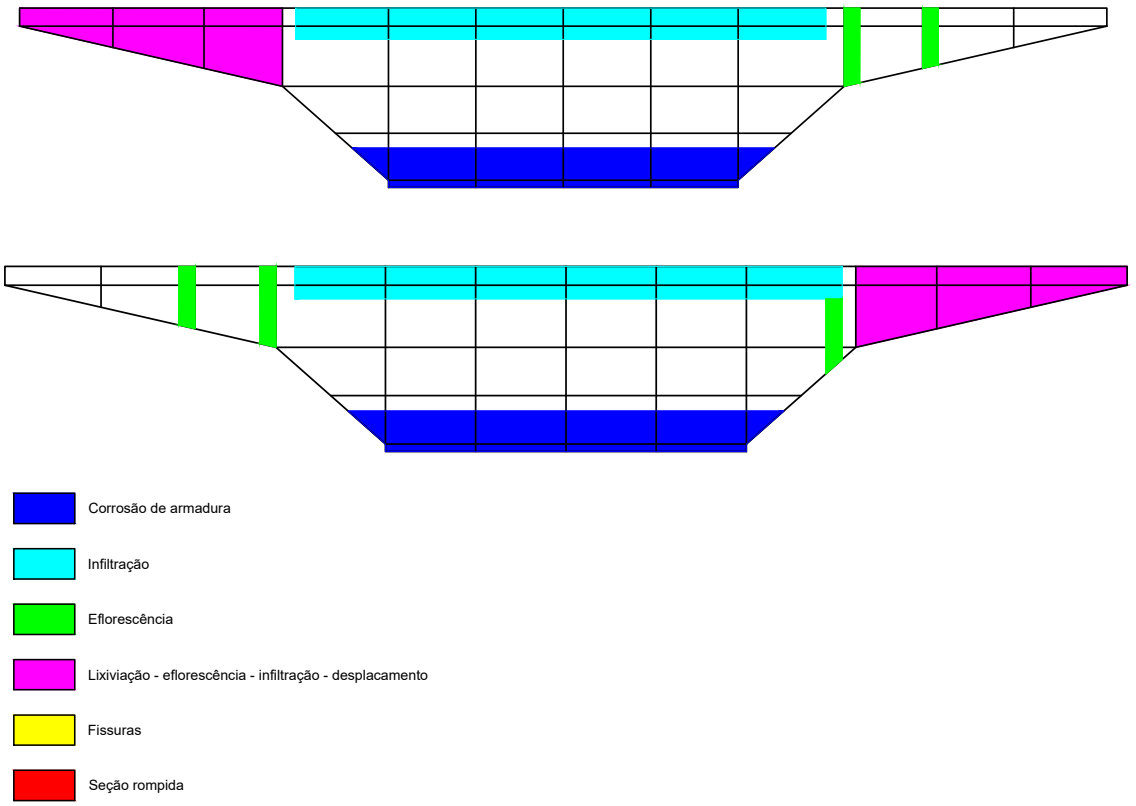


Figura 125 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 1, antes do Retrofit, lado norte (acima) e o sul.

Diferentemente do pilar 1, o pilar P2 não conseguiu ser vistoriado nas duas faces, sendo que, a única que foi levantada, resultou ser a fachada sul.

Os apoios P3, P4, P5 e P6 não foram mapeados durante a vistoria no local após desabamento estrutural por causa de inacessibilidade às faces longitudinais dos elementos verticais. Sendo assim, não foi possível executar uma perícia para todos os pilares do conjunto do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.



Figura 126 - Pilar 2 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local

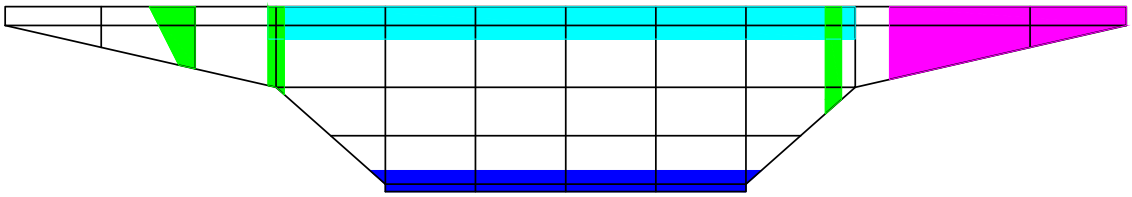


Figura 127 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 2, antes do Retrofit, lado sul.

O pilar P7, junto ao P6, entrou em colapso estrutural parcial devido à ruptura da alça leste protendida e, sem dúvida, representa o elemento vertical mais afetado pelo desabamento oriundo. Esse apoio mostrou uma elevada presença de corrosão nas armaduras da base inferior, infiltração de água na porção superior das faces norte / sul e seção rompida, determinando obsolescência para o cumprimento do próprio papel estrutural na infraestrutura do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.



Figura 128 - Pilar 7 antes do Retrofit, lado sul, durante a vistoria visual ao local.

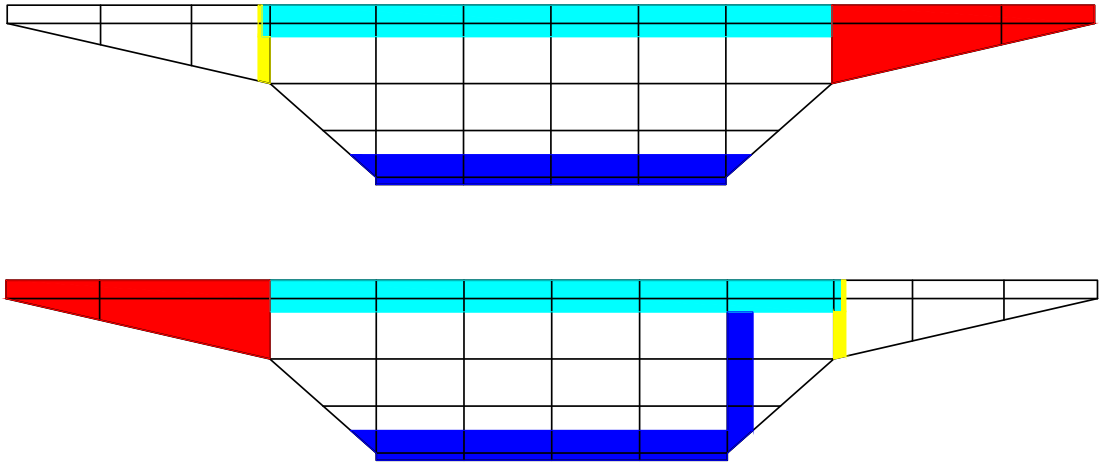


Figura 129 - Novo mapeamento de patologias para o Pilar 7, antes do Retrofit, lado norte (acima) e o sul.

O mapeamento das 8 lajes alveolares protendidas, registrado durante a vistoria da estrutura após colapso estrutural, foi elaborado apenas para os elementos L1, L2, L5, L7 e L8 para inviabilidade de acesso aos outros elementos planos. A renomeação das lajes foi feita a partir do sentido sul ao sentido norte, da mesma maneira da classificação dos pilares do Viaduto.

Tratando do elemento L1, na parte inferior, as principais patologias detectadas pela arquiteta da Novacap foram armadura exposta, fissuração inicial e falta de concretagem em vários pontos da superfície plana. A laje L1 é o elemento que se apoia entre a cortina de contenção sul e o pilar P1.

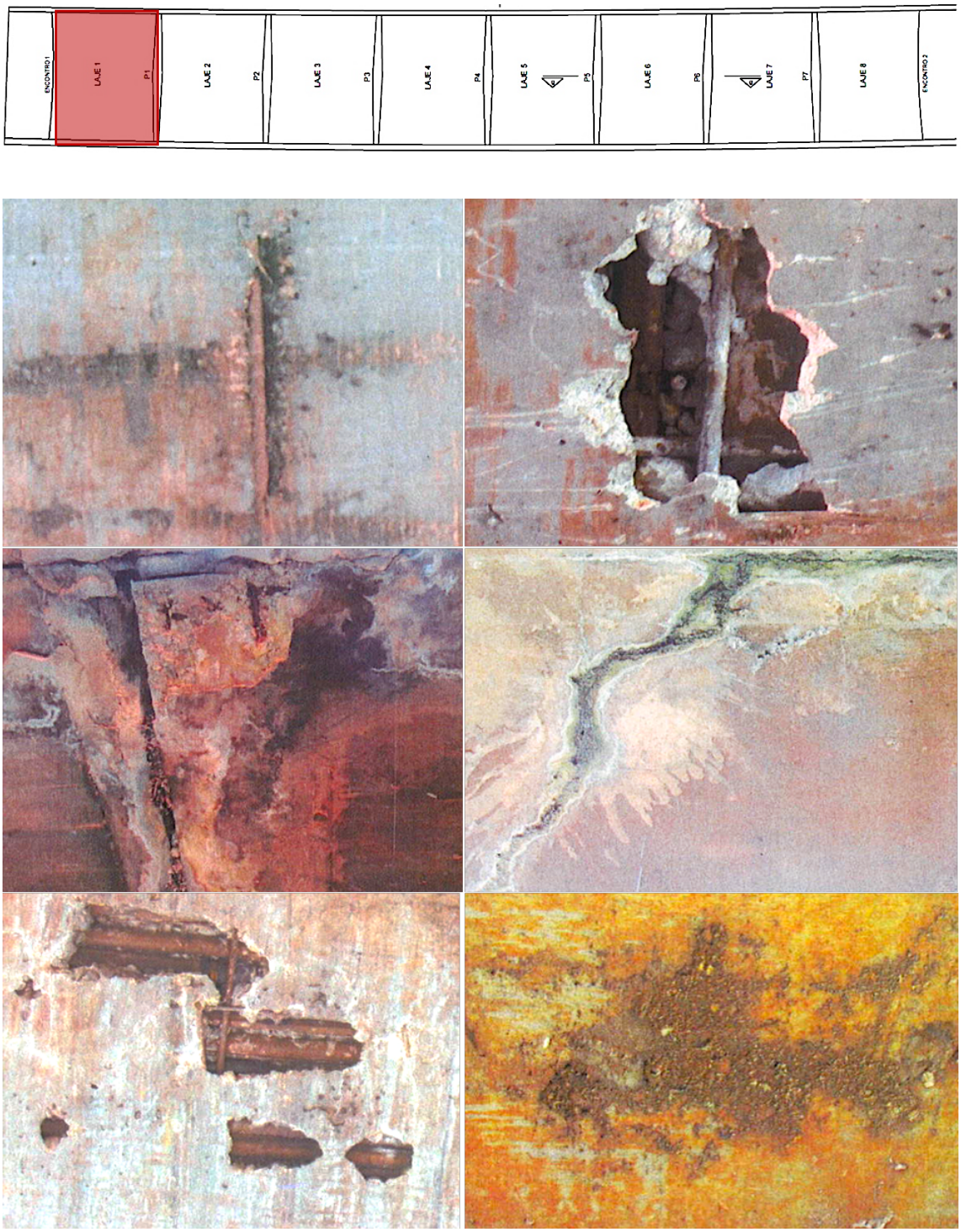
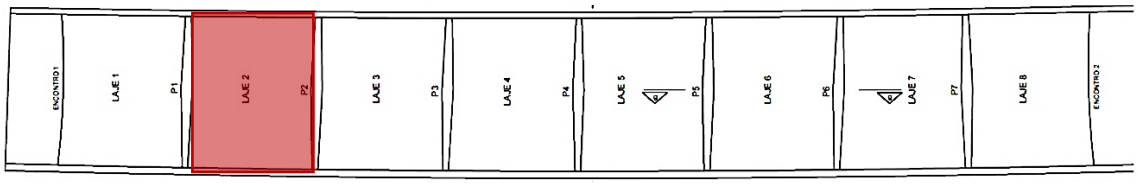


Figura 130 - Manifestações patológicas da Laje L1. De esquerda para direita, de cima para baixo: armadura exposta, buraco com armadura exposta, lixiviação, fissuração, buraco com armadura exposta e infiltração.

A laje L2, elemento plano sustentado pelos pilares P1 e P2, apresentou principalmente fenômenos de desplacamento de concreto, armadura exposta e infiltração, determinando um avançado estado de deterioração.



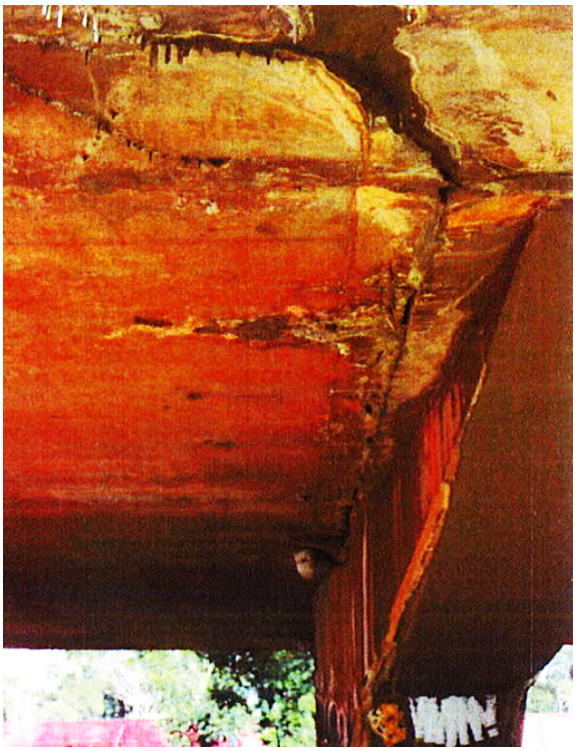


Figura 131 - Manifestações patológicas da Laje L2 em proximidade do pilar P2.

As lajes L3, L4 e L6, referentes aos vãos entre, respectivamente, os pilares P2 e P3, P3 e P4, finalizando com os apoios verticais P5 e P6, não foram levantados pelo laudo de vistoria técnica da Novacap.

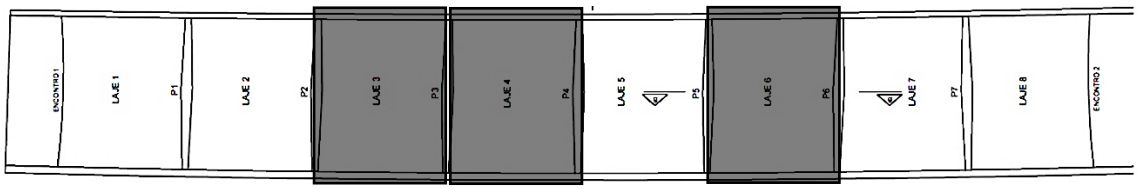
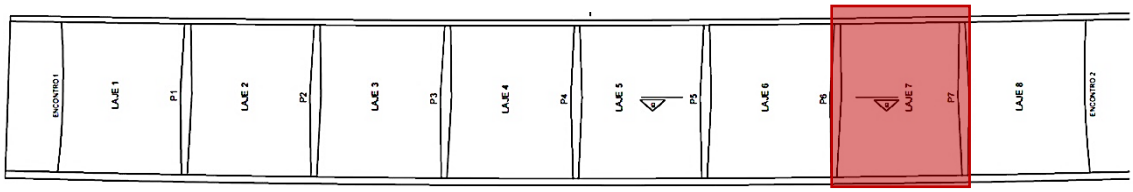


Figura 132 - Localização das lajes L3, L4 e L6, sem mapeamento de patologias.

A laje L5, apoiada entre os pilares P4 e P5, apresentou principalmente deficiências de fissuração e infiltração.

O elemento plano L7, apoiado entre os P6 e P7, apresentou principalmente deficiências de armadura exposta, fissuração, lixiviação e eflorescência. Um trecho dessa laje veio à desabamento estrutural, precisamente o tabuleiro na parte leste da infraestrutura urbana.



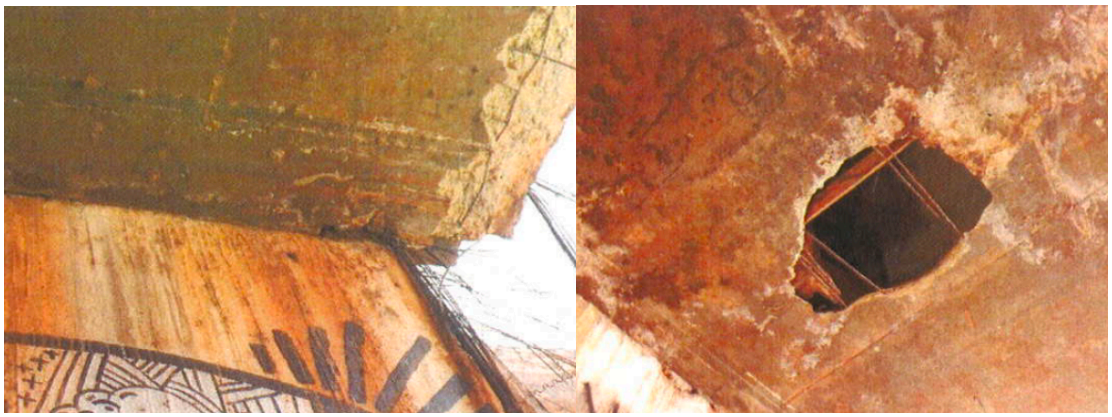


Figura 133 - Manifestações patológicas da Laje L7. De esquerda para direita: armadura ativa exposta e em estado de obsolescência e buraco com armadura exposta.

Concluindo a análise de mapeamento das lajes, o elemento L8, apoiado entre o pilar P7 e a cortina de contenção norte, apresentou principalmente deficiências de armadura exposta, fissuração, lixiviação e eflorescência.

O trecho dessa laje que veio à desabamento estrutural, está localizado na parte leste da infraestrutura urbana.

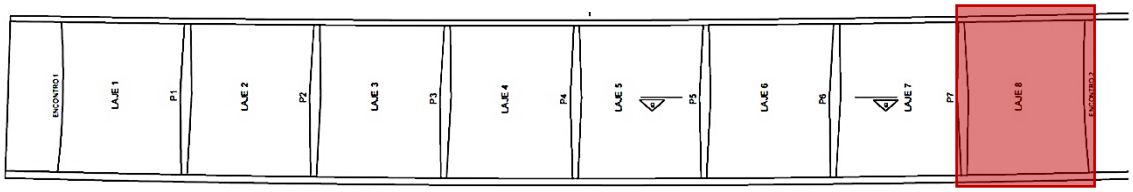




Figura 134 - Manifestações patológicas da Laje L8. De esquerda para direita: infiltração e buraco com armadura exposta.

A inspeção visual, que gerou o laudo técnico e o mapeamento das patologias existentes, finalizou o levantamento dos elementos estruturais pelas galerias de águas pluviais, localizadas na parte superior das lajes, percorrendo todo o comprimento do Viaduto, do norte ao sul.



Figura 135 - Vista das galerias de águas pluviais.

4.3 O retrofit do Viaduto sobre a Galeria dos Estados e o IRU

Em respeito às normas brasileiras de acessibilidade - NBR 9050:2015 e de projeto de estruturas de concreto - NBR6118:2014, o projeto de retrofit urbano e estrutural do viaduto foi realizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF) e pela NOVACAP. O arquiteto responsável pela requalificação urbanística, acessibilidade e paisagismo ao redor do viaduto, Francisco Afonso de Castro Júnior, mostrou que é possível proporcionar um espaço ameno, de agregação e valorização de uma das áreas centrais de Brasília.

De acordo com o memorial de projeto, visando resgatar o caráter original do projeto do Lúcio Costa, a concepção arquitetônica da nova Praça dos Estados foi desenvolvida com o intuito de devolver à cidade o espaço remanescente, até então obsoleto após desabamento estrutural da infraestrutura. A partir dessa premissa, os arquitetos buscaram qualificar alguns aspectos que garantissem a acessibilidade universal para todos, por meio de percursos com rampas e escadarias, a durabilidade dos materiais empregados e a segurança da área, tanto de dia quanto à noite. Além disso, a Praça dos Estados monstra uma interação mais direta com os comércios e os serviços da galeria por meio de uma ampla área totalmente livre.

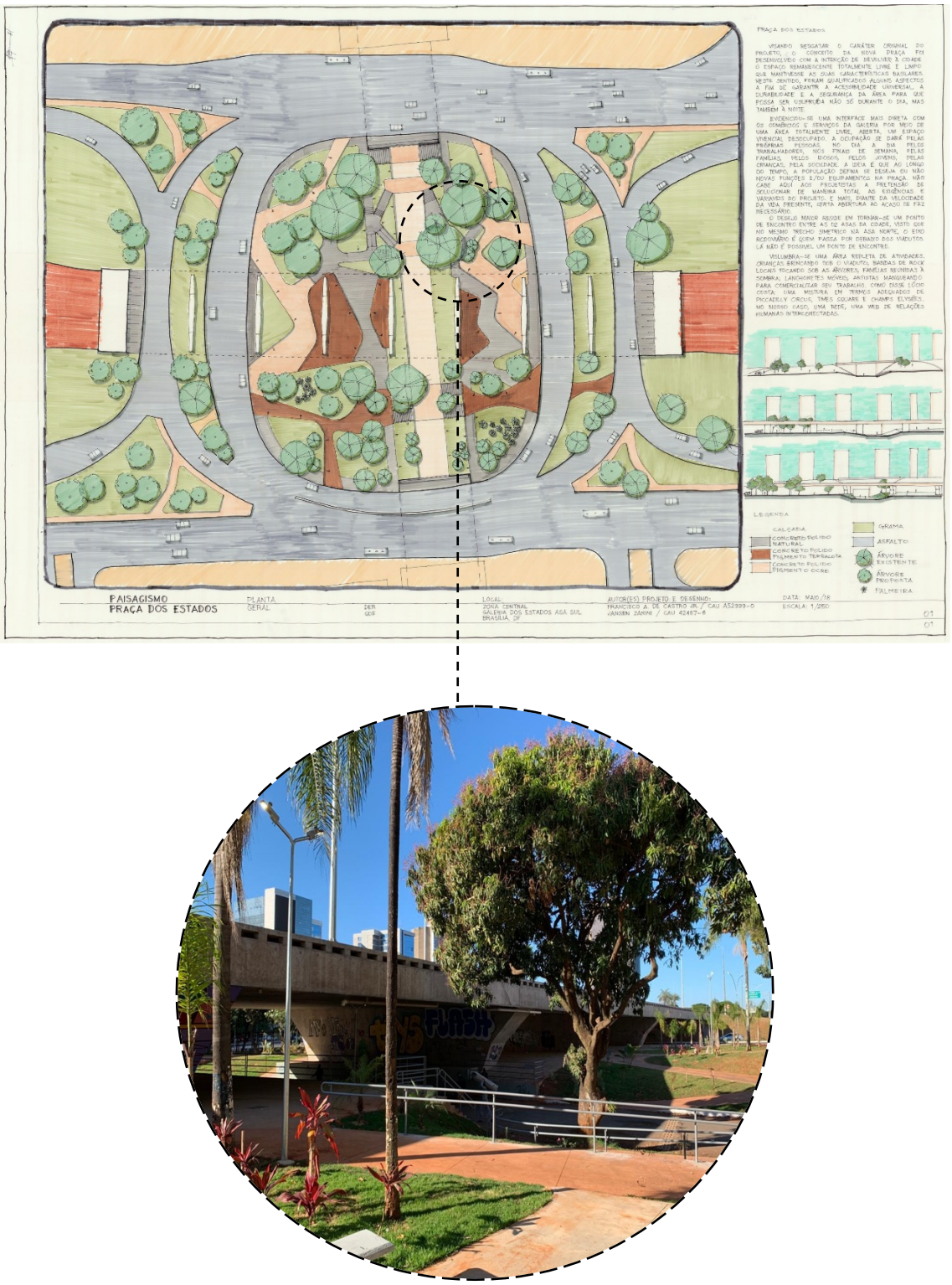


Figura 136 - Planta de paisagismo da Praça dos Estados, em cima, e vista do viaduto, pós retrofit urbano, abaixo.

Executado pelos órgãos da DER/DF e a NOVACAP, o projeto de Retrofit aplicado à obra do Viaduto sobre a Galeria dos Estados visa em garantir mais segurança para os usuários, uma durabilidade da vida útil maior, sem alterar a harmonia das proporções dos pilares em formato “Asa Delta” que foram

projetados e previstos pelo arquiteto Lucio Costa. A fim de propor soluções relativas à reconstrução/funcionalização do viaduto, foi optado pela demolição parcial da estrutura e pela recuperação da infraestrutura existente.

O calculista do projeto original e do reforço do Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi o Bruno Contarini, noto por ter acompanhado muitas obras do arquiteto carioca Oscar Niemeyer. Algumas das principais obras modernistas de Brasília, a partir do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília, Teatro Nacional, Plataforma da Rodoviária de Brasília, Tribunal Superior de Justiça (STJ), Supremo Tribunal Eleitoral (STE) e do Tribunal Regional Federal (TRF), foram calculadas pelo engenheiro. Portanto, a importância de ter um projeto de Retrofit estrutural assinado por um dos principais autores da cidade idealizada pelo arquiteto Lucio Costa, expressa uma ênfase artística que deve ser atribuída ao valor do conjunto infraestrutural do Viaduto da Galeria dos Estados.



Figura 137 - Engenheiro Contarini no local do desabamento do Viaduto da Galerias sobre os Estados.
Fonte: Larissa Batista

A intervenção de retrofit urbano, enriquecida pela presença do engenheiro Bruno Contarini, mostra nas suas premissas uma atenção especial para a

preservação do patrimônio moderno de Brasília a partir dos seus atores principais e das escalas urbanas, valor fundamental da concepção de Brasília.

Bruno Contarini, participou desta obra concebida pelo arquiteto Costa, na qual a técnica construtiva e o sistema estrutural sobressaem na forma arquitetônica. Nessa fase histórica da arquitetura modernista brasiliense, podemos destacar a preocupação com a exploração da estrutura como elemento plástico e a busca da aplicação do conhecimento na construção. Os desenhos originais do detalhamento estrutural do reforço do viaduto são atribuídos ao escritório Bruno Contarini – Engenharia e mostram todas as diretrizes tecnológicas de projeto adotadas para o Retrofit estrutural da Galeria dos Estados:

1. Aumento da seção transversal e longitudinal dos pilares por engrenamento, mantendo a concepção inicial do formato “asa delta” e aumento das fundações moldadas em loco, com blocos de concreto e estacas (figuras a seguir):

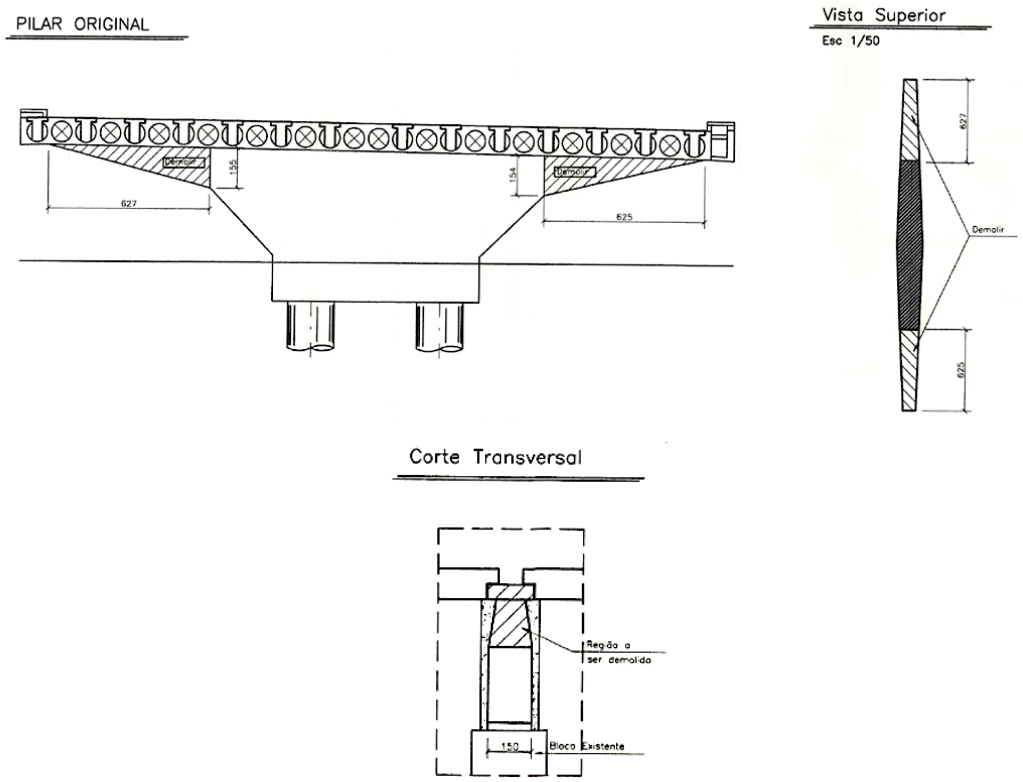


Figura 138 - Desenhos originais do Bruno Contarini, antigos pilares. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia

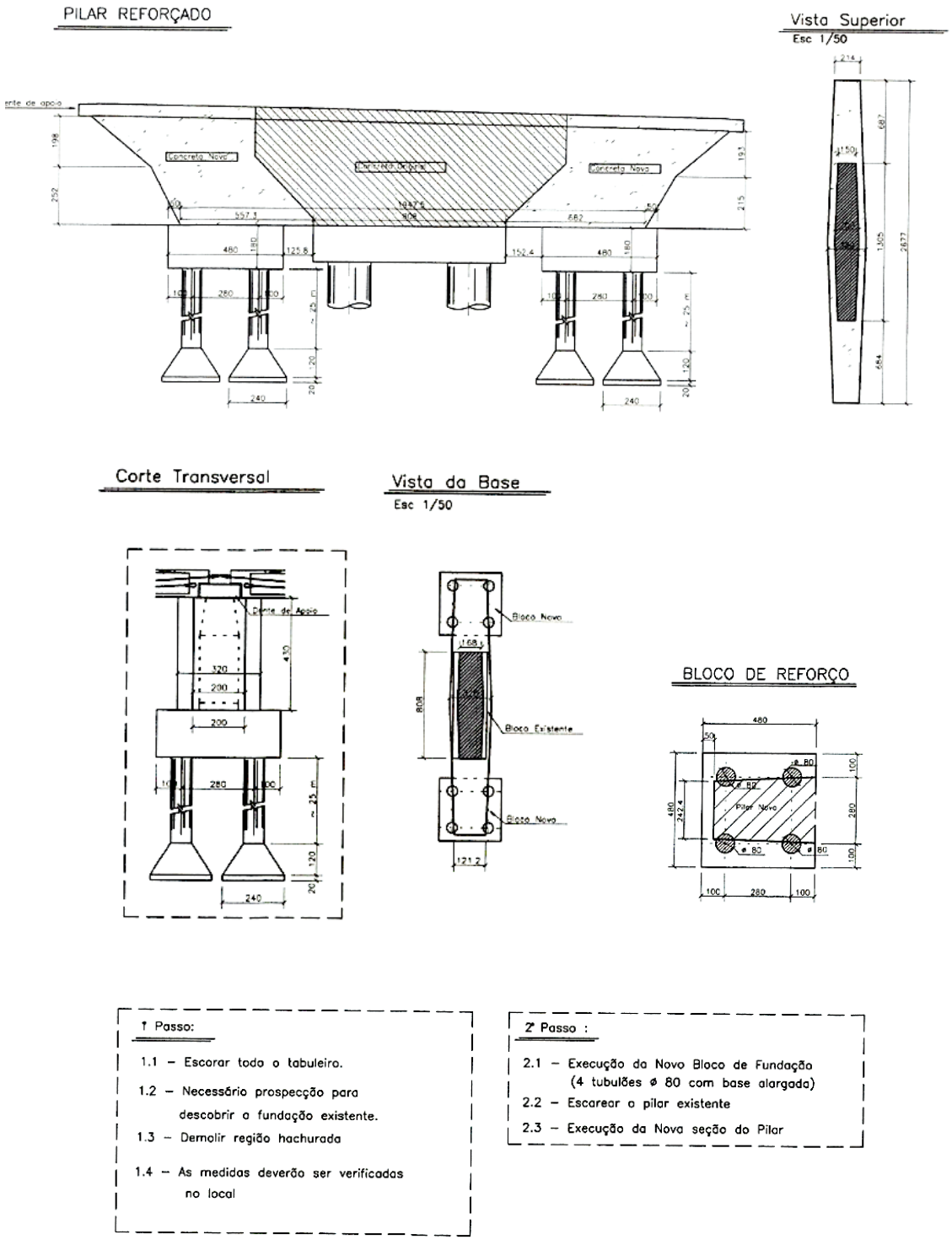


Figura 139 - Desenhos originais do Bruno Contarini, reforço dos pilares e novas fundações. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia

2. Demolição total da laje n.7 (figura 146).

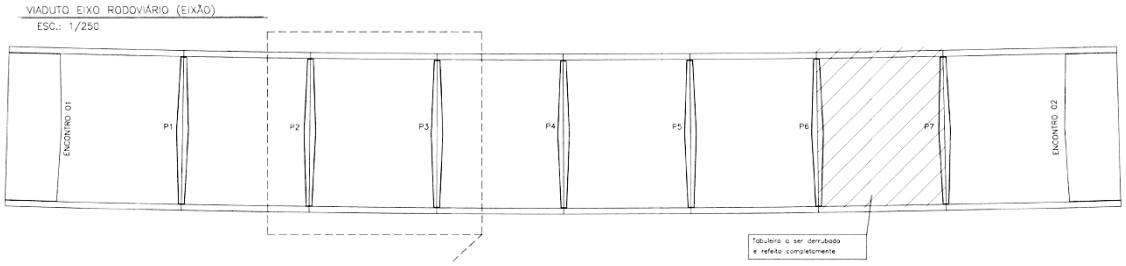


Figura 140 - Desenhos originais do Bruno Contarini, demolição da laje 7.



Figura 141 - Demolição da laje 7.

3. Reforço das lajes com novas longarinas protendidas e novo capeamento do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

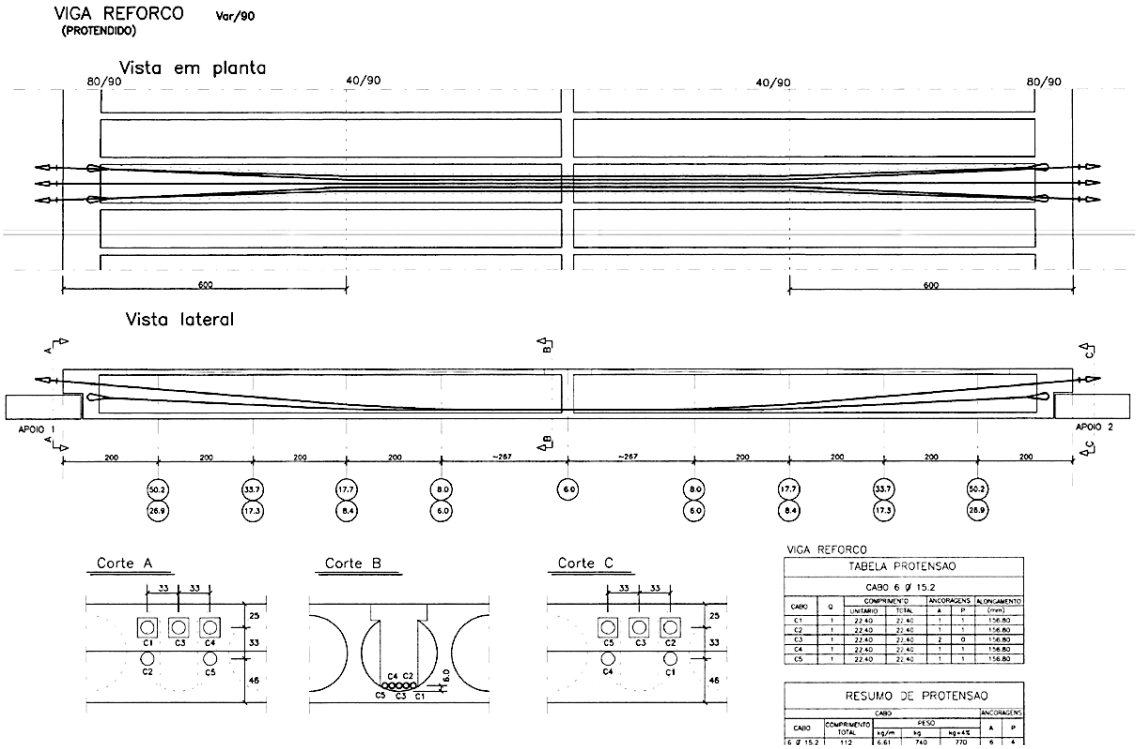


Figura 142 - Desenhos originais do Bruno Contarini, reforço das vigas. Fonte: Bruno Contarini – Engenharia

A durabilidade da infraestrutura, após retrofit estrutural, foi prevista para garantir uma vida útil de cem anos e a sua estrutura, calculada segundo as normas brasileiras NBR 6118:2014 e NBR 15575:2013, deverá receber manutenção ordinária. O projeto de cálculo do Bruno Contarini, será processado e detalhado para execução de obra pelo engenheiro Gláucio da Via Engenharia.

Antes das primeiras fases do projeto de Retrofit, foi realizado um sistema de escoramento (cimbramento) provisório em todos os painéis constituintes o tabuleiro protendido e, consequentemente, foram demolidas todas as alças em balanço dos pilares, de forma a garantir uma maior segurança para o sistema da infraestrutura.

Segundo o novo projeto, disponibilizado pela DER/DF e NOVACAP, foram executados novos blocos e fundações adicionais para o apoio dos novos pilares, de forma a diminuir os balanços laterais.

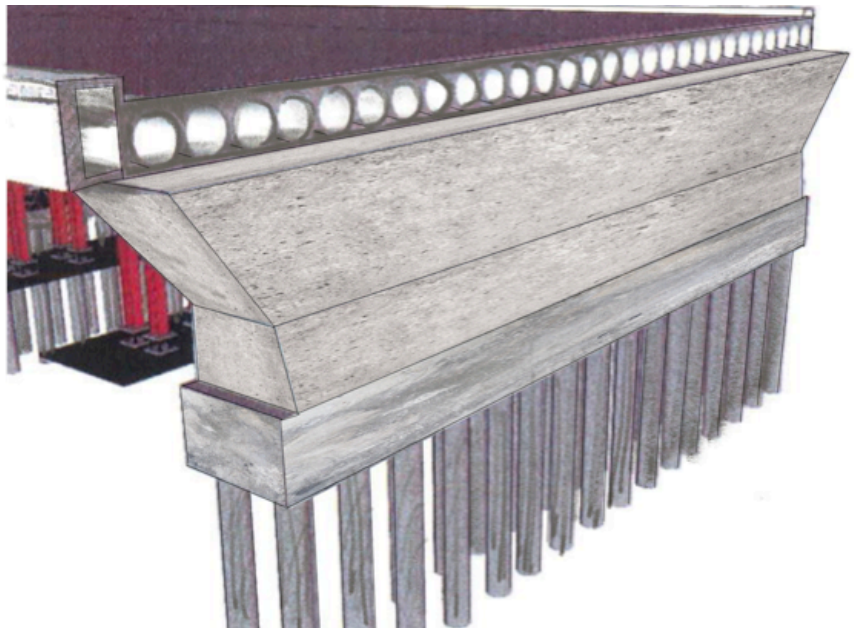


Figura 143 - Novas fundações e reforço do pilar original, Proposta de recuperação do Viaduto sobre a Galeria dos estados

A empresa contratada para a execução da obra de Retrofit e requalificação da área urbana do Viaduto foi a Via Engenharia LTDA., gerenciada pelo engenheiro Paulo Robert Santos Machado.

Após visita in loco e entrevista guiada com a equipe técnica responsável, foi levantado que durante a primeira fase, foram executados vinte oito (28) tubulões a céu aberto, quatro por cada pilar, com uma profundidade de

aproximadamente de 15 metros, devido aos ensaios de Standard Penetration Test e da relativa tensão admissível do solo (taxa), que resultou entorno de 5 kgf/cm^2. Os novos pilares do Viaduto sobre a Galeria dos Estados foram o grande aspecto inovador do projeto, pois os antigos apresentavam uma seção muito esbelta e balanços significativos. A solução dada para a nova estrutura previu o alargamento da seção transversal existente, distribuindo as novas cargas para o sistema de fundação. A estrutura antiga, mantida enquanto resistente e em boas condições, foi engastada na nova por método de engrenamento com 44 mono barras de aço de alto escoamento por pilar, através do sistema Dywidag. Essas barras metálicas transpassam totalmente o apoio de um lado pro outro tracionando as duas estruturas e distribuindo toda a carga das novas lajes para as fundações.



Figura 144 - Vista dos novos pilares engrenados na antiga estrutura existente.

Essa técnica de reforço estrutural permitiu proporcionar uma economia significativa em volume de concreto e armadura passiva para o orçamento global da obra pois aproveitou da antiga estrutura que versava em bom estado de conservação.

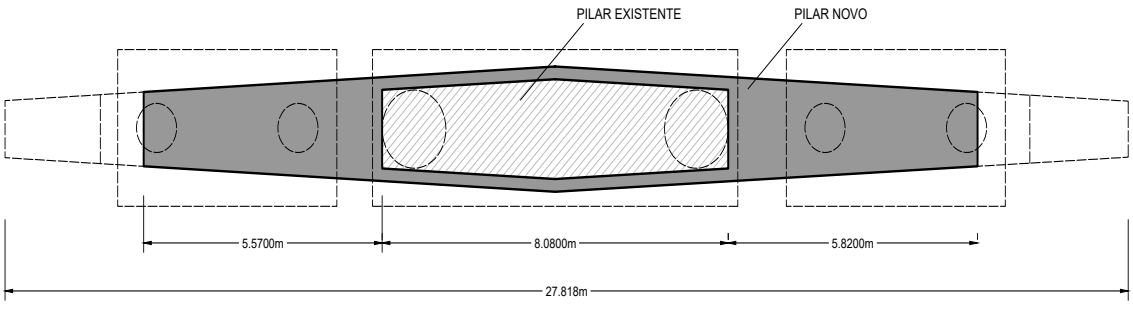
Além desses furos de engrenamento, foram utilizados grampos passivos de CA50 (mais de 5000 nos pilares) tanto nas faces quanto no fundo dele para que o novo concreto possa se integrar à nova armadura metálica.

Os três principais aspectos que devem ser considerados em uma intervenção de Retrofit são a segurança estrutural, o desempenho estrutural e a futura capacidade de restauração, caso precise.

Os novos pilares do Viaduto sobre a Galeria dos Estados constam em um engrossamento do núcleo central dos pilares originais que serve para aumentar o apoio das lajes existentes e assegura uma durabilidade da vida útil sensivelmente maior.

Aumentada a seção transversal do pilar para 376 cm no ponto de contato com o tabuleiro superior e a seção longitudinal, conforme as figuras a seguir, o novo aspecto estético do pilar se apresenta com uma volumetria mais robusta, demarcando um forte caráter de durabilidade e segurança para a obra de infraestrutura urbana.

O detalhe arquitetônico dos balanços “asa delta” foi mantido, preservando o partido original do arquiteto Lúcio Costa.



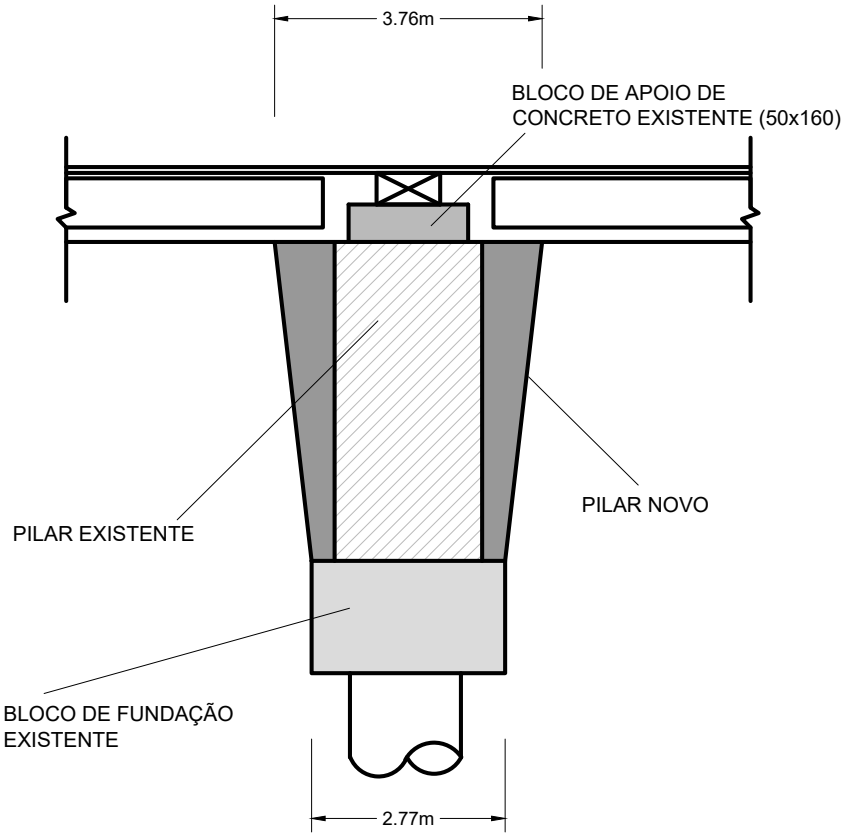


Figura 145 - Cortes da estrutura do pilar do Viaduto após Retrofit, detalhamento do aumento de seção dos pilares e dos blocos de fundação.

Após a restruturação do sistema de apoio, foram demolidas e reconstruídas as lajes alveolares protendidas entre os pilares P6 e P7.

O concreto permanecente na cabeça das lajes foi retirado de forma a permitir a recuperação de todos os trechos da laje. Em adição a essa medida, foi descartada toda a armadura existente nos painéis protendidos, com a execução de nova armadura de protensão, garantindo a durabilidade do conjunto das lajes do tabuleiro e proporcionando um nível maior de segurança e desempenho.

Todos os 7 pilares da infraestrutura urbana da Galeria dos Estados se alargaram no sentido transversal de aproximadamente 1,2m, 60 centímetros de cada lado.

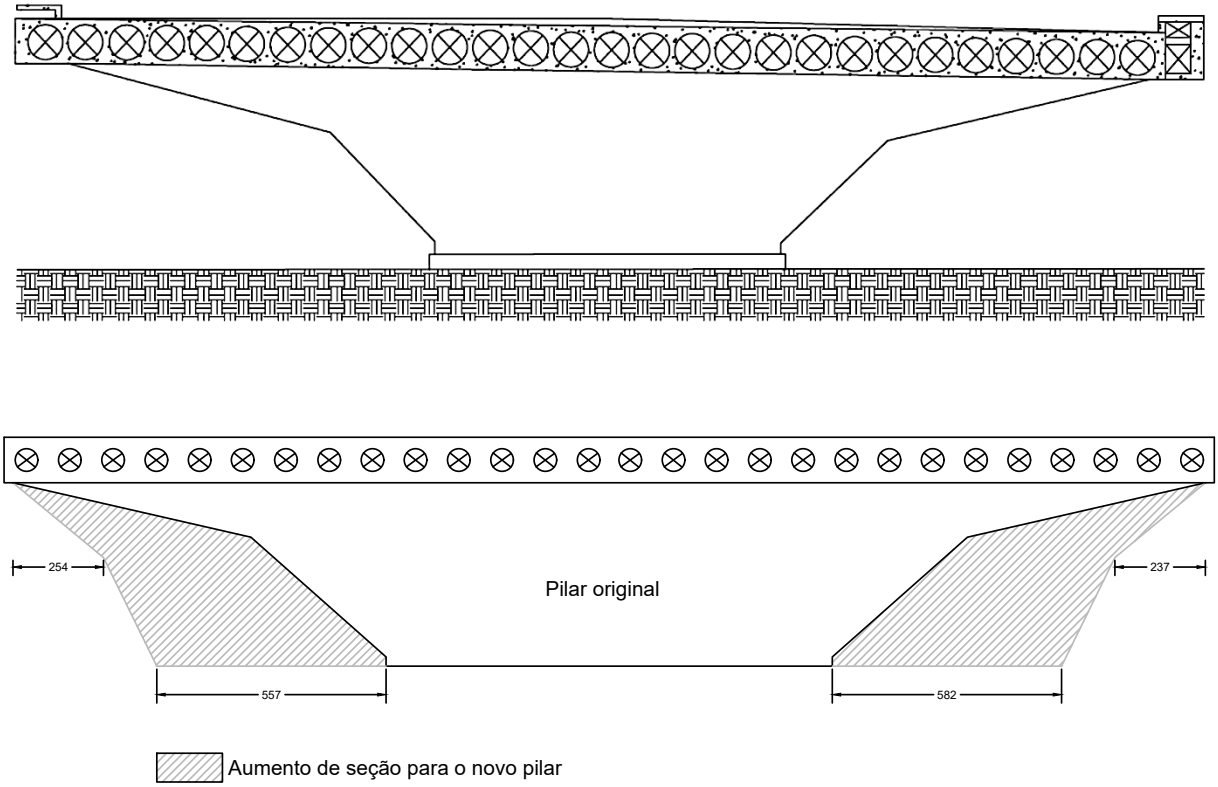


Figura 146 - Cortes da estrutura do viaduto antes e após Retrofit estrutural, mostrando a seção transversal do pilar e do tabuleiro protendido.

A laje L7, em estado de colapso parcial, representava o ponto mais crítico do ponto de vista da segurança dos futuros usuários da infraestrutura urbana.

Portanto, na intervenção de Retrofit estrutural foi demolida para ser reconstruída como um novo elemento plano, diferentemente de todas as outras lajes que foram reforçadas por meio de vigas protendidas, chamadas de longarinas, dentro dos alvéolos existentes do tabuleiro.

Os vãos dos apoios, que foram reforçados pelo processo de Retrofit, receberam 14 longarinas protendidas de reforço para as lajes existentes, enquanto o pilar totalmente reconstruído recebeu 28 unidades de longarinas, mantendo a mesma concepção estrutural original.

A antiga viga Gerber sofreu importantes alterações, tanto geométrico-dimensionais quanto do ponto de vista estático, demonstrando uma maior estabilidade estrutural global como base de apoio para as novas longarinas protendidas.

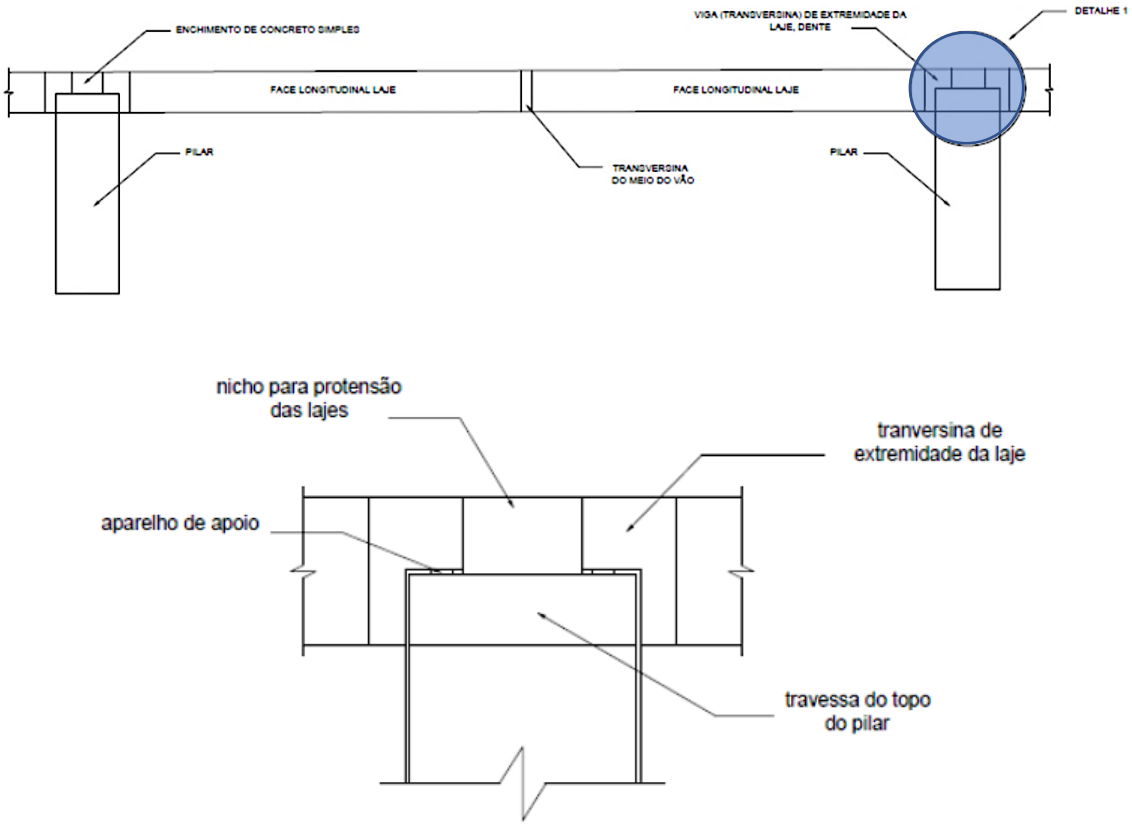
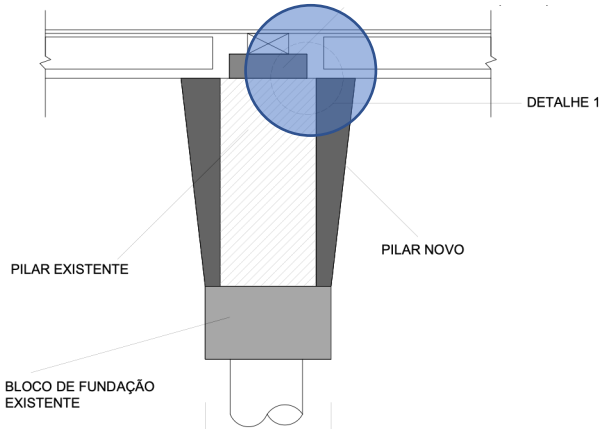


Figura 147 - Corte da estrutura do viaduto antes do Retrofit, detalhamento do pilar e da face longitudinal da laje protendida.

As novas longarinas de protensão são apoiadas aos pilares por meio de chapas metálicas de #25mm (aço cortén), substituindo a antiga chapa de borracha em neoprene, que sofreu um importante desgaste ao longo do tempo de serviço do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

As chapas metálicas de apoio passaram por um tratamento anticorrosivo que vai proporcionar uma maior durabilidade à peça, consequentemente ao sistema estrutural e à própria infraestrutura urbana.



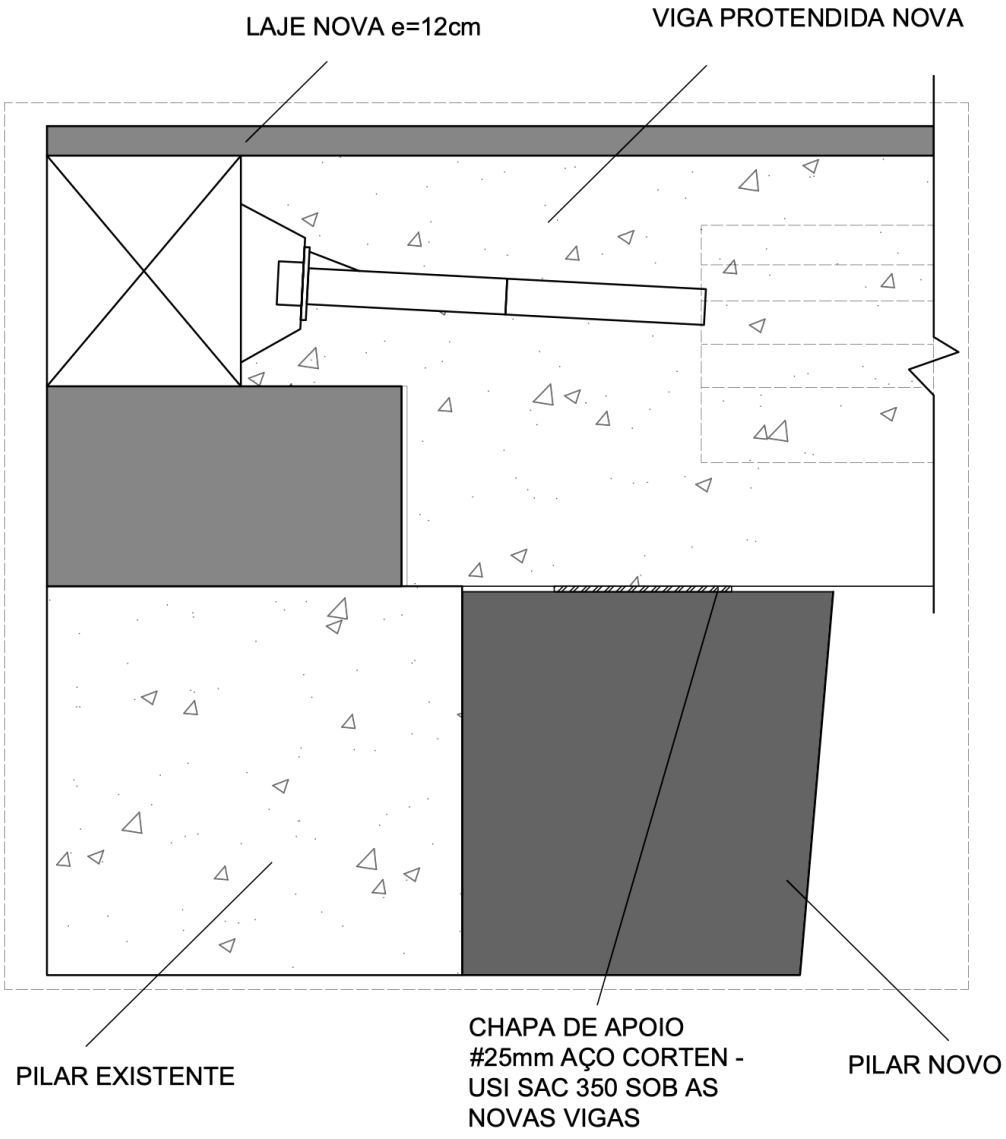


Figura 148 - Detalhe de apoio das novas vigas protendidas sobre os pilares em asa delta.



Figura 149 - Apoio das novas vigas protendidas sobre os pilares em asa delta.



Figura 150 - Armaduras ativas e passivas das longarinas de concreto, inseridas entre os alvéolos protendidos.



Figura 151 - Armaduras passivas pré-moldadas e bainhas para protensão das longarinas de concreto.

A partir das informações coletadas ao longo do capítulo, foi elaborada uma ficha avaliativa para cada momento da vida útil das estruturas existentes, sendo elas:

1. Fase de *Pré-retrofit*.

2. Fase de *Pós-retrofit*.

Após ter inserido todos os indicadores escolhidos para obter o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana – IRU, foi atribuído para cada sub-elemento das dimensões (estrutural, instalações e implantação) uma avaliação simplificada que consta na opção SIM ou NÃO, por meio do levantamento documental, da análise visual em loco e, nos casos nos quais não foi possível averiguar o elemento de forma presencial, do rico acervo fotográfico disponível. Nesses termos, vamos mostrar essa aplicação através do primeiro exemplo prático. Na ficha avaliativa IRU, a seguir, empregada para o Viaduto sobre a Galeria dos Estados antes das operações de retrofit (situação temporal de *Pré-*

retrofit), aparece que nenhum indicador, na dimensão do "*sistema estrutural*" e sub-elemento "*bloco de fundação*", está marcado pelo "SIM", totalizando 0 no score "Total parametrizado". A mesma situação encontra-se também para os sub-elementos estruturais de *cortina de contenção*, *lajes do tabuleiro*, *sistema de apoio* e *vigamento principal* e *secundário*. Apenas nos elementos *pilares*, aparece que os únicos indicadores que foram avaliados com "SIM", são o artístico e o simbólico. Esses parâmetros, mostram que, mesmo em estado de colapso parcial, a beleza arquitetônica dos elementos de sustentação, juntamente ao simbolismo que representam para a comunidade brasiliense, possuem valoração dentro do modelo proposto para o cálculo do IRU. O valor total realizado, na célula do "*total parametrizado*", referente a 0,25 de 1, será somado a todos os outros resultados obtidos pela mesma avaliação na dimensão do "*sistema estrutural*" e, esse parâmetro numérico, será dividido pelo número dos sub-elementos presentes, no caso 7 (*blocos de fundação, cortinas de contenção, lajes do tabuleiro, pilares, sistema de apoio, vigamento principal, vigamento secundário*).

$$\textbf{ESTRUTURA GLOBAL} = \frac{\boldsymbol{\Sigma}\,(\text{BLOCOS} + \text{CORTINAS} + LAJES + PILARES + APOIOS + LONGARINAS + TRANSVERSINAS)}{7}$$

Nessa condição avaliativa, a "*estrutura global*" do Viaduto sobre a Galeria dos Estados (*Pré-retrofit*) resultou em 0,04, representando um valor típico para uma estrutura obsoleta. Em geral, a situação não muda para as dimensões das instalações e implantação, a exceção do item *sistema de drenagem* que, totalizou o resultado de 0,38 por meio da marcação dos indicadores ambiental, de segurança e de uso. Mesmo com parte da estrutura comprometida no momento do desabamento parcial, o sistema de drenagem continuou funcionando regularmente, garantido o escoamento das águas pluviais, não acarretando nas operações de retrofit. Pela ficha avaliativa proposta, percebe-se que, o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana na situação de *Pré-retrofit*, resulta extremamente insatisfatório, alcançando a pontuação de 0,03, refletindo sua condição de perda de desempenho em serviço e segurança para os usuários.

0.A.E.: **VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS** ANO: 1961 PROJETISTA: LÚCIO COSTA / BRUNO CONTARINI LOCAL: BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL - BRASIL STATUS: PRÉ RETROFIT									
INDICADOR	**Ambiental**	**Artístico**	**Durabilidade (vida útil)**	**Econômico**	**Segurança**	**Simbólico**	**Social**	**Uso**	**Total parametrizado**
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
LAJES DO TABULEIRO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
PILARES	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	0,25
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VIGAMENTO PRINCIPAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,04**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE DRENAGEM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,08**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CALÇADAS	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CICLOVIA	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
PAISAGISMO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VEGETAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
MOBILIÁRIO URBANO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									**0,00**
I.R.U.									**0,03**

Figura 152 - Ficha avaliativa IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ-RETROFIT.

A situação do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana do viaduto (*Pós-retrofit*) surpreende pelo aumento expressivo dos sub-índices representados pela dimensão estrutural, instalações e implantação (figura 159).

O IRU, após intervenção do retrofit urbano, atingiu o valor de 0,63, aumentando exponencialmente seu grau de requalificação. É possível observar

que, no âmbito do sistema estrutural, todos os indicadores relativos ao de durabilidade (vida útil), econômico, de segurança, social e de uso foram marcados para todos os sub-elementos que compõem a dimensão estrutural global da OAE.

0.A.E.: **VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS** ANO: 2019 PROJETISTA: BRUNO CONTARINI LOCAL: BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL - BRASIL STATUS: PÓS RETROFIT									
INDICADOR	**Ambiental**	**Artístico**	**Durabilidade (vida útil)**	**Econômico**	**Segurança**	**Simbólico**	**Social**	**Uso**	**Total parametrizado**
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
LAJES DO TABULEIRO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
PILARES	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	1,00
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
VIGAMENTO PRINCIPAL	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,73**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE DRENAGEM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,25**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
CALÇADAS	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
CICLOVIA	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
PAISAGISMO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
VEGETAÇÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,88
MOBILIÁRIO URBANO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									**0,65**
I.R.U.									**0,63**

Figura 153 - Ficha avaliativa IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PÓS-RETROFIT.

Os indicadores artístico e simbólico continuam sendo marcados apenas pelos pilares, que, realmente, representam a essência arquitetônica do tangível

e intangível. Aumentando a segurança estrutural e a durabilidade ao longo do tempo, respeitando o formato original em “asa delta”, os pilares totalizaram um *score* de 1, representando a nota máxima dentro da dimensão estrutural.

Foi detectada a presença do indicador ambiental para os sub-elementos estruturais das *lajes do tabuleiro*, *pilares*, *vigamento principal* e *secundário* enquanto o retrofit estrutural desses elementos reaproveitou a estrutura existente, reforçando os elementos que versavam em bom estado e gerando uma economia considerável para a sociedade, de todos os pontos supracitados.

O resultado alcançado pela dimensão estrutural foi valorado em 0,73, enquanto aquele obtido pelas instalações (0,25), não demonstrou uma boa expressividade, comprometendo a pontuação do IRU. Os sub-elementos representados pelo sistema de *drenagem* e de *iluminação* possuem valor *ambiental* (pavimento de concreto permeável e iluminação tipo “led”), de *durabilidade*, *econômico*, de *segurança* e de *uso*. A dimensão da implantação (0,65) resulta bastante encorajante, vista a requalificação da praça da Galeria dos Estados que, atualmente, propicia espaços amplos e seguros, para todos os tipos de acessibilidade. Na computação do indicador simbólico, para os elementos que compõem a implantação, preferiu-se não o determinar enquanto lugar muito recente para poder ser assimilado como símbolo pela população brasiliense, ainda mais se somamos a época histórica que estamos vivenciando.

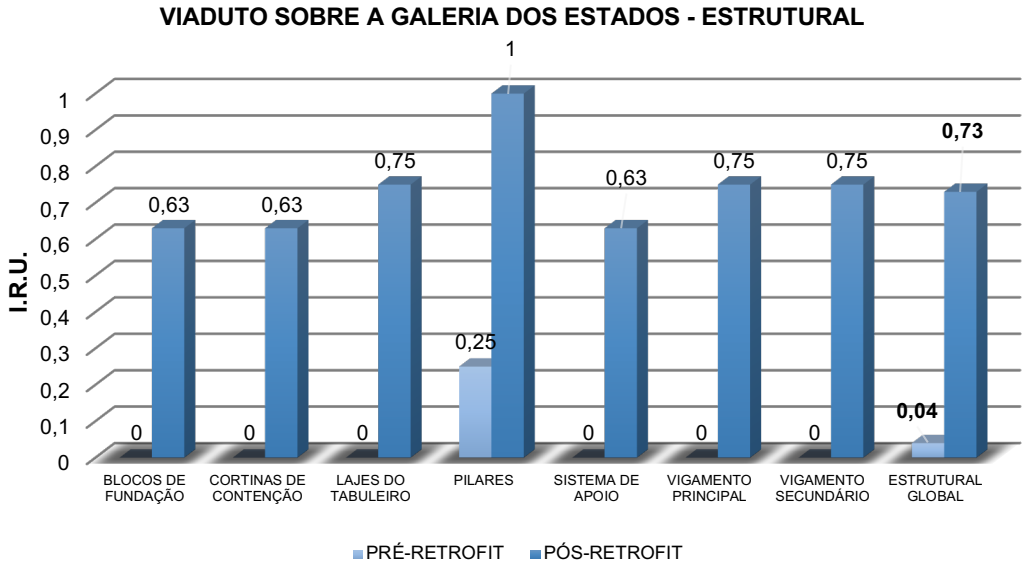


Figura 154 - Diagramas comparativos da dimensão ESTRUTURAL do Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

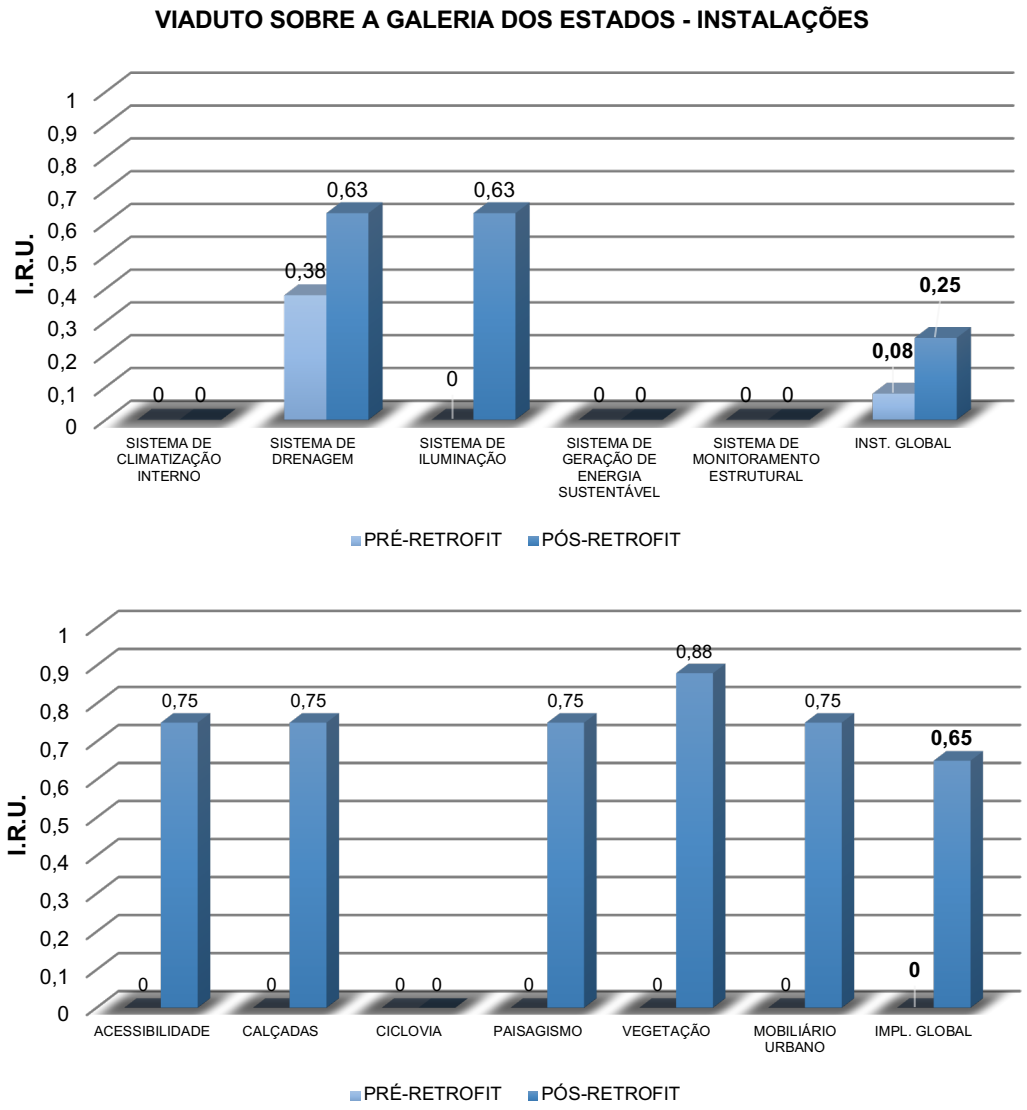
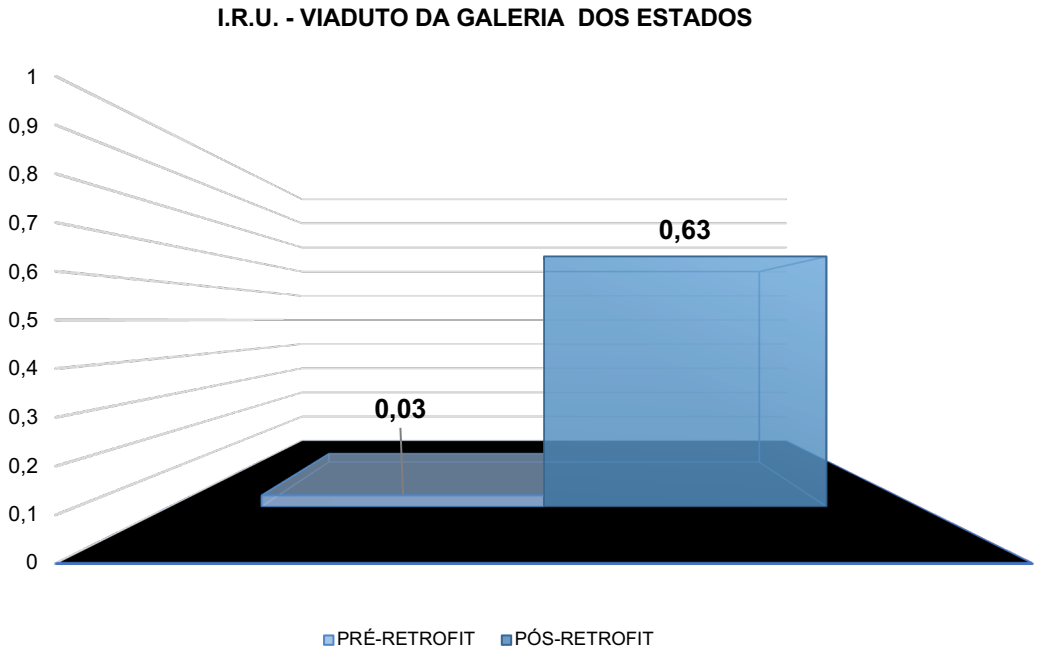


Figura 155 – Diagramas comparativos das dimensões INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

Observando para todos os diagramas comparativos, tanto nas dimensões estrutural, das instalações e de implantação, quanto nos índices finais, a diferença entre os momentos de Pré-retrofit e Pós-retrofit da infraestrutura do Viaduto sobre a Galeria dos Estados resulta bastante significativa. Esse modelo multicritério de avaliação das intervenções de retrofit urbano em Obras de Arte Especiais, se adaptou adequadamente ao caso de estudo do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, mostrando as principais limitações na dimensão das instalações que não foram idealizadas para um trecho de infraestrutura relativamente curto.



IRU	CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES	COR
0,9 - 1	**GRAU MÁXIMO** - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO GLOBAL	ATENDE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,7 - 0,8	GRAU SUPERIOR - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO PARCIAL	ATENDE PARCIALMENTE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,5 - 0,6	GRAU MÉDIO - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	
0,3 - 0,4	GRAU MÉDIO INFERIOR - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0,1 - 0,2	GRAU INFERIOR - ESTADO DE CRITICIDADE ESTRUTURAL	ATENDE PARCIALMENTE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0	**GRAU MÍNIMO** - ESTADO DE OBSOLESCÊNCIA	NÃO ATENDE A NENHUM PARÂMETRO DOS INDICADORES PROPOSTOS	

Figura 156 – – Diagrama comparativo IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

O índice IRU que foi alcançado pela OAE no momento de Pós-retrofit é de 0,63, resultando no *Grau Médio*, marcado pela cor verde claro, enquanto na fase de Pré-retrofit o IRU obteve o *Grau Mínimo* (cor vermelha), devido à sua situação de obsolescência estrutural.

4.4 TREVO DE TRIAGEM NORTE (TTN), Brasília – DF, Brasil



O Trevo de Triagem Norte (TTN) é um parque rodoviário que abrange o trecho entre o final do bairro da asa norte, bairro estratégico para a conexão do plano piloto com as cidades satélites e o Balão da Granja do Torto.



Figura 157 - Vista aérea do trecho norte do Trevo de Triagem Norte, em fase de obra.



Figura 158 - Vista aérea do trecho sul do Trevo de Triagem Norte, em fase de obra.

Sua construção, promovida pela empresa VIA ENGENHARIA LTDA. no ano de 2018, marca uma fase de grandes intervenções urbanas em Brasília, na área que concerne o retrofit da infraestrutura urbana.

O caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, apresentado nos capítulos anteriores, demonstra como a tecnologia da protensão, adotada pelos calculistas no começo dos anos 60', ainda não tinha um suficiente campo de experimentação para que se garantisse uma durabilidade dessas estruturas sem um adequado plano de manutenção.

O escopo da obra do Trevo de Triagem Norte, prevê a readequação da capacidade de tráfego das rodovias da Saída norte de Brasília e, a execução das obras para implantação do parque rodoviário do TTN, conforme estabelecidos nos projetos do Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER, 2018), contemplou essas atividades principais:

1. Execução de estrutura cicloviária de 9km de extensão;
2. Execução de novas Obras de Arte Especial (OAE), 2 pontes e 13 viadutos;
3. Retrofit estrutural ou Remodelagem da Ponte do Braghetto (obra de arte existente);
4. Adequação da capacidade de tráfego em 2,1 Km da Rodovia DF-007 (EPTT), no trecho compreendido entre a DF-002 e o entroncamento com a DF-003/BR-450 (balão da Granja do Torto), e em 0,4 Km da rodovia DF-002 (ERN), no trecho compreendido entre seu entroncamento com a DF-007 (ponte do Braghetto) até o acesso às vias W1/W3.
5. Terraplenagem e movimentação de terra;
6. Pavimentação das rodovias, ciclovias e área abrangentes a infraestrutura urbana do TTN, aproximadamente 10km;
7. Drenagem das águas pluviais;
8. Sinalização veicular e geral;
9. Obras complementares e de recuperação do meio ambiente.

O canteiro do Trevo de Triagem Norte, ao longo da sua execução, contou com a supervisão técnica dos engenheiros civis da DER/DF Geraldo Jacinto Da Silva Filho, Patrícia Marc Cristiane de Menezes Milhomem e Paulo Robert Santos Machado.

Vista a complexa localização da obra (final da Asa Norte até o Balão da Granja do Torto e as vias transversais ligando a L2 à W3 com suas respectivas alças de acesso) as características da geologia da área, caracterizada pelo solo mole e a necessidade de executar fundações profundas, foram precisas sondagens mistas para conhecimento mais profundo do terreno, bem como sondagens sobre flutuantes para determinação dos projetos de fundações das OAE’s 06 e 07 (adjacentes à Ponte do Braghetto).

Para garantir o tráfego de veículos automotivos sob as obras de arte especial a serem construídas em vias com grande fluxo veicular, foi solicitado pela fiscalização da obra de retrofit urbano do TTN a apresentação de uma solução que pudesse viabilizar o escoramento das lajes dos tabuleiros, sem comprometer a viabilidade.



Figura 159 Vista aérea do trecho norte do Trevo de Triagem Norte em fase de obra.

Assim sendo, o tipo de escoramento adotado foi realizado através perfis metálicos, confeccionados para a execução do complexo do Trevo de Triagem Norte.

Além dessa medida, antes de começar a obra, se tornou necessária a supressão vegetal presente nessa área do trecho rodoviário, para implantação do empreendimento. Esse plano específico de supressão vegetal, aprovado pelo IBRAM, e que estabelece as áreas para supressão, para estocagem e regras de transporte, foi viabilizado por meio da “Autorização Ambiental 032/2014 – IBRAM” e, sucessivamente, pela “Autorização Ambiental 029/2016 – IBRAM” (DER, 2018). Tal plano, elaborado pela empresa supervisora – STE Serviços Técnicos de Engenharia S.A., foi executado pela empresa responsável da obra do TTN, a VIA ENGENHARIA LTDA.

A adequada construção de todas as OAE`S (viadutos e pontes) foi viabilizada plenamente pelos projetos executivos tendo em vista que, o estudo preliminar (projeto básico), não proporciona itens primordiais (para correta execução) como o detalhamento do projeto de formas, detalhamento do projeto de escoramento, identificação da capacidade resistente do solo e tomada de decisão sobre uma determinada solução técnica mais ou menos adequada para a segurança viária (em termos de vibração e deslocamentos verticais / flechas).

Todos esses parâmetros, foram garantidos durante o tempo integral de execução do retrofit da infraestrutura urbana.

A respeito dos projetos executivos das obras de artes especiais, frente às demandas estruturais e ambientais, que ensejaram nos estudos técnicos complementares, se tornou necessário alterar a norma brasileira ABNT NBR 6118:2007, que foi a norteadora para o desenvolvimento dos projetos básicos, para a ABNT NBR 6118:2014, resultando a diretriz para o desenvolvimento do projeto executivo, impactando nos elementos estruturais.

Os principais problemas e desafios que caracterizaram a obra do parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte, foram:

1. Elevado volume de tráfego;
2. Condicionantes ambientais encontradas;
3. Adaptação do cálculo das estruturas de fundações/apoios;
4. Interferências com outros sistemas da infraestrutura urbana de Brasília;
5. Alterações no Projeto Executivo de Drenagem em atendimento as novas exigências da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal – ADASA.

Além de garantir a segurança no trânsito, que representou uma constante durante a articulação da obra do TTN, a DER/DF em conjunto com a VIA ENGENHARIA enfrentou as interferências infraestruturais com as redes de água e esgoto (CAESB) na altura da OAE 05, redes elétricas (CEB) na área da OAE 05A e concessionárias de telefonias/internet.

Após essa breve introdução sobre o empreendimento urbanístico e paisagístico do Trevo de Triagem Norte, nos próximos capítulos, será

apresentado o complexo arquitetônico que compõe a articulação do TTN, seu mapeamento e análise de cada OAE.

4.4.1 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural

O Trevo de Triagem Norte (TTN), conjunto rodoviário que consta em 15 obras de arte especial entre pontes e viadutos, está localizado no trecho rodoviário DF-007 e representa uma parte fundamental do patrimônio infraestrutural modernista de Brasília que permite a conexão ao norte entre o plano piloto, seus diversos bairros e as cidades satélites limítrofes.



Figura 160 - Plano Piloto, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil.



Figura 161 – Mapeamento do conjunto do Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil.

A fim de facilitar o entendimento desse amplo trecho rodoviário, o conjunto de obras de arte especial foi subdivido em dois grupos denominados, respectivamente, como G1 e G2. O grupo G1, como mostra a figura 167, abrange seis viadutos, denominados a seguir de OAE 01, OAE 02, OAE 03, OAE 04, OAE 05 e OAE 05A.

O grupo G2, diferentemente do anterior, é formado por um conjunto de 7 obras de arte especial, constando em 2 pontes conhecidas como OAE 06, ou

Ponte do Braghetto, e OAE 07 e 5 viadutos (OAE 08, OAE 09, OAE 10, OAE 11 e OAE 12).

A sigla OAE é o acrônimo, utilizado ao longo do livro, que se refere à obra de arte especial da infraestrutura urbana da cidade.

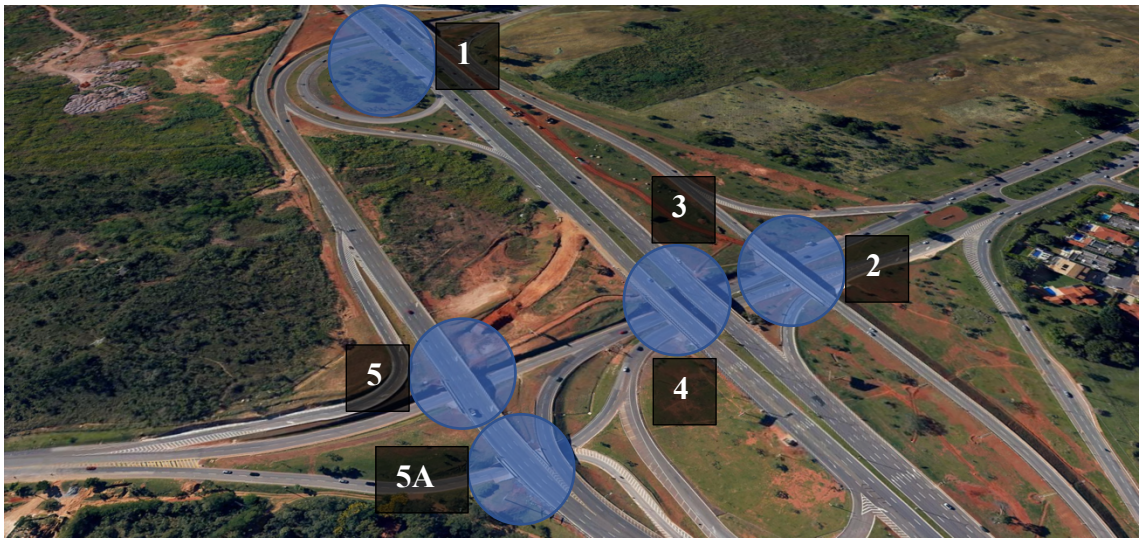


Figura 162 – Mapeamento das OAE's do grupo G1, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil.

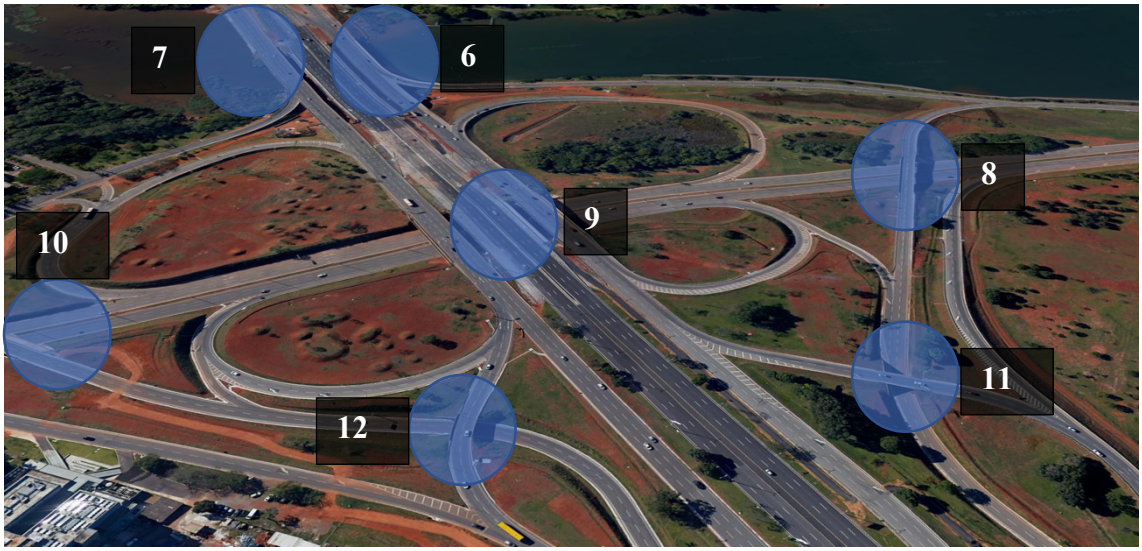


Figura 163 – Mapeamento das OAE's do grupo G2, Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil.

O mapeamento gráfico das OAE's e sua respectivas subdivisões em dois grupos, se tornou necessário para um melhor entendimento do complexo infraestrutural, sua implantação e, consequentemente, dos fluxos de tráfego que concernem essa área tombada do Plano Piloto de Brasília.



Figura 164 – Mapeamento do conjunto do Trevo de Triagem Norte (TTN), Brasília - DF, Brasil.

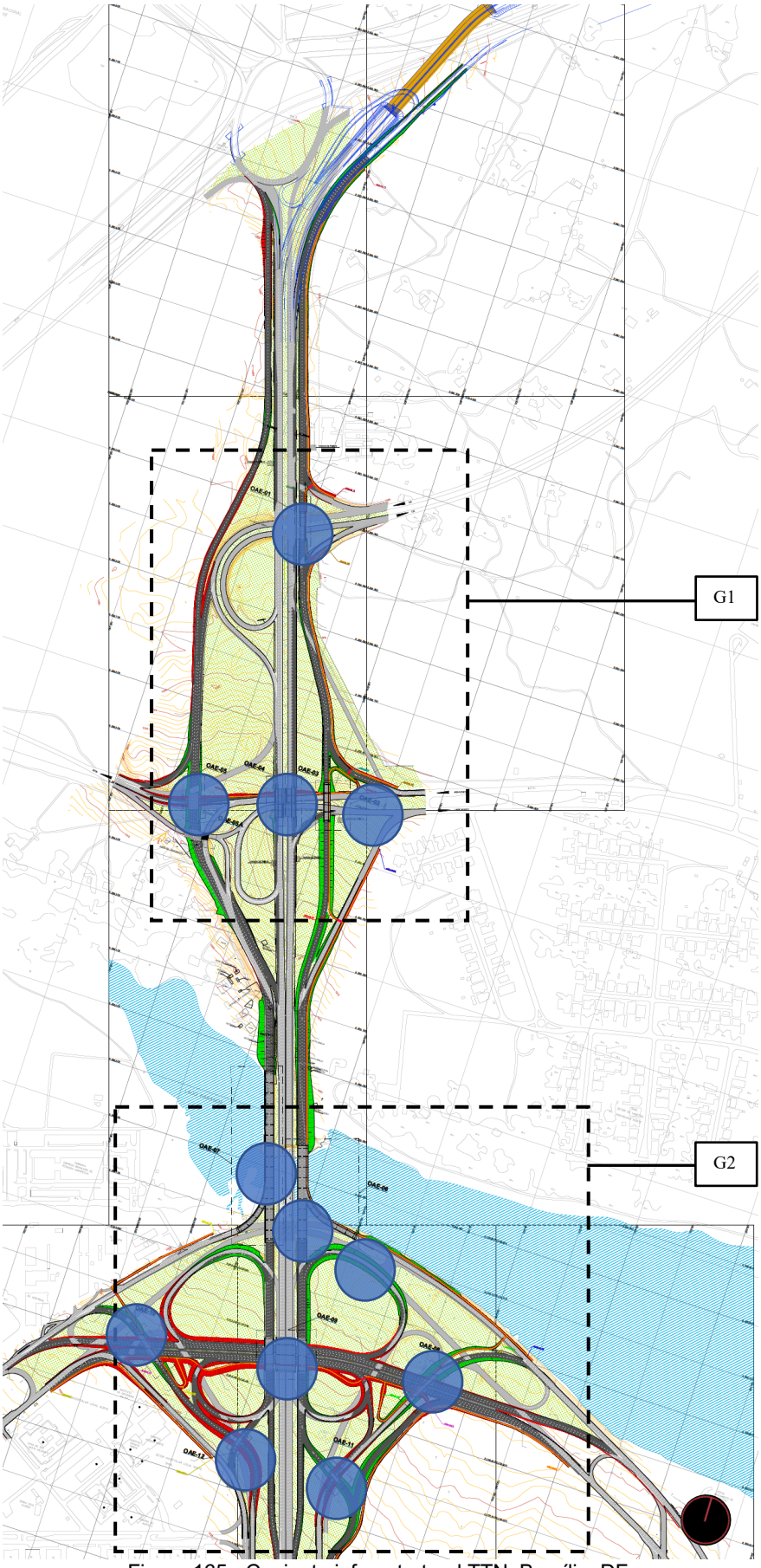


Figura 165 - Conjunto infraestrutural TTN, Brasília, DF.

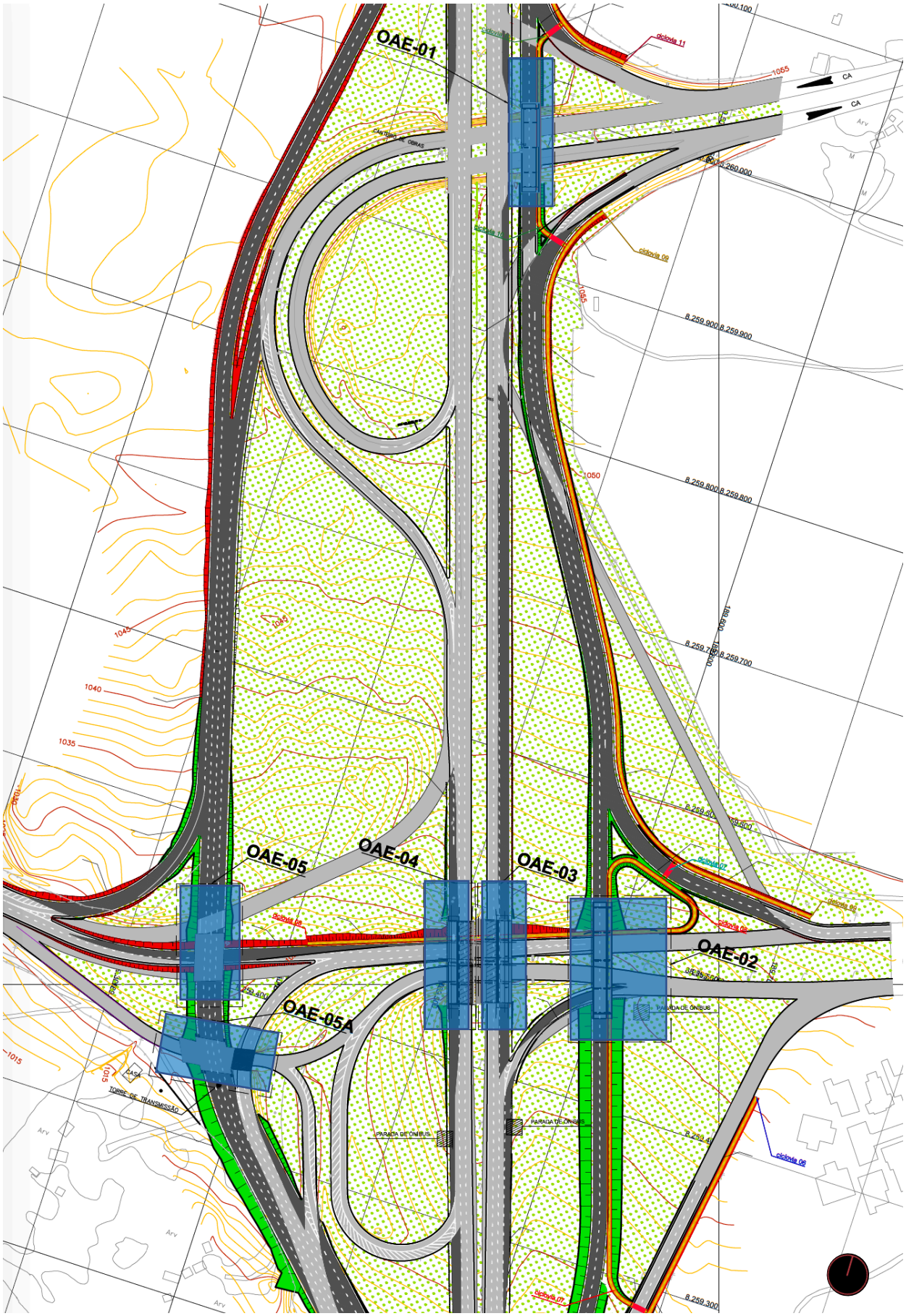


Figura 166 – Grupo 1 (G1) do conjunto infraestrutural de 6 obras de arte especial.

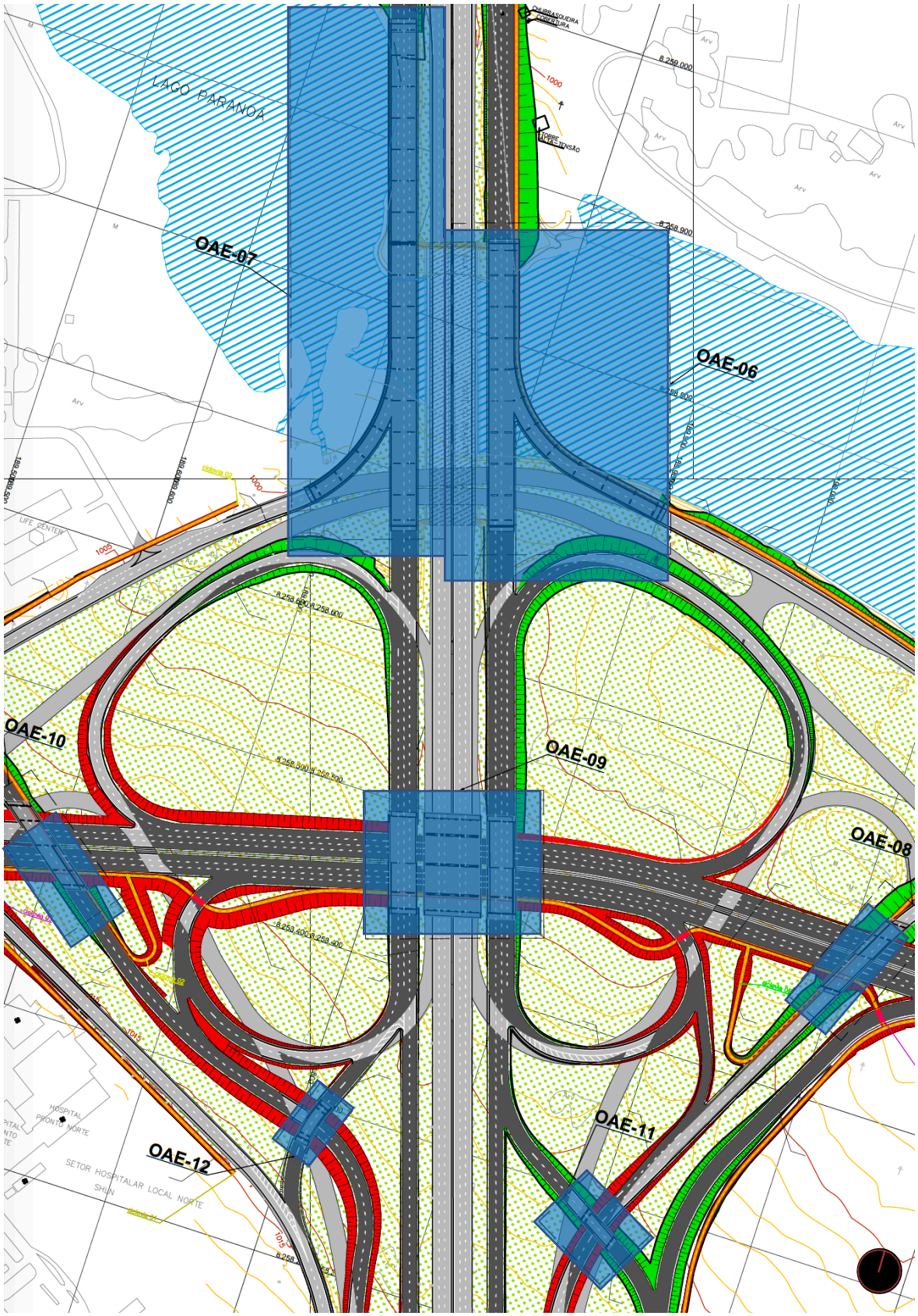


Figura 167 – Grupo 2 (G2) do conjunto infraestrutural de 7 obras de arte especial.

4.4.2 Obras de Arte Especial: as pontes e os viadutos

O complexo arquitetônico do Trevo de Triagem Norte (TTN), é composto por 13 OAE's que foram mapeadas, constando em duas pontes (OAE 06 e OAE 07) e onze viadutos. A complexidade do TTN se percebe não apenas pela extensão do trecho da infraestrutura, mas, também, pelos serviços extremamente técnicos / complexos voltados à terraplanagem, drenagem das águas, fundações profundas e submersas.

Em todos os projetos de OAE`S, foi necessário efetuar o adequado desenvolvimento dos projetos executivos elaborados pela DER/DF, tendo em vista que o projeto básico de um estudo preliminar não é capaz de fornecer diversos itens, como:

1. detalhamento do projeto das formas;
2. detalhamento do projeto de escoramento / cimbramento;
3. solução técnica mais adequada e eficaz para a segurança viária e dos usuários, relativamente à vibração e deslocamentos verticais (flechas);
4. identificação da capacidade resistente do solo (ou tensão admissível) na exata posição implantada dos pilares.

O responsável técnico pela elaboração do projeto das estruturas das OAE'S, considerando as premissas do projeto básico de que as fundações, definidas pelo projeto básico, precisariam entrar no mínimo 7 metros em terreno com NSPT acima de 50 golpes, e ciente de que as sondagens a percussão não viabilizariam o conhecimento do terreno nessas camadas, justamente por se limitar aos trechos de reconhecimento superficial, solicitou a execução de sondagens mistas para subsidiar a elaboração o projeto de fundações.

A DER/DF apontou que a realização de uma sondagem por apoio deveria ser feita somente nas pontes – OAE'S 06, OAE 07 e Ponte do Braghetto (por serem estruturas mais complexas e cujas fundações ficam sob cursos d´água, com sensíveis variações no perfil hidro geológico, sendo que nos viadutos dever-se-ia fazer, no mínimo, uma sondagem para cada linha de pilar

(ou região de influência), devido à proximidade física desses elementos estruturais em cada obra.

Começando pelo grupo G1, mostrado anteriormente, serão levantadas em ordem numérica, a seguir, as 13 obras de arte especial que constituem esse complexo trecho de infraestrutura brasiliense.

5.4.3 Obra de arte especial 01 –TTN

A obra de arte especial 01, resulta em um viaduto apoiado em 6 pilares de forma capsular, cujo principal intuito foi criar uma ciclovia que atravessasse longitudinalmente o viaduto com 3,00 metros de largura útil (figura a seguir), cuja inclusão foi necessária para atender o novo traçado do projeto de ciclovias desenvolvido pela STE – Serviços Técnicos de Engenharia S.A.



Figura 168 - OAE 01, TTN, Brasília, DF.

A implantação dessa obra de arte especial é singular e sua linguagem arquitetônica, a partir dos próprios pilares, se destaca dos outros dois viadutos

adjacentes. As questões de acessibilidade e da passagem da ciclovia, foram incluídas para que todos os usuários da infraestrutura (não apenas o trafego dos automóveis), usufruíssem desse patrimônio comum.



Figura 169 – Implantação da OAE 01, adjacente à dois viadutos existentes, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF.

Os pilares, principal marco da linguagem arquitetônica do viaduto, possuem uma seção transversal “capsular”, constando em um formato resistente de 50x400 cm.



Figura 170 - Volumetria do novo pilar em formato capsular 50x400 cm, OAE 01, TTNN,Brasília, DF.

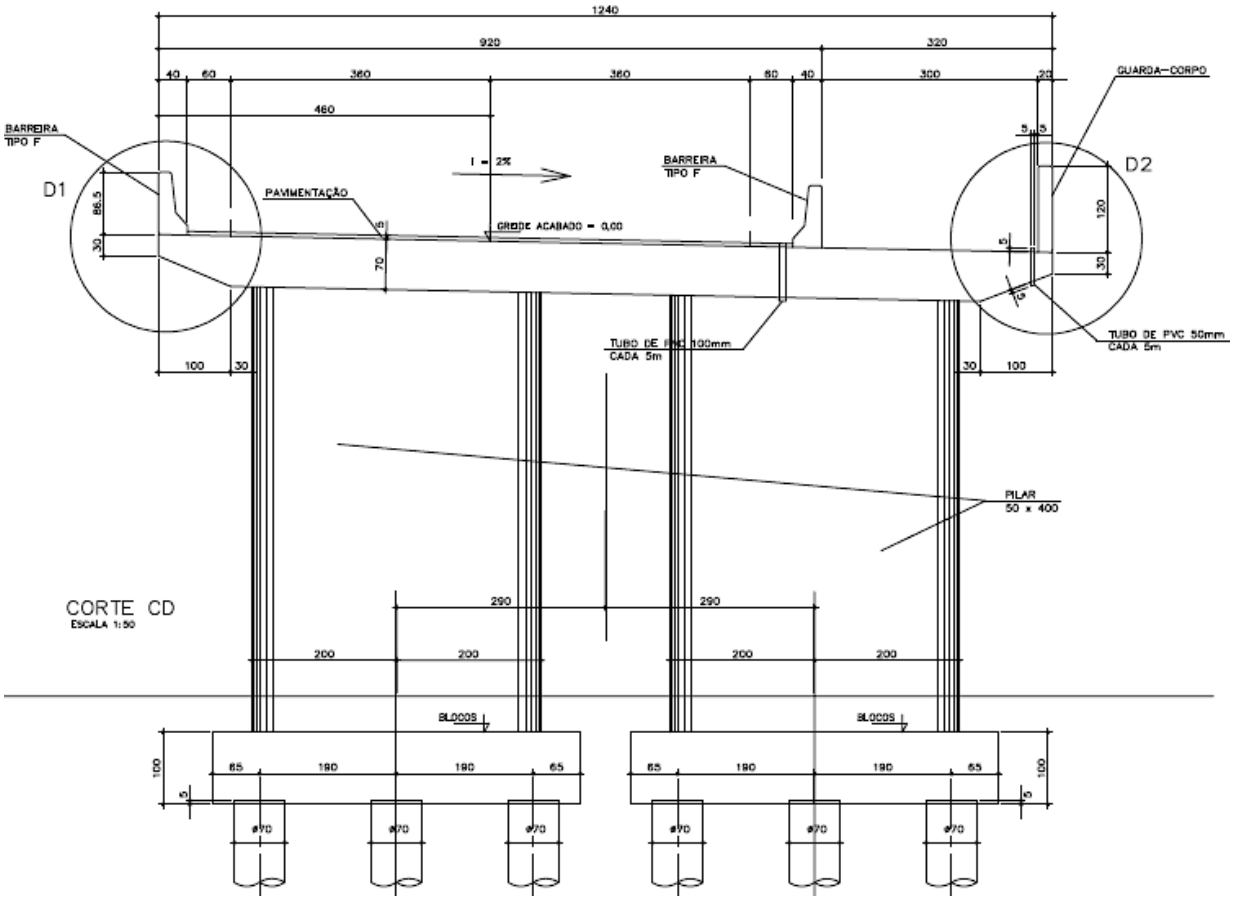


Figura 171 - Seção transversal OAE 01 – projeto executivo com ciclovia.

No projeto executivo de retrofit, além da inclusão da ciclovia no tabuleiro do viaduto, os vão entre os pilares centrais passaram de 16,00 metros para 18,15 metros. Esse ajuste foi necessário porque esta OAE foi elaborada no projeto de estudo preliminar com os pilares caindo sobre a pista existente, sendo a manutenção dos vãos com 16,00 metros insuficiente para vencer o vão das pistas existentes.

Essa alteração, tanto transversal e quanto longitudinal, aumentou o peso próprio da estrutura de aproximadamente 25%, mudando a distribuição dos carregamentos e dos esforços prevalentes de compressão, se tornando necessário adotar uma seção transversal maior para os elementos verticais de sustentação.

Os pilares da infraestrutura existente, de seção quadrada, foram contrapostos à novos pilares, de forma “capsular”, que se erguem para sustentar o novo trecho da OAE 01 do Trevo de Triagem Norte.



Figura 172 – Pilares novos de seção capsular e pilares existentes, quadrados.

Essa alteração ainda mantem a simetria com os outros dois viadutos existentes, paralelos a esta obra de arte especial.

Além da medida relativa ao aumento da dimensão dos pilares, foi necessária a abertura das bases dos tubulões utilizados como fundação para esse viaduto, que se implantam em terreno rochoso de elevada rigidez.

É possível observar que, diferentemente da maioria das OAE's do complexo infraestrutural do Trevo de Triagem Norte, a contenção do solo foi realizada através de muros monolíticos em gabião, constituídos por elementos metálicos contornados com telas de malha hexagonal, preenchidos com pedras (como mostram as imagens a seguir).

Os muros de gabiões são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção... A rede metálica que compõe os gabiões apresenta resistência mecânica elevada. No caso da ruptura de um dos arames, a dupla torção dos elementos preserva a forma e a flexibilidade da malha, absorvendo as deformações excessivas.



Figura 173 – Contenção em muro de gabião, OAE 01, TTN, Brasília, DF.



Figura 174 – Contenção em muro de gabião dos viadutos existentes no trecho do TTN, Brasília, DF.



Figura 175 - Pilares novos, seção transversal capsular, OAE 1, TTN, Brasília, DF.

4.4.4 Obra de arte especial 02 – TTN

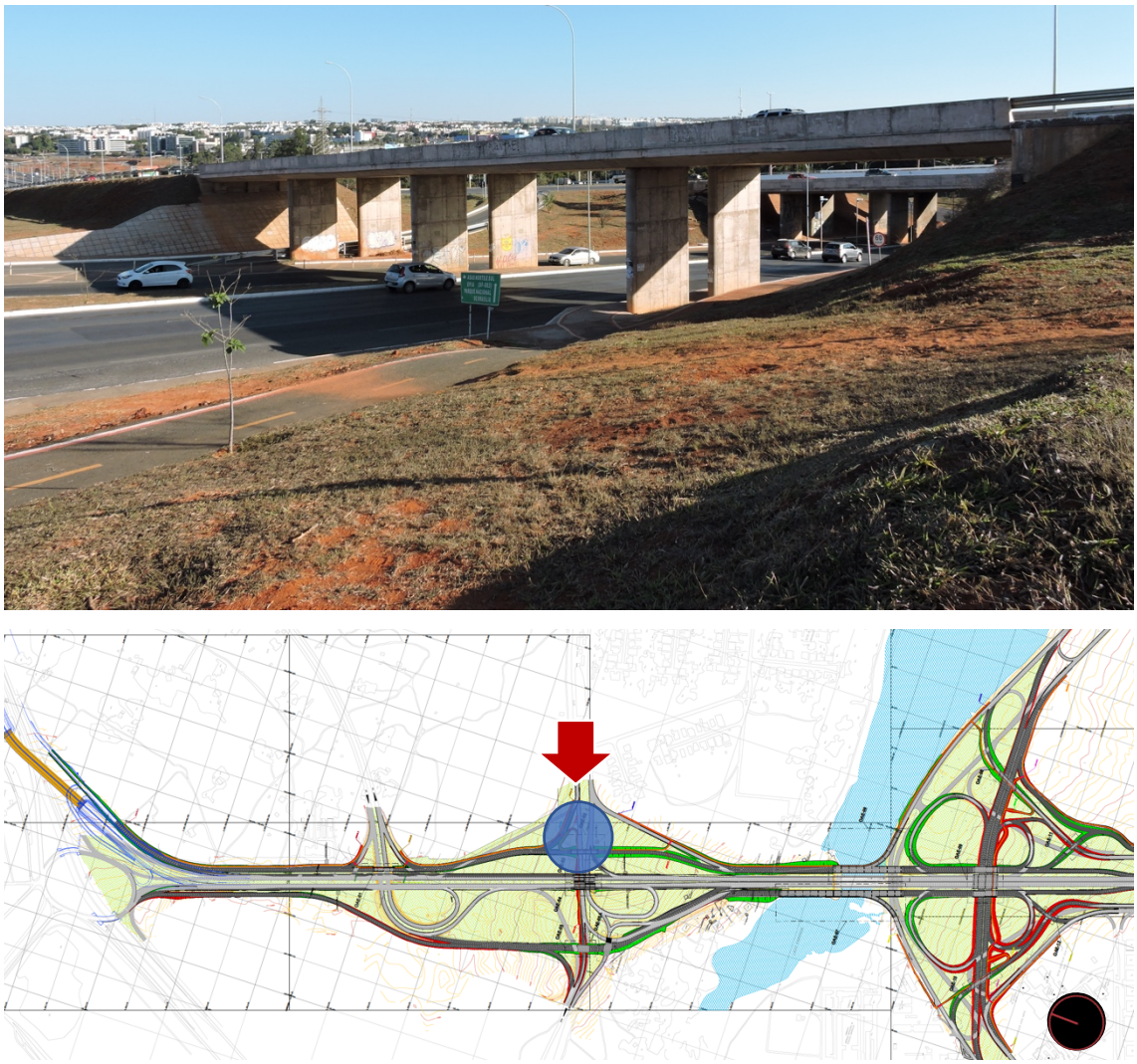


Figura 176 - OAE 02, TTN, Brasília, DF.

A obra de arte especial 02, do complexo do Trevo de Triagem Norte (TTN), resulta em uma estrutura apoiada em 6 pilares de forma capsular e duas contenções, sendo que a principal inovação foi relativa ao sistema construtivo dela.

A construção desse viaduto aconteceu sobre a trafegada saída da DF-009 (Lago Norte, bairro de Brasília). Para a edificação convencional da obra segundo um sistema convencional, a via deveria ser completamente isolada por 45 dias para permitir montagem do escoramento provisório, concretagem e consequente

tempo de cura do concreto, previsto pela norma brasileira ABNT NBR 14931:201417.



Figura 177 - Implantação da OAE 02, TTN, Brasília, DF. DER, 2018



Figura 178 - Implantação da OAE 02, mostrando as OAE's 3 e 4, atrás.

Como o departamento de trânsito do DER/DF não autorizou o fechamento da via DF-009, foi necessário prever um sistema de escoramento que deixasse um gabarito adequado para passagem de veículos durante o processo

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931:2014 Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004, 53p.

construtivo da obra de arte especial 02. Para a execução dessa solução construtiva, foram utilizados perfis metálicos apoiados em torres de alta capacidade de carga (DER, 2018).

Outra modificação, implementada na obra pela empresa de execução, a VIA Engenharia, foi referente a abertura das bases dos tubulões utilizados como fundação para a obra de arte especial 02.

Como essa atividade se deu em terreno de elevada rigidez, se tornou necessário utilizar rompedores de rocha para execução da atividade (DER, 2018).



Figura 179 – Vista leste da OAE 02, TTN, Brasília, DF.

A acessibilidade e a inteira ciclovia, que conecta todo o trecho referente ao Trevo de Triagem Norte (TTN), foram também garantidos e respeitados nesse trecho de infraestrutura urbana, fomentando a utilização e o uso de meios de transporte alternativos. Esse importante aspecto do retrofit desse complexo infraestrutural, entre outros, aponta para uma decisão democrática de inclusão social, colocando o patrimônio de Brasília à disposição de todos.



Figura 180 – Ciclovia passando pela OAE 02, cruzando-a em direcao leste-oeste.



Figura 181 – Vista do trecho de ciclovia que passa pela OAE 02, TTN, Brasília, DF.

4.4.5 Obras de arte especial 03 e 04 – TTN



Figura 182 - OAE 03, na frente, e OAE 04 atrás, TTN, Brasília, DF.

As obras de arte especial 03 e 04, viadutos próximos (adjacentes) à OAE 02, possuem uma estrutura apoiada em 6 pilares de seção capsular e duas cortinas de contenção, sendo que a principal inovação está relacionada ao método de escoramento, o mesmo utilizado para a obra de arte especial anteriormente apresentada.

A principal diferença que caracteriza os dois viadutos, está relacionada à direção de tráfego. Enquanto a OAE 03 direciona o fluxo viário do Sul para o norte, em direção do Balão do Torto, o viaduto 04 estabelece a direção do trânsito de forma oposta, do norte ao sul (direção Plano Piloto).



Figura 183 - Implantação das OAE's 03 e 04, TTN, Brasília, DF.



Figura 184 - Implantação das OAE's 03 e 04, mostrando a próxima OAE 02, atrás.

Os viadutos, próximos á OAE 02, compartilham as mesmas rotas e trechos de ciclovia, corroborando as questões de acessibilidade que são comuns

à todas as obras do conjunto da infraestrutura urbana do Trevo de Triagem Norte.



Figura 185 - OAE 04, na frente, OAE 03 e OAE 02, atrás, complexo do TTN, Brasília, DF.

4.4.6 Obra de arte especial 05 – TTN

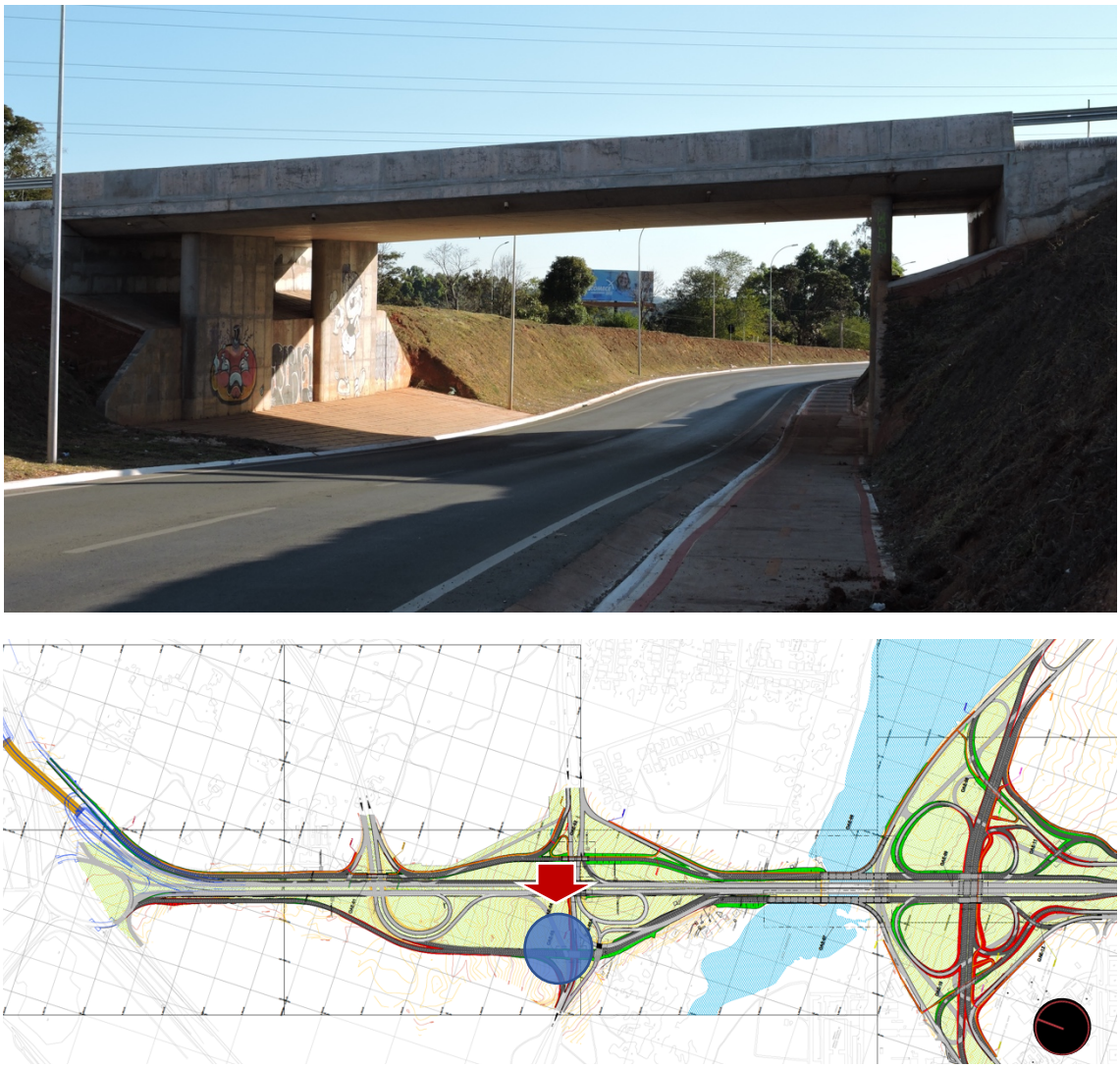


Figura 186 - OAE 05, TTN, Brasília, DF.

A OAE 05 é um viaduto sustentado por 4 unidades de pilares e duas contenções nas extremidades. A principal peculiaridade da construção dessa obra da infraestrutura urbana, se deu a partir das sondagens do solo que, resultaram inadequadas para a exequibilidade de tubulão com base alargada.

Essa solução, tomada durante o estudo preliminar, foi descartada após descobrir a presença de água pelos ensaios do solo e substituída por estacas perfuradas via hélice continua, com diâmetro de 600mm, e estacas raiz.

Além desta mudança durante o projeto executivo, devido à interferência com a adutora da concessionária de água do Distrito Federal CAESB, que passava abaixo da pista existente, foi preciso executar as estacas a partir de uma cota superior àquela de arrasamento previsto, aumentando o comprimento das estacas, consumo de volume de concreto e do arrasamento adicional.



Figura 187 – Canteiro de obra da OAE 05, TTN, Brasília, DF.

Outra modificação, gerada pela interferência da adutora, se deu no sistema de escoramento da laje do tabuleiro do viaduto. Não foi possível fazer escavação do centro da pista, devido à infraestrutura existente da CAESB e, portanto, a DER aprovou a utilização de perfis metálicos para vencer o vão de apoio. Além disso, foram criadas novas paredes próximas aos pilares, conforme figuras a seguir, para conter o volume aterrado que avança sobre a nova pista de rolamento.



Figura 188 – Saias adicionais de contenção, OAE 05, TTN.

4.4.7 Obra de arte especial 05A – TTN



Figura 189 - OAE 05A, TTN, Brasília, DF.

A OAE 05A é um viaduto bi-apoiado em duas contenções nas próprias extremidades e representa a obra de arte especial do Trevo de Triagem Norte que possui o menor comprimento.

De forma parecida à construção da obra de arte especial 05, o projeto preliminar do viaduto 05A encontrou interferências na infraestrutura existente com a torre de alta tensão da concessionaria de energia CEB e com o acesso dos moradores das chácaras do Núcleo Rural Bananal.

Portanto, foi decidida a modificação e revisão durante o projeto executivo, conduzido pela DER.



Figura 190 - OAE 05A, localização da interferencia com a torre de alta tensão da CEB, Brasília, DF.



Figura 191 – Torre de alta tensão da CEB próxima à OAE 05A, TTN, Brasília, DF.

O projeto de retrofit previu a necessidade de demolir integralmente o tabuleiro existente para levantar em cota altimétrica maior da laje, ampliar o

tabuleiro na borda esquerda e reforçar as fundações existentes com estacas, de forma parecida ao viaduto 05.



Figura 192 - Vista da saída da OAE 05A, TTN, Brasília, DF.

4.4.8 Obra de arte especial 06 – TTN



Figura 193- OAE 06, TTN, Brasília, DF.

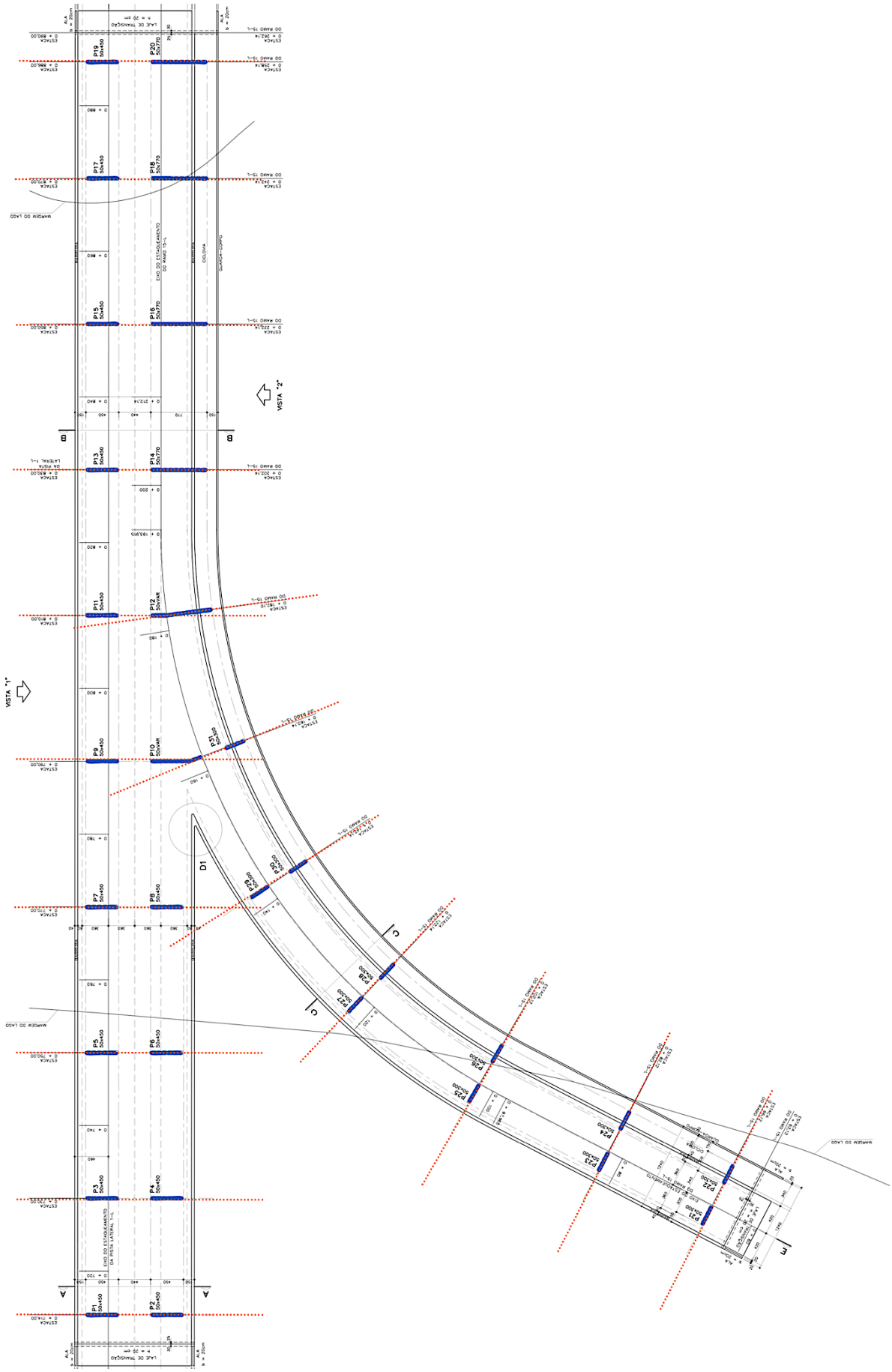


Figura 194 – Eixos estruturais dos pilares da OAE 06, TTN.



Figura 195 – Implantacão da OAE 06 após Retrofit urbano do complexo do TTN, Brasília, DF.

A OAE 06 é uma ponte sustentada por 31 unidades de pilares parede de diferentes dimensões, sendo as principais seções transversais 50x300cm, 50x450cm, 50x770cm e 50x seção variável.



Figura 196 – Construcão da OAE 06 do complexo do TTN, Brasília, DF.



Figura 197 – Vista aérea da construcão da OAE 06 do complexo do TTN e dos blocos de fundação 18 e 19, Brasília, DF.

Os blocos de fundação foram executados como tubulões com ar comprimido, devido à presença de água e, para construção das lajes do tabuleiro foram empregadas treliças metálicas apoiadas aos próprios blocos, permitindo a execução da ponte. Essas estratégias, implementadas no projeto executivo da OAE 06, mostram a capacidade da equipe responsável em se adequar aos desafios propostos pelo projeto e que, para uma intervenção de retrofit urbano de tal calibre, o entendimento do sistema construtivo da infraestrutura, da

topografia e da estática das estruturas, se torna necessário para alcançar um resultado satisfatório.



Figura 198 – Vista dos encontros dos trechos dos tabuleiros, OAE 06, TTN, Brasília, DF.

4.4.9 O retrofit estrutural da Ponte do Braghetto, TTN



Figura 199 - Ponte do Braghetto antes do retrofit estrutural, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF.

A ponte do Braghetto, uma das infraestruturas mais conhecida da capital brasileira, cujo projeto estrutural foi elaborado pelo engenheiro Aderson Moreira da Rocha, foi executada em 1960, data próxima à inauguração de Brasília.

O sistema estrutural e construtivo da ponte, contemplados em concreto armado protendido por meio de protensão parcial de aderência posterior, com bainhas metálicas, injeção de calda de cimento e ancoragens do tipo Freyssinet, mostra a tecnologia utilizada na época da obra.

Esse tipo de protensão se aplica sobre um elemento estrutural de concreto já endurecido e a aderência é processada posteriormente.

A estrutura da ponte se apoia em 16 pilares paredes, possui um vão central de 60m, dois vãos laterais de 50m e balanços de 10m nas extremidades sul e norte.

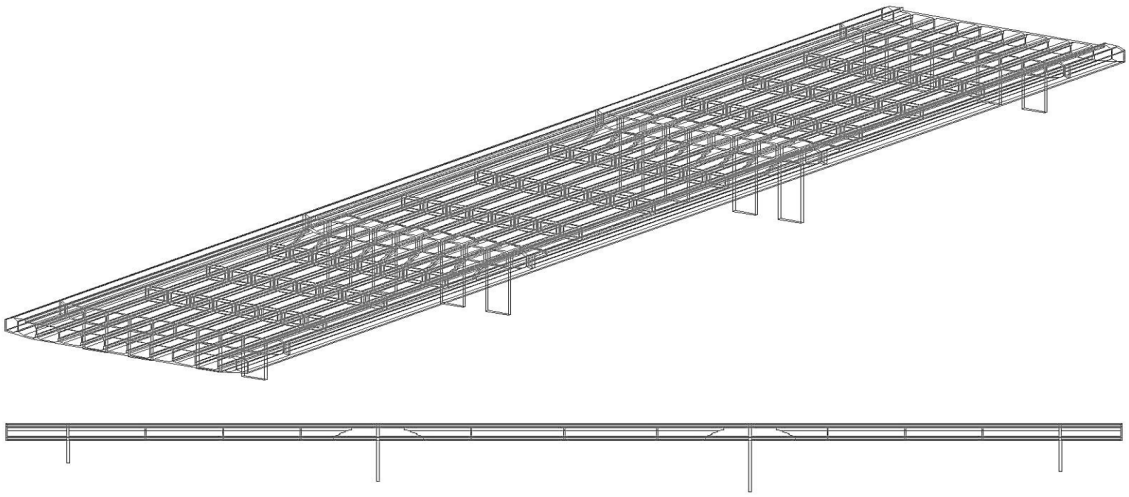


Figura 200 – Vista isométrica e lateral da estrutura da Ponte do Braghetto, TTN, Brasília, DF.

O estrado celular ou viga caixão, composto por 11 longarinas protendidas de 230cm de altura e espaçadas a cada 326cm, possui uma altura útil interna de aproximadamente 210cm, resultando possível efetuar manutenção interna à estrutura do tabuleiro protendido da ponte.



Figura 201 – Inspeção durante retrofit estrutural no alvéolo do tabuleiro, seção transversal da Ponte do Braghetto, TTN, Brasília, DF.

As lajes do topo do tabuleiro possuíam uma espessura de 13cm, enquanto as lajes de fundo resultavam de 10cm.

Pela falta de experiência no sistema de protensão parcial na época da construção (1960), houve deformação excessiva causada por fluência do concreto que, entretanto, não chegou a afetar a segurança da obra18.

As deformações excessivas, causadas pelo trânsito de veículos, exigiram correções do nivelamento da ponte com execução dos enchimentos que, consequentemente, levaram ao aumento das cargas permanentes que aumentaram as flechas e as fissuras.

Além desse fenômeno, as modificações implementadas no tabuleiro protendido, reduzindo os passeios e o canteiro central para ampliar as faixas viárias de tráfego automotivo, levaram ao aumento dos esforços na estrutura da ponte, que já se encontrava prejudicada pelas deformações excessivas.

Portanto, apenas depois de menos de 20 anos, em 1979, foi necessário um projeto de reforço estrutural elaborado pelo mesmo calculista, Aderson Moreira da Rocha, para adequar a obra às normativas vigentes.

No período de julho a dezembro de 1998, a empresa Concremat Engenharia, realizou atividades de mapeamento das anomalias encontradas na infraestrutura, inspeção estrutural, ensaios “in loco” e nivelamento da topografia para estabelecer qual fosse o real estado de conservação no qual versava a ponte do Braghetto.

Portanto, antes do projeto preliminar do retrofit estrutural da ponte do Braghetto, a R.A. Rocha Engenharia executou a análise estrutural da obra de arte especial, mostrando as duas fases da vida útil da infraestrutura:

- Projeto Original de 1960, renomeado Stage 1, Step 2;
- Projeto Executivo de Reforço Estrutural de 1979 – Aderson Moreira da Rocha / 1979, renomeado Stage 2, Step 2.

Pelo projeto estrutural de 1960, os Estados limites últimos (ELU), Estados limites de serviço (ELS) de fissuração e deformação, são atendidos no meio do

[18] O Concreto no Brasil: Professores, Cientistas, Técnicos", 1a Edição PINI, São Paulo, 1992. Publicação CDD-691.30981.

vão, enquanto resultam ultrapassados nos apoios. A seguir, são apresentadas as tabelas das combinações de carga utilizadas para verificação dos Estados Limites Últimos, produzidas pela análise da empresa R.A. ROCHA Engenharia.

Na análise estrutural da Ponte do Braghetto foram consideradas as seguintes combinações de cargas p/ verificação do Estado Limite Último:

► ELU-COMB1: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]

► ELU-COMB2: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(1.0)FREN

► ELU-COMB3: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(1.0)FREN+(0.6x1.4)VENTO+(0.6x1.2)TEMP1

► ELU-COMB4: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(1.0)FREN+(0.6x1.4)VENTO+(0.6x1.2)TEMP2

► ELU-COMB5: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.7x1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(0.7x1.0)FREN+(1.4)VENTO+(0.6x1.2)TEMP1

► ELU-COMB6: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.7x1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(0.7x1.0)FREN+(1.4)VENTO+(0.6x1.2)TEMP2

► ELU-COMB7: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.7x1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(0.7x1.0)FREN+(0.6x1.4)VENTO+(1.2)TEMP1

► ELU-COMB8: (1.35)PP+(1.40)REV+(0.90)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.7x1.50)[MULT+MULTP+TB45]+(0.7x1.0)FREN+(0.6x1.4)VENTO+(1.2)TEMP2

→ Variações Térmicas: TEMP1 (DT= +15^{o}C) e TEMP2 (DT= -15^{o}C).

→ Revestimento: REV .

→ Vento (NBR-6123): VEN = 1.0 KN/m^{2}.

Tabela 11 - Combinações de carga utilizadas para os ELU da ponte do Braghetto.

Estado Limite Último (ELU)						
Combinação	Estágio Construção	Seção X=60.3m (Apoio)	Situação	Seção X=90.15m (Vão)	Situação	Descrição
CS-COMB1	Stage 1 - Step2 Time = 6950 days	M_{sd} = 10200 KN.m M_{ud} = 14469 KN.m	OK!	M_{sd} = 4710 KN.m M_{ud} = 10084 KN.m	OK!	Projeto Original 1960
CS-COMB1	Stage 2 - Step2 Time = 10000 days	M_{sd} = 8860 KN.m M_{ud} = 16974 KN.m	OK!	M_{sd} = 4780 KN.m M_{ud} = 10137 KN.m	OK!	Projeto 1960 Reforço 1979
CS-COMB2	Stage 1 - Step2 Time = 6950 days	M_{sd} = 15900 KN.m M_{ud} = 15827 KN.m	Não Atende!	M_{sd} = 7980 KN.m M_{ud} = 10609 KN.m	OK!	Projeto Original 1960
CS-COMB2	Stage 2 - Step2 Time = 10000 days	M_{sd} = 14600 KN.m M_{ud} = 18753 KN.m	OK!	M_{sd} = 8060 KN.m M_{ud} = 10612 KN.m	OK!	Projeto 1960 Reforço 1979
CS-COMB4	Stage 1 - Step2 Time = 6950 days	M_{sd} = 15900 KN.m M_{ud} = 15715 KN.m	Não Atende!	M_{sd} = 14800 KN.m M_{ud} = 18586 KN.m	OK!	Projeto Original 1960
CS-COMB4	Stage 2 - Step2 Time = 10000 days	M_{sd} = 8200 KN.m M_{ud} = 10500 KN.m	OK!	M_{sd} = 8110 KN.m M_{ud} = 10445 KN.m	OK!	Projeto 1960 Reforço 1979

Stage 1 - Step1	Time = 0 days	Ano 1960 - Aplicação dos Cabos 1, 2, 3 e 4 (Apoio) e Cabos 5, 6 e 7 (Meio Vão).
Stage 1 - Step2	Time = 6950 days	Ano 1979 - Antes do Reforço c/ efeitos de fluência e retração no concreto (19 anos ~ 6950 dias).
Stage 2 - Step1	Time = 6950 days	Ano 1979 - Após aplicação dos Cabos de Reforço 8, 9, 10 e 11 (Apoio).
Stage 2 - Step2	Time = 10000 days	Ano 1987 - 10000 dias após projeto original (tempo infinito p/ cálculo de fluência e retração).

Tabela 12 – Resultado das combinações de carga utilizadas para os ELU da ponte do Braghetto.

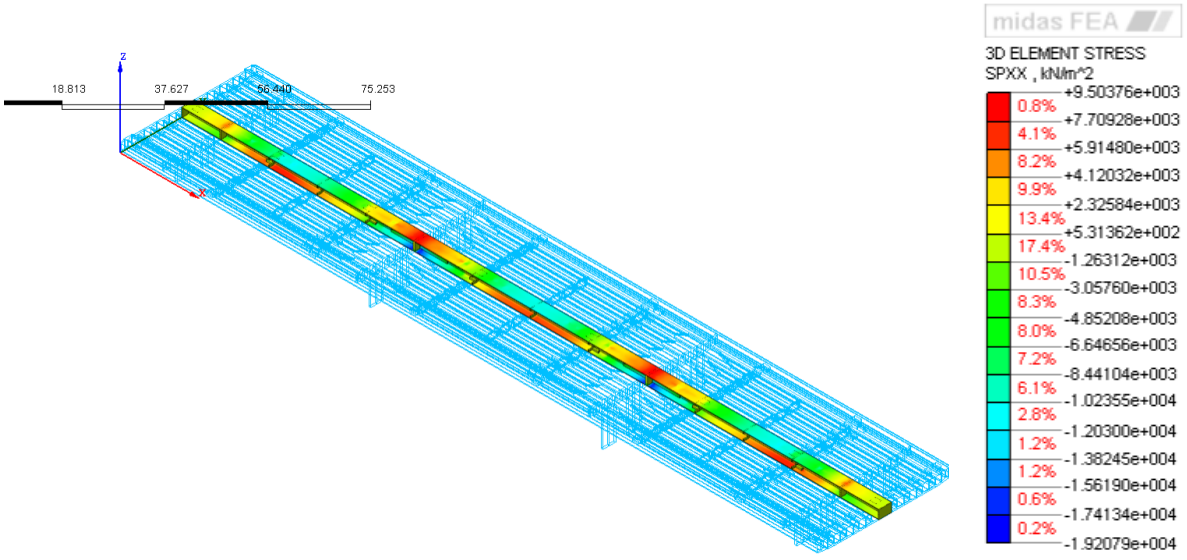


Figura 202 - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto.

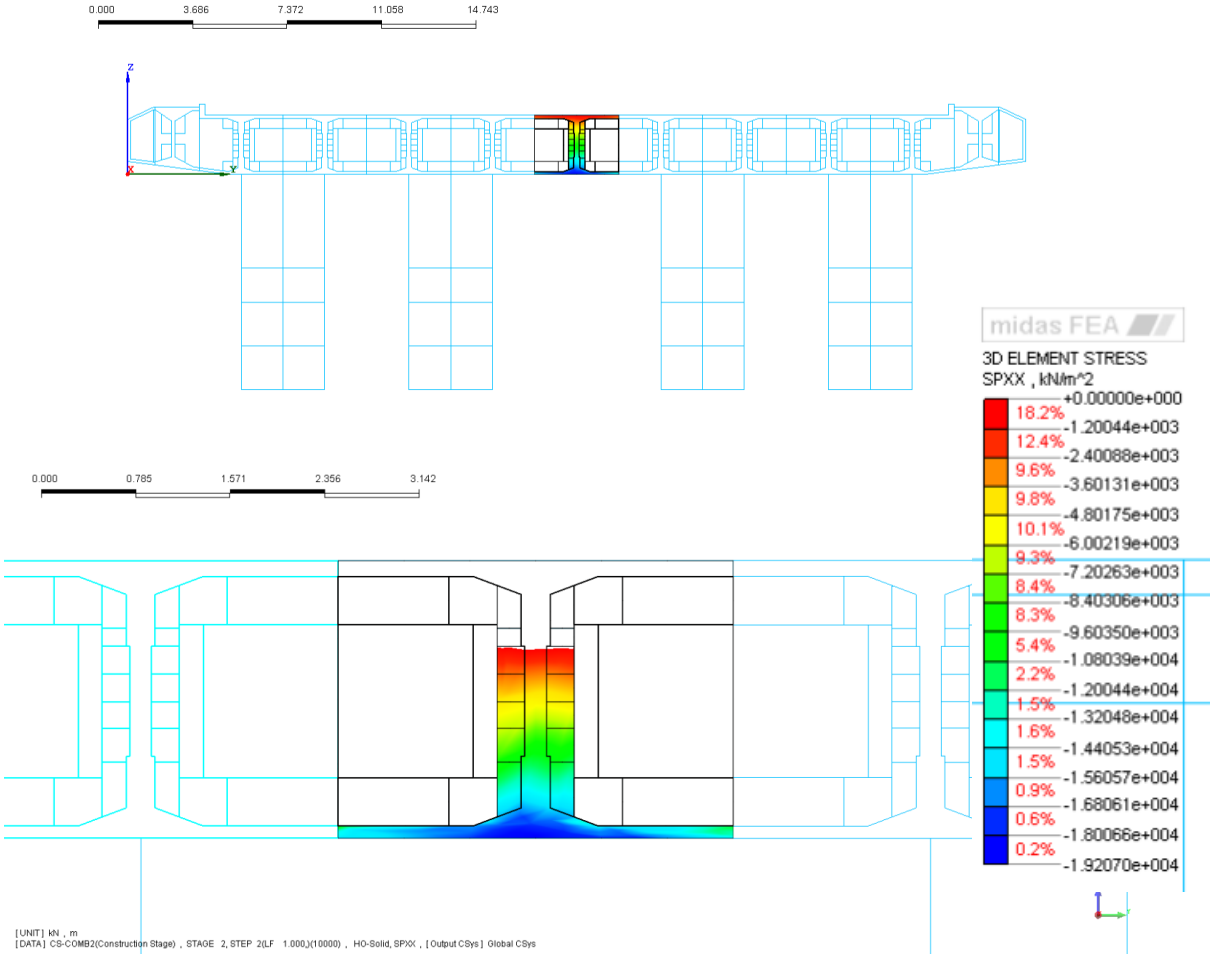


Figura 203 – Concreto - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto.

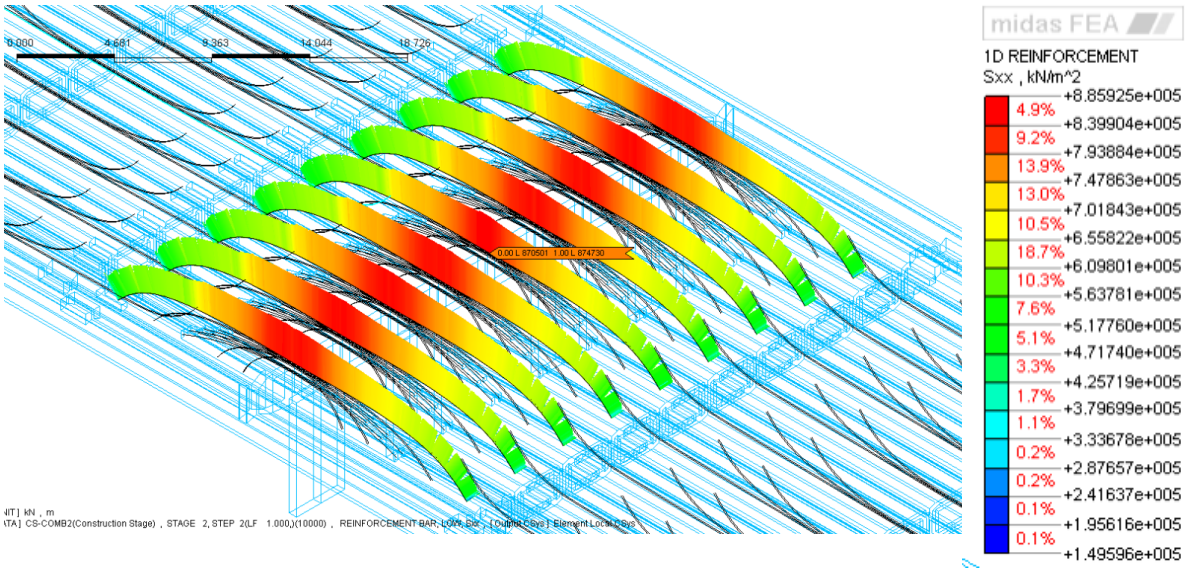


Figura 204 - Cabos - Tensões Normais Sxx [KN/m2] – Direção Longitudinal da longarina central, ponte do Braghetto.

Os resultados das combinações tanto dos ELU quanto dos ELS de fissuração, deformação e deslocamento, apontam para um adequado comportamento estrutural tanto nos apoios quanto no meio do vão, isto é. concernente à segurança dos usuários e ao desempenho da estrutura da ponte do Braghetto.

Na análise estrutural da Ponte do Braghetto foram consideradas as seguintes combinações de cargas p/ estado limite de serviço de fissuração:

Combinações Frequentes de Serviço (Abertura de Fissuras):

► ELSW-COMB9: (1.0)PP+(1.0)REV+(1.0)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.5)[MULT+MULTP+TB45]+(0.5)FREN+(0.3)TEMP1

► ELSW-COMB10: (1.0)PP+(1.0)REV+(1.0)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.5)[MULT+MULTP+TB45]+(0.5)FREN+(0.3)TEMP2

→ Variações Térmicas: TEMP1 (DT= +15°C) e TEMP2 (DT= -15°C).

Figura 205 - Combinações de carga utilizadas para os ELS de fissuração da ponte do Braghetto.

Estado Limite de Serviço - Fissuração (ELSW)						
Combinação	**Estágio Construção**	**Seção X=60.3m (Apoio)**	**Situação**	**Seção X=90.15m (Vão)**	**Situação**	**Descrição**
CS-COMB10 (ELSW)	Stage 1 - Step2 Time = 6950 days	M_{sd} = 7910 KN.m w = 0.258mm w_{lim} = 0.200mm	Não Atende!	M_{sd} = 3730 KN.m w = 0.154mm w_{lim} = 0.200mm	OK!	Projeto Original 1960
CS-COMB10 (ELSW)	Stage 2 - Step2 Time = 10000 days	M_{sd} = 6490 KN.m w = 0.137mm w_{lim} = 0.200mm	OK!	M_{sd} = 3710 KN.m w = 0.152mm w_{lim} = 0.200mm	OK!	Projeto 1960 Reforço 1979

Stage 1 - Step1	Time = 0 days	Ano 1960 - Aplicação dos Cabos 1, 2, 3 e 4 (Apoio) e Cabos 5, 6 e 7 (Meio Vão).
Stage 1 - Step2	Time = 6950 days	Ano 1979 - Antes do Reforço c/ efeitos de fluência e retração no concreto (19 anos ~ 6950 dias).
Stage 2 - Step1	Time = 6950 days	Ano 1979 - Após aplicação dos Cabos de Reforço 8, 9, 10 e 11 (Apoio).
Stage 2 - Step2	Time = 10000 days	Ano 1987 - 10000 dias após projeto original (tempo infinito p/ cálculo de fluência e retração).

Tabela 13 - Resultado das combinações de carga utilizadas para os ELS de fissuração da ponte do Braghetto.

Na análise estrutural da Ponte do Braghetto foram consideradas as seguintes combinações de cargas p/ estado limite de serviço de deformação excessiva (ELSD):

Combinações Quase-Permanentes de Serviço (Deformações Excessivas):

► ELSD-COMB11: (1.0)PP+(1.0)REV+(1.0)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.3)[MULT+MULTP+TB45]+(0.5)FREN+(0.3)TEMP1

► ELSD-COMB12: (1.0)PP+(1.0)REV+(1.0)[Tendon1+Tendon2+...+Tendon10+Tendon11]
(0.3)[MULT+MULTP+TB45]+(0.5)FREN+(0.3)TEMP2

→ Variações Térmicas: TEMP1 (DT= +15°C) e TEMP2 (DT= -15°C).

Figura 206 - Combinações de carga utilizadas para os ELS de deformação da ponte do Braghetto.

Estado Limite de Serviço - Deformação (ELSD)						
Combinação	**Estágio Construção**	**Seção X=90.0m (Vão)**	**Situação**	**Seção X=0.00m (Balanço)**	**Situação**	**Descrição**
CS-COMB11 (ELSD)	Stage 1 - Step2 Time = 6950 days	ΔZ = -10.88cm ΔZ_{lim} = -24cm	OK!	ΔZ = +4.52cm ΔZ_{lim} = +8.0cm	OK!	Projeto Original 1960
CS-COMB11 (ELSD)	Stage 2 - Step2 Time = 10000 days	ΔZ = -10.76cm ΔZ_{lim} = -24cm	OK!	ΔZ = +4.63cm ΔZ_{lim} = +8.0cm	OK!	Projeto 1960 Reforço 1979

Stage 1 - Step1	Time = 0 days	Ano 1960 - Aplicação dos Cabos 1, 2, 3 e 4 (Apoio) e Cabos 5, 6 e 7 (Meio Vão).
Stage 1 - Step2	Time = 6950 days	Ano 1979 - Antes do Reforço c/ efeitos de fluência e retração no concreto (19 anos ~ 6950 dias).
Stage 2 - Step1	Time = 6950 days	Ano 1979 - Após aplicação dos Cabos de Reforço 8, 9, 10 e 11 (Apoio).
Stage 2 - Step2	Time = 10000 days	Ano 1987 - 10000 dias após projeto original (tempo infinito p/ cálculo de fluência e retração).

Tabela 14 - Resultado das combinações de carga utilizadas para os ELS de deformação da ponte do Braghetto.

Estado Limite de Serviço - Deformação (ELSD) - Stage 2 / Step 2 - Time = 10000 days				
Combinação	**Meio do Vão Central**	**Flecha Limite**	**Situação**	**Observação**
CS-COMB1	ΔZ = -15.18cm	ΔZ_{lim} = -24.00cm	OK!	Combinação p/ ELU
CS-COMB2	ΔZ = -23.90cm	ΔZ_{lim} = -24.00cm	OK!	Combinação p/ ELU
CS-COMB3	ΔZ = -23.85cm	ΔZ_{lim} = -24.00cm	OK!	Combinação p/ ELU
CS-COMB4	ΔZ = -23.92cm	ΔZ_{lim} = -24.00cm	OK!	Combinação p/ ELU
CS-COMB11	ΔZ = -10.76cm	ΔZ_{lim} = -24.00cm	OK!	Combinalção p/ ELSD

Tabela 15 - Resultado das combinações de carga utilizadas para os ELS de deformação - Deslocamento Vertical ΔZ (m), da ponte do Braghetto.

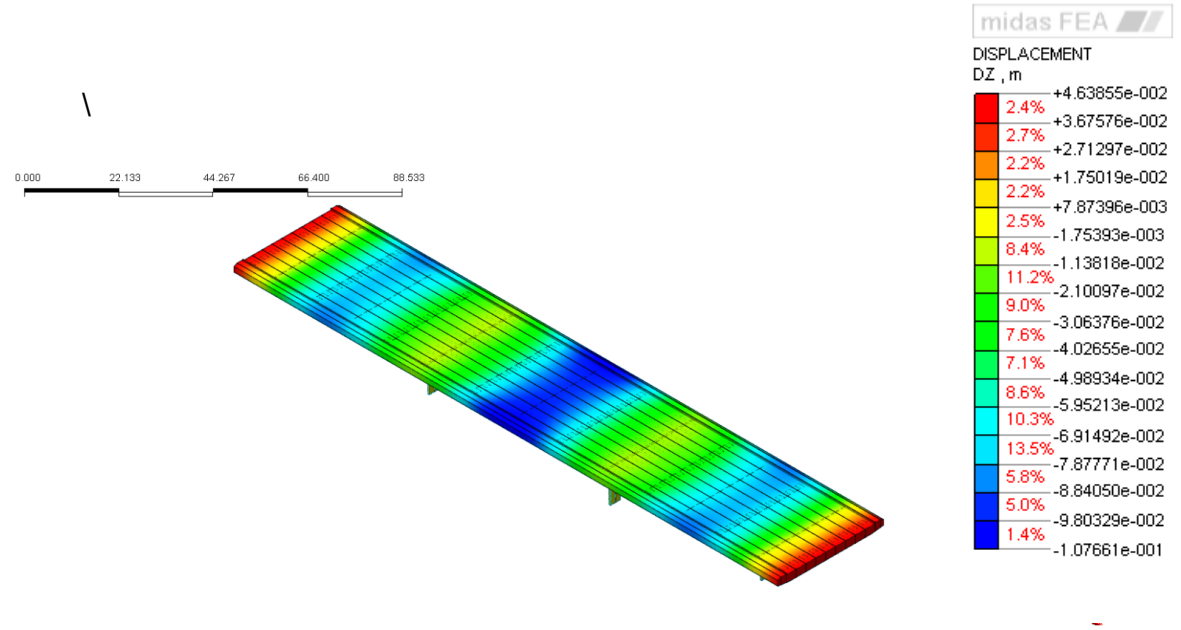


Figura 207 - CS-COMB11 – Deslocamento Vertical ΔZ (m), ponte do Braghetto.

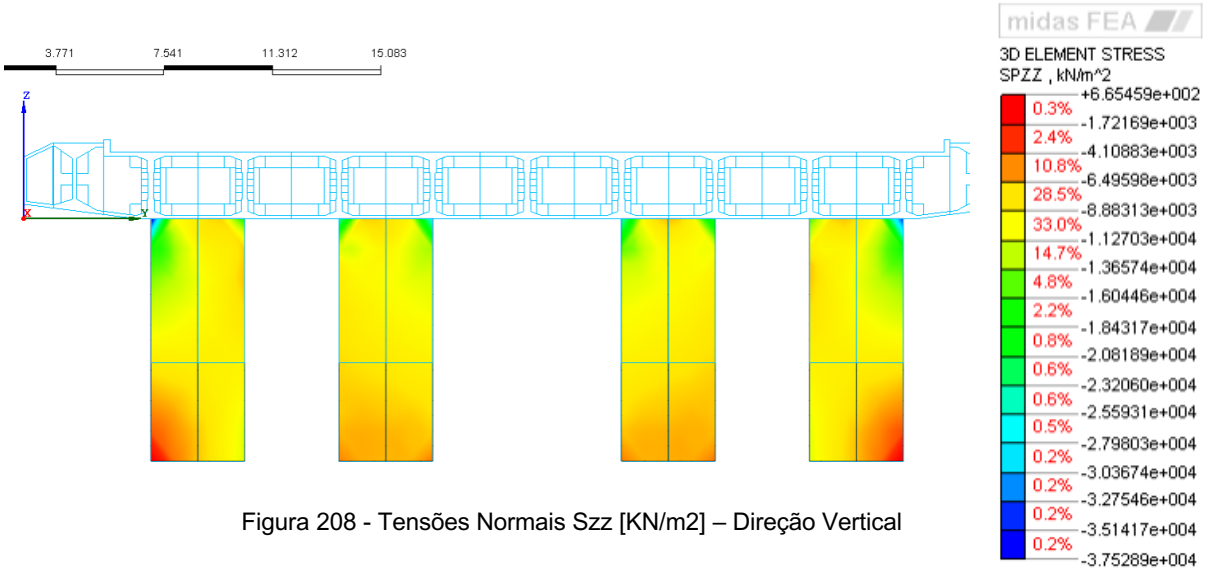


Figura 208 - Tensões Normais Szz [KN/m2] – Direção Vertical

Os pilares da ponte, cuja seção resultava em 50x325cm, foram redimensionados para 50x365. Além o aumento da seção transversal dos elementos de sustentação vertical, o projeto previu um reforço estrutural sobre os apoios, com armadura de 10mm de diâmetro e posterior capeamento de 10cm.

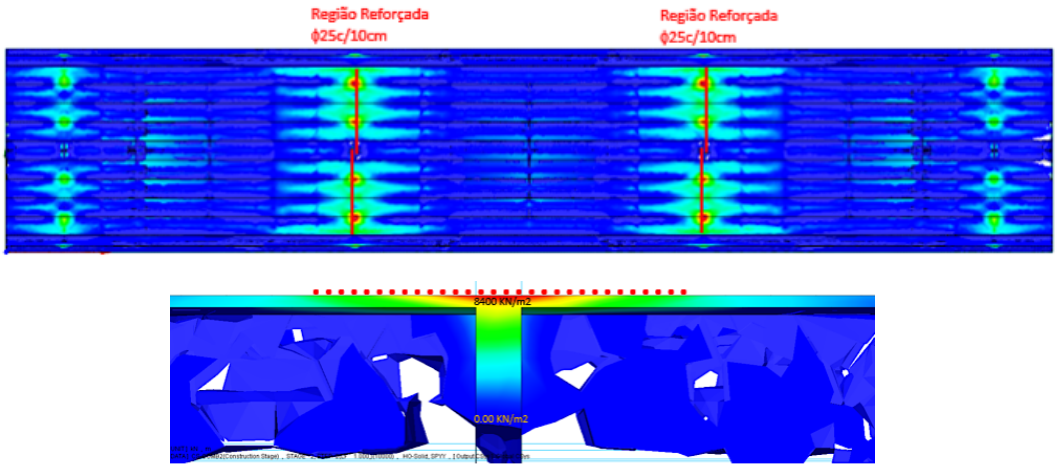


Figura 209 – Armadura de reforço sobre os apoios, ponte do Braghetto.

Posteriormente à análise estrutural, as equipes da VIA ENGENHARIA LTDA., começaram as práticas de Retrofit estrutural na ponte do Braghetto, executando diversas atividades:

1. Inclusão de laje de transição (*h = 25cm*) c/ extensão de 6.0m nas extremidades dos balanços da ponte do Braghetto;
2. Inclusão de consoles de apoio da laje de transição em concreto armado nas extremidades do balanço;
3. Armadura de reforço nos apoios (φ16c/10cm) para absorver esforços devido à laje de transição; esta ferragem deve ser disposta sobre a face superior do tabuleiro após remoção do capeamento;
4. Armadura de reforço (φ25c/10cm) para absorver esforços transversais nos apoios centrais;
5. Tratamento de anomalias cadastradas como áreas de concreto segregada, armaduras expostas e com baixo cobrimento;
6. Aumento da seção dos pilares por encapsulamento.



Figura 210– Armação para aumento da seção transversal dos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF.



Figura 211 – Formas utilizadas para recobrimento da seção transversal dos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF.



Figura 212– Colocação das formas para lançamento do conreto nos pilares da ponte do Braghetto, Brasília, DF.



Figura 213 – Lançamento do conreto nos pilares da ponte do Braghetto e vista da OAE 06.

7. Retirada de sedimentos e limpeza no interior das galerias.



Figura 214 - Limpeza das galerias laterais da ponte do Braghetto.

8. Instrumentação de acelerômetros para monitoramento do comportamento estrutural.

9. Recuperação das lajes inferiores da ponte e injeção das fissuras e trincas com resina epóxi;



Figura 215 - Laje inferior da ponte do Braghetto antes do retrofit estrutural, Trevo de Triagem Norte, Brasília, DF.



Figura 216 - Laje inferior mostrando seu estado precário antes do retrofit estrutural, Ponte do Braghetto, Brasília, DF.



Figura 217 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente externo.



Figura 218 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente interno.



Figura 219 – Recuperação da laje inferior da ponte do Braghetto durante o processo de Retrofit, ambiente externo.



Figura 220 – Laje inferior recuperada e pilares reforçados, após processo de Retrofit,



Figura 221 – Galerias laterais da ponte do Braghetto em estado precário, antes do processo de Retrofit,



Figura 222 – Galerias laterais da ponte do Braghetto recuperadas, após processo de Retrofit,

10. Desobstrução e troca dos drenos de águas pluviais;



Figura 223 – Operários atuando na desobstrução dos drenos e buzinotes de águas pluviais.

Todas as imagens coletadas e apresentadas neste livro, representam um registro iconográfico das etapas de Retrofit da Ponte do Braghetto, obra infraestrutural de Brasília, cidade patrimônio da UNESCO.

A preservação da infraestrutura histórica de Brasília, resulta fundamental para garantir segurança para os usuários e desempenho estrutural satisfatório.

4.4.10 Obra de arte especial 07 – TTN

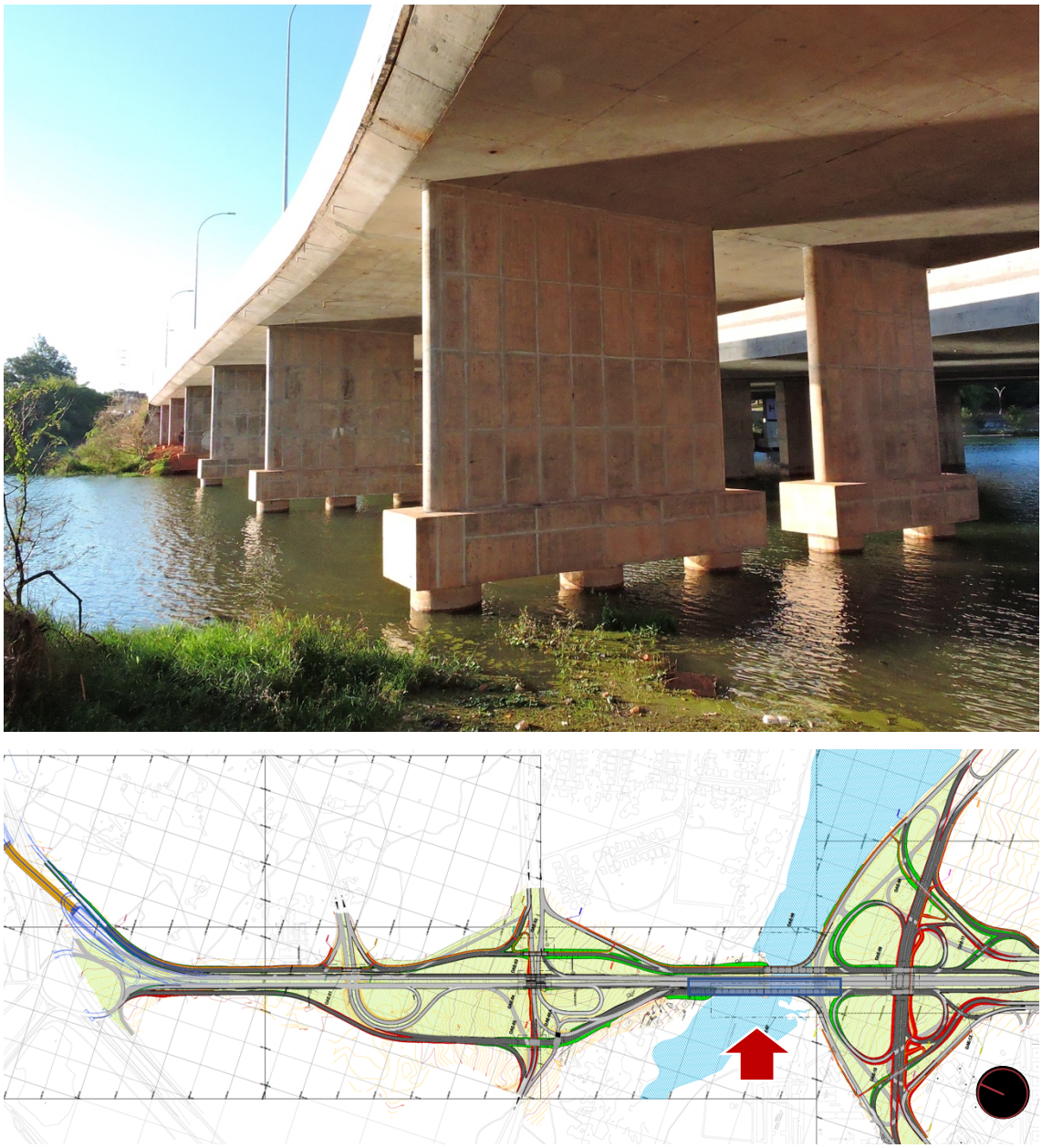


Figura 224 - OAE 07, TTN, Brasília, DF.

A Obra de Arte Especial 07, adjacente a Ponte do Braghetto, no lado oeste, possui as mesmas características estruturais e construtivas da OAE 06. A OAE 07 é uma ponte sustentada por 31 pilares de diferentes dimensões, sendo as principais seções transversais 50x300cm, 50x450cm, 50x770cm e 50x seção variável.

Sua extensão é de aproximadamente 340 metros, onde nos primeiros 160 metros, encontramos o Núcleo Rural do Bananal e o aterro já existente que encabeça a Ponte do Braghetto.

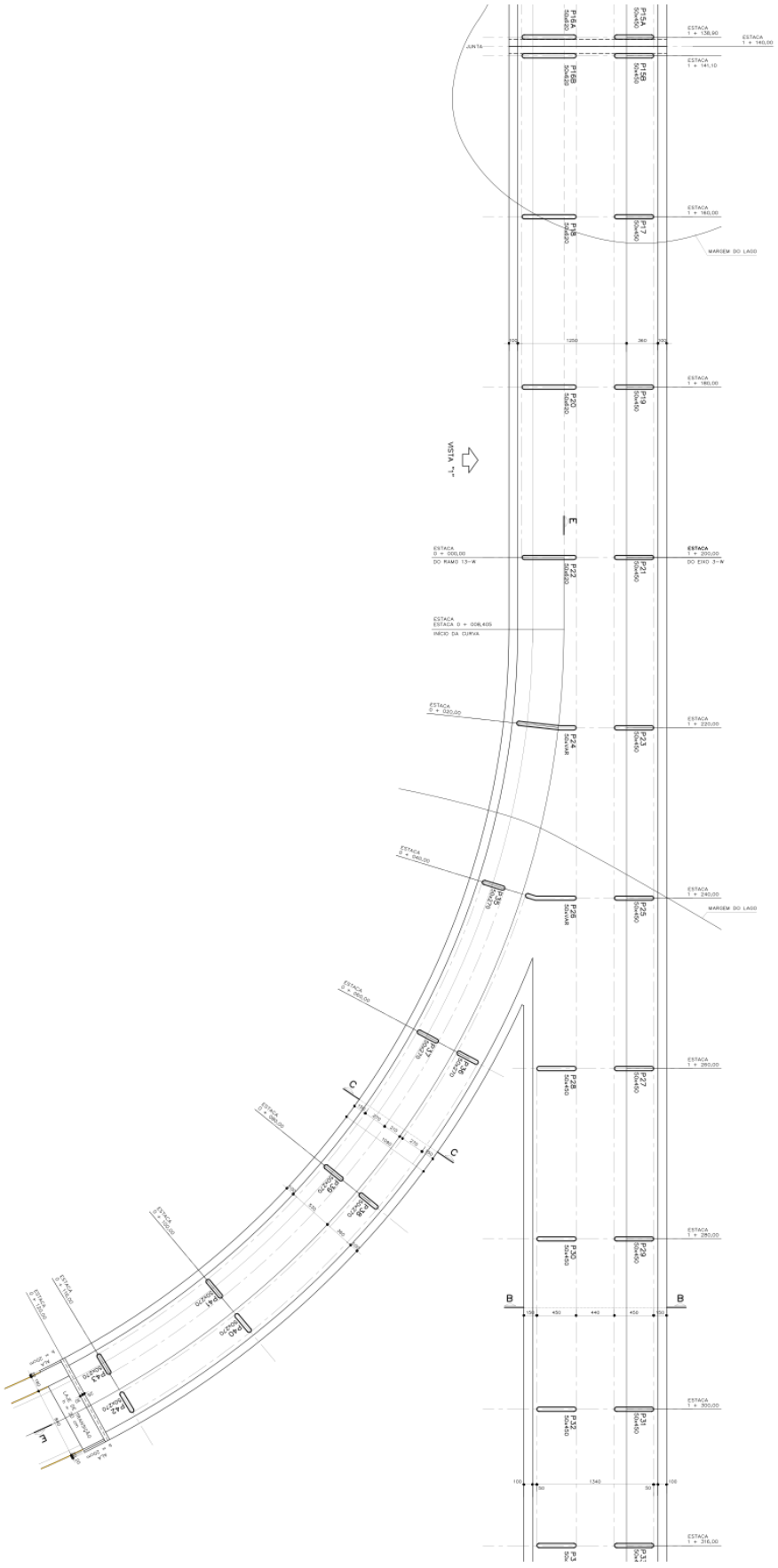


Figura 225 – Eixos estruturais dos pilares da OAE 07, TTN.



Figura 226 – Implantacão da OAE 07 após Retrofit urbano do complexo do TTN, Brasília, DF.



Figura 227 - Construcão da OAE 06 do complexo do TTN, Brasília, DF.

Como descrito anteriormente na descrição da OAE 06, localizada no Leste, a OAE 07 está implantada no lado oeste da ponte do Braghetto, recebendo o tráfego que provém pelo sentido norte da infraestrutura rodoviária do TTN.



Figura 228 – Vista aérea da construcão da OAE 07 do complexo do TTN, Brasília, DF.

A construção da ponte foi viabilizada pelos tubulões de ar comprimido, utilizados nas fundações submersas e pelo escoramento sobre treliças com apoio nos blocos.

O projeto executivo foi embasado nas normas ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos, NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações, NBR 7188:2013 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre, NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas e, finalmente, no EUROCODE 1 - Basis of design and actions on structures.

O sistema estrutural da ponte é principalmente constituído por esses quatro elementos:

1. **Superestrutura em laje maciça de concreto armado.**

Essa tipologia oferece uma estrutura esbelta e rígida, possibilitando diminuir o aterro de acesso à Obra de Arte Especial. Além disso, possibilita uma execução mais rápida pela concretagem de uma só vez, sendo mais econômica para os vãos considerados, porque apresenta um sistema de formas simplificado, menor tempo de execução e de aquisição de desempenho de serviço.

2. **Mesoestrutura em pilares-parede de concreto armado.**

A solução estética adotada visa harmonizar o aspecto com a ponte do Braghetto, procurando obter uma uniformização da linguagem arquitetônica do conjunto, e a solução construtiva resultou ser mais rápida para as condições geológicas do terreno, conforme sondagem realizada no local.

3. **Fundações em estaca-raiz, com diâmetro de 410 mm.**
4. **Camisa metálica adicional, no trecho submerso.**



Figura 229 – Vista da ponte 07, complexo do TTN, Brasília, DF.



Figura 230 – Vista dos encontros dos trechos dos tabuleiros, OAE 07, TTN, Brasília, DF.



Figura 231 – Vista da laje inferior e dos pilares da OAE 07, complexo do TTN, Brasília, DF.



Figura 232 – Vista da OAE 07, a esquerda e Ponte do Braghetto, a direita, complexo do TTN, Brasília, DF.



Figura 233 – Fundação da ponte 07, TTN, Brasília, DF.

4.4.11 Obra de arte especial 08 – TTN

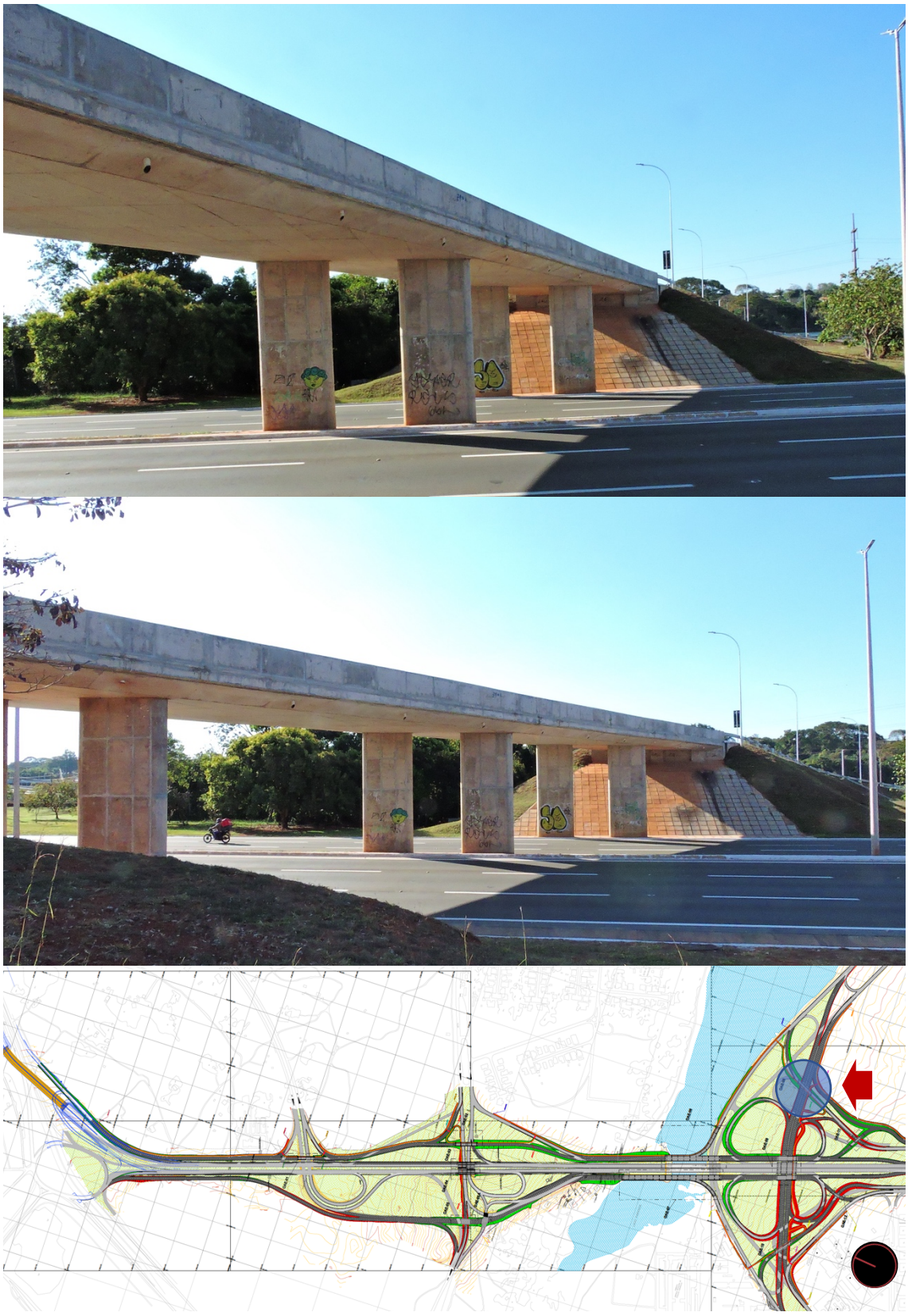


Figura 234 - OAE 08, TTN, vista sudeste, Brasília, DF.



Figura 235 - OAE 08, vista noroeste, TTN, Brasília, DF.

A OAE 08 consta em um viaduto hiperestático, apoiado em seis pilares parede de seção transversal capsular e duas cortinas de contenção, nas extremidades.

A principal modificação durante a obra deste viaduto, é referente a exclusão da execução de estaca raiz em rocha e a inclusão da implementação de estacas raiz em terreno com ensaio de solo de NSPT > 50.

Segundo relatório de obra da DER (2018), "*tal modificação atendeu a solicitação do Tribunal de Contas do Distrito Federal que entendeu que, apesar de haver a ocorrência de rochas, a metodologia utilizada para atravessar essas camadas, não utilizando de martelo de fundo, mas sim trepano, ensejaria uma revisão dos preços unitários para adequação ao equipamento que estava sendo utilizado para execução desses dos serviços*".

O arrasamento de estacas também foi item incluído, uma vez que não constava na planilha licitada e é serviço preponderante para qualidade da obra.



Figura 236 - Arrasamento da estacas da OAE 08, TTN, Brasília, DF.

O sistema estrutural da ponte é principalmente constituído por esses quatro elementos:

1. **Superestrutura em laje maciça.**
2. **Mesoestrutura em pilares-parede.**
3. **Fundações em estacas-raiz com diâmetro de 410 mm.**



Figura 237 – Vista aérea da construcão da área sul do complexo do TTN e da OAE 08.



Figura 238 – Vista aérea da construcão da área sul do complexo do TTN e da OAE 08.



Figura 239 – Vista aérea da construcão da OAE 08.



Figura 240 – Detalhe mostrando os buzinotes de escoamento / drenagem das águas pluviais, OAE 08, TTN, Brasília, DF.

4.4.12 Obras de arte especial 09L, 09C e 09W – TTN

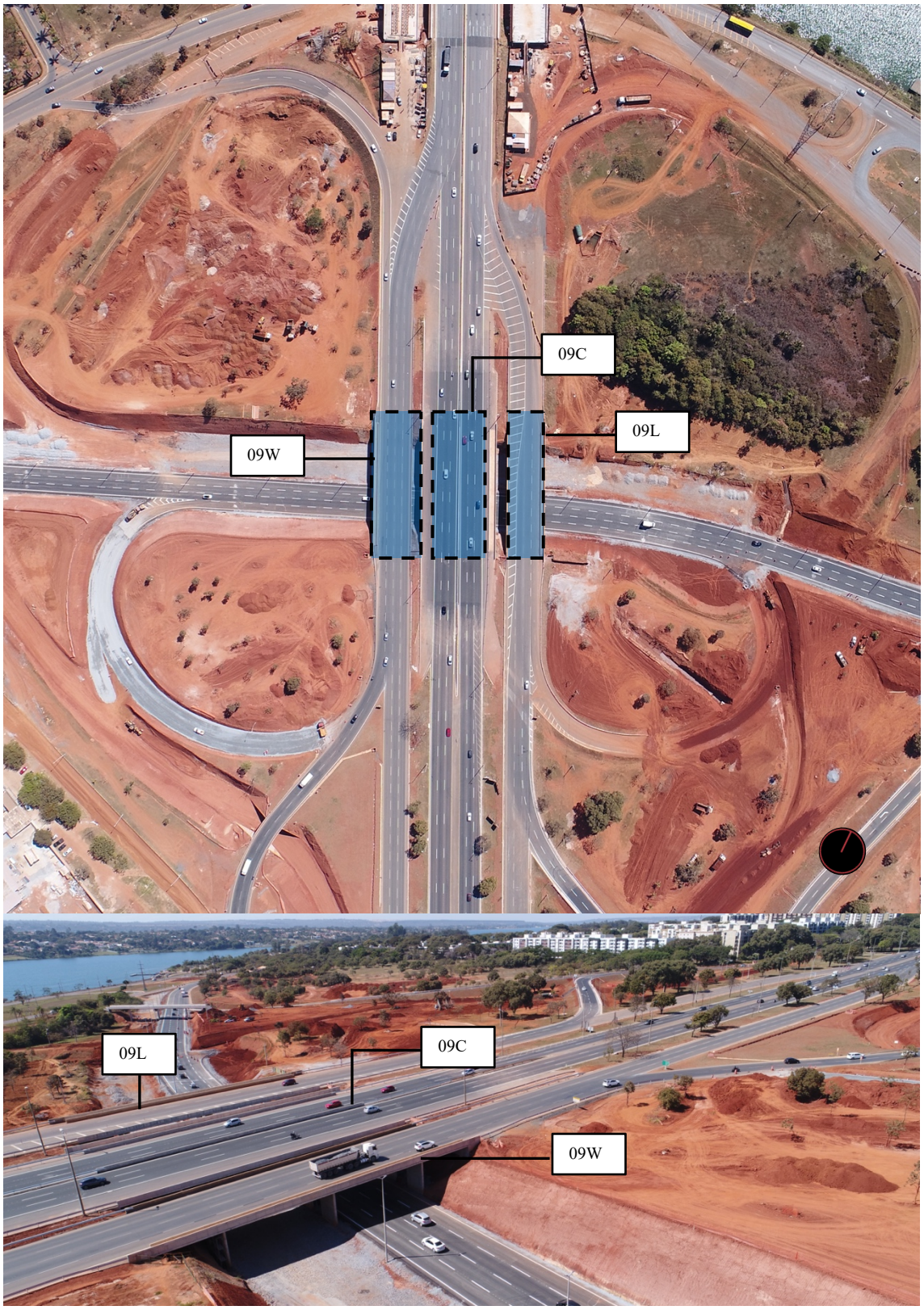


Figura 241 – Localização das obras de arte especial 09L, 09C e 09W.

As obras de arte especial 09L, 09C e 09W representam um conjunto de três viadutos adjacentes, cuja renomeação através das letras L, C e W se refere à posição de cada viaduto, respetivamente, no lado leste, oeste e central.



Figura 242 – Vista da ciclovia passando pela OAE 09L, TTN, Brasília, DF.

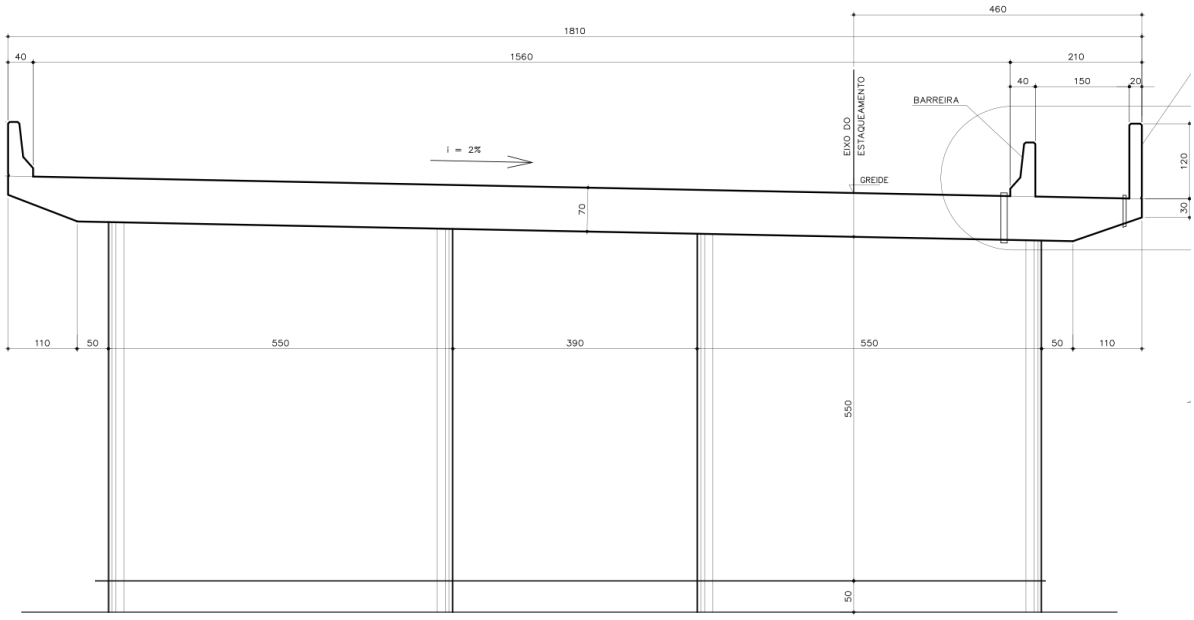


Figura 243 – Corte transversal da OAE 09L, TTN, Brasília, DF.

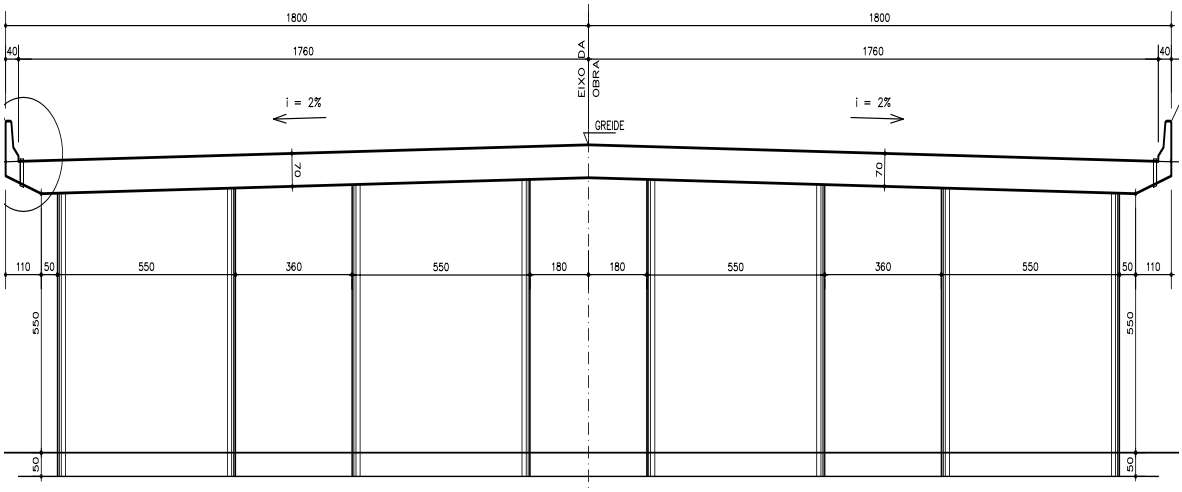


Figura 244 – Corte transversal da OAE 09C, TTN, Brasília, DF.

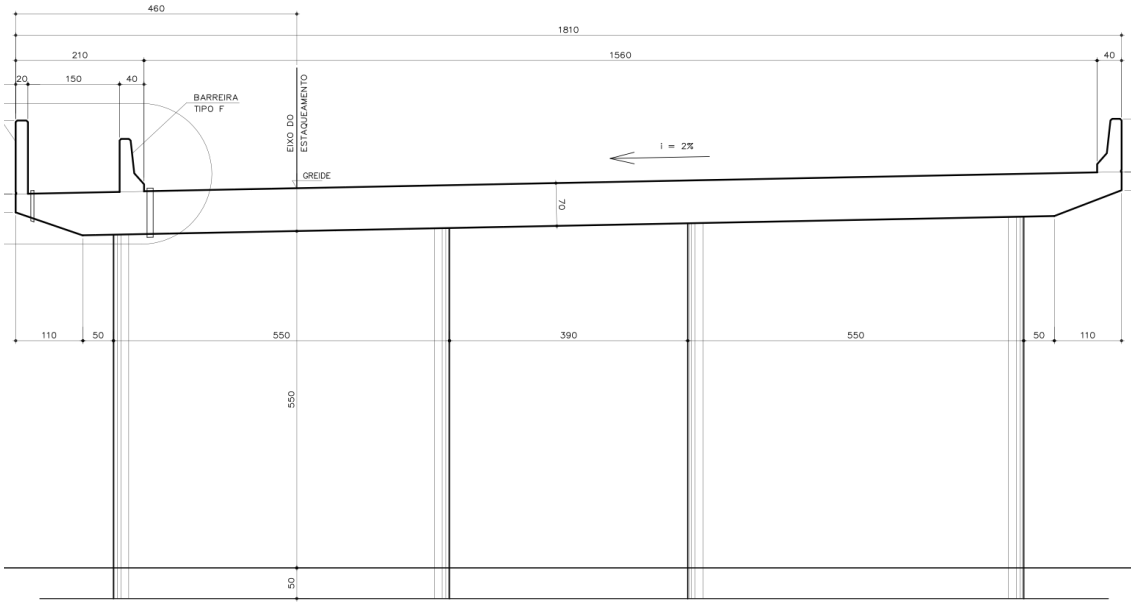


Figura 245 – Corte transversal da OAE 09W, TTN, Brasília, DF.

As OAE 09L e 09W constam em um sistema estrutural apoiado em seis pilares parede de seção transversal capsular e duas cortinas de contenção, nas extremidades, ao invés do viaduto 09C que é sustentado por doze elementos verticais. Todos os três viadutos sofreram uma revisão necessária que visasse a adequação dos quantitativos dos projetos básicos licitados para o projeto executivo das OAE's 09L, 09W e 09C, sendo que as memórias de cálculo (do executivo) estão contidas no processo de obra.

Segundo relatório fornecido pela DER/DF (2018), as principais modificações das OAE's 09 são referentes à exclusão das estacas raiz em rocha e a inclusão dos serviços de estaca raiz em terreno com índice de NSPT > 50, de forma parecida com o viaduto 08.

Além dessa medida, foram aumentadas as quantidades de estacas das fundações dos três viadutos, em decorrência dos esforços transmitidos pela superestrutura e mesoestrutura à infraestrutura, conforme descrito no relatório de CQP – Controle de Qualidade de Projetos, encaminhado ao órgão da DER/DF.

A seguir, é apresentada a situação em que o tabuleiro é submetido a retração e variação térmica. Nessa situação a reação do pilar no bloco de fundação está excêntrica ao centro geométrico das estacas, havendo distribuição não uniforme de carga nas mesmas.

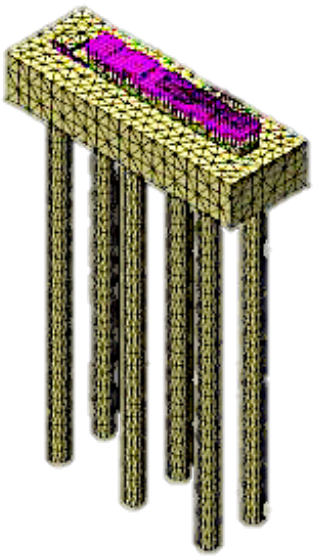
Para as OAE 09's, os esforços nas estacas foram calculados analiticamente, deslocando-se os esforços para o centro geométrico do bloco de fundação e, posteriormente, verificado no modelo numérico.

A título ilustrativo, adota-se a numeração das estacas do bloco B7 (estacas E23 a E28). Os momentos fletores, Mx e My, gerados pelos pilares no centro de gravidade do bloco, foram calculados a partir da força normal transmitida aos blocos de cada elemento. Observa-se que, nesses casos de carregamento, a reação na estaca ultrapassa o valor limite definido de 1300 kN.

Estacas	xi (cm)	xi^2	yi (cm)	yi^2	Ni (kN)
E25	-200	40000	60	3600	82.9
E28	-200	40000	-60	3600	82.9
E24	0	0	60	3600	1090.0
E27	0	0	-60	3600	1090.0
E23	200	40000	60	3600	2097.1
E26	200	40000	-60	3600	2097.1

Figura 246 – Reações nas estacas E23 a E28, OAE 09L, TTN, Brasília, DF. DER/DF, 2018

Para verificação no modelo numérico do bloco foram aplicados os esforços no pilar dividindo-se o mesmo em 11 faixas e aplicando a carga de cada nó em uma área correspondente, conforme apresentado na figura a seguir.

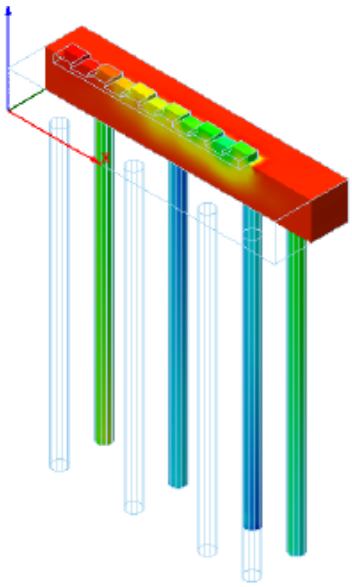


Estacas	F (kN)
E25 / E28	207
E24 / E27	1267
E23 / E26	2117

Figura 247 – Reações nas estacas E23 a E28 antes do reforço, OAE 09L, TTN, Brasília, DF.

Os valores das reações nas estacas E23 e E26 ultrapassam a resistência limite de 1300 kN das estacas, sendo necessário aumento do número para absorção desses esforços.

Na figura abaixo, apresenta-se o reforço estrutural do bloco de fundação com inclusão de 2 estacas para equilíbrio dos esforços, suportando-os de maneira satisfatória.



Estacas	F (kN)
E25 / E28	489.5
E24 / E27	1051.5
E23 / E26	1037.0
E_N1 / E_N2	802.1

Figura 248 – Reações nas estacas E23 a E28 após o reforço estrutural, OAE 09L, TTN, Brasília, DF.

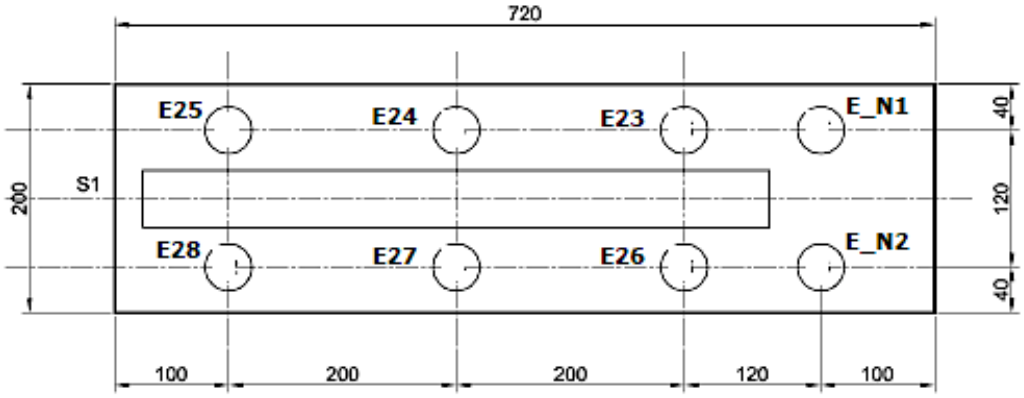


Figura 249 - Planta esquemática do bloco de fundação após o reforço estrutural, OAE 09L, TTN, Brasília, DF.

O arrasamento de estacas, também, foi item incluído no orçamento dos viadutos, uma vez que não constava na planilha licitada e é serviço preponderante para qualidade da obra.

A demolição do concreto da cabeça, cota em que se inicia a execução do fuste (da estaca ou tubulão) até a cota de arrasamento definida em projeto, foi uma atividade necessária para garantir o engastamento ideal destas estruturas nos blocos de fundação.



Figura 250 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09L, TTN, Brasília, DF.



Figura 251 - Estacas da OAE 09L, TTN, Brasília, DF.



Figura 252 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09W, TTN, Brasília, DF.



Figura 253 - Estacas com 2,00m para ser arrasada – Nível d´água aflorante. Ao fundo, mangote da bomba para secar a vala do bloco, OAE 09C, TTN, Brasília, DF.

4.4.13 Obra de arte especial 10 – TTN



Figura 254 - OAE 10, TTN, Brasília, DF.



Figura 255 – Vista aérea da construcão da OAE 10.

A OAE 10 está localizada do lado oeste e consta em um viaduto hiperestático, apoiado em seis pilares parede de seção transversal capsular e duas cortinas de contenção.



Figura 256 – Vista aérea da construcão da OAE 10.

A necessária revisão desta OAE teve por objetivo a adequação dos quantitativos do projeto básico licitado para o projeto executivo da OAE 10, que foi aprovado na SUTEC, sendo que as memórias de cálculo dos quantitativos dos serviços do projeto executivo estão contidas no processo de obra.

A primeira modificação desta OAE é referente alteração da solução de fundação dessa obra de arte especial, que incialmente estava prevista para ser executada com tubulões a céu aberto, mas que foi necessário altera-la para estacas raiz, conforme motivos a seguir relatados.

Para subsidiar a elaboração do projeto básico da OAE 10, foram executados dois furos de sondagem a percussão (SPT) denominados SP-11 e SP-12. O SP-11 iniciou-se na cota 1011,78m e perfurou até a cota 1004,60m. Já o SP-12 iniciou-se na cota 1013,03m e perfurou até a cota 1004,43m. Em ambos os casos, o limite de perfuração foi bem próximo um do outro e avançou até o solo impenetrável por meio do método de percussão.



Figura 257 - Fundação com estacas raiz.

A segunda alteração desta OAE se deu através da inclusão de uma ciclovia que passa longitudinalmente sobre o viaduto, com 3,00 metros de largura útil cuja inclusão foi necessária em decorrência do novo traçado do projeto de ciclovias desenvolvido pela STE – Serviços Técnicos de Engenharia S.A. Nas figuras a seguir, são mostradas as seções transversais do viaduto 10 no nível de estudo preliminar e do projeto executivo, constando em uma variação de aumento da largura transversal do tabuleiro de 9,20m para 12,40m.

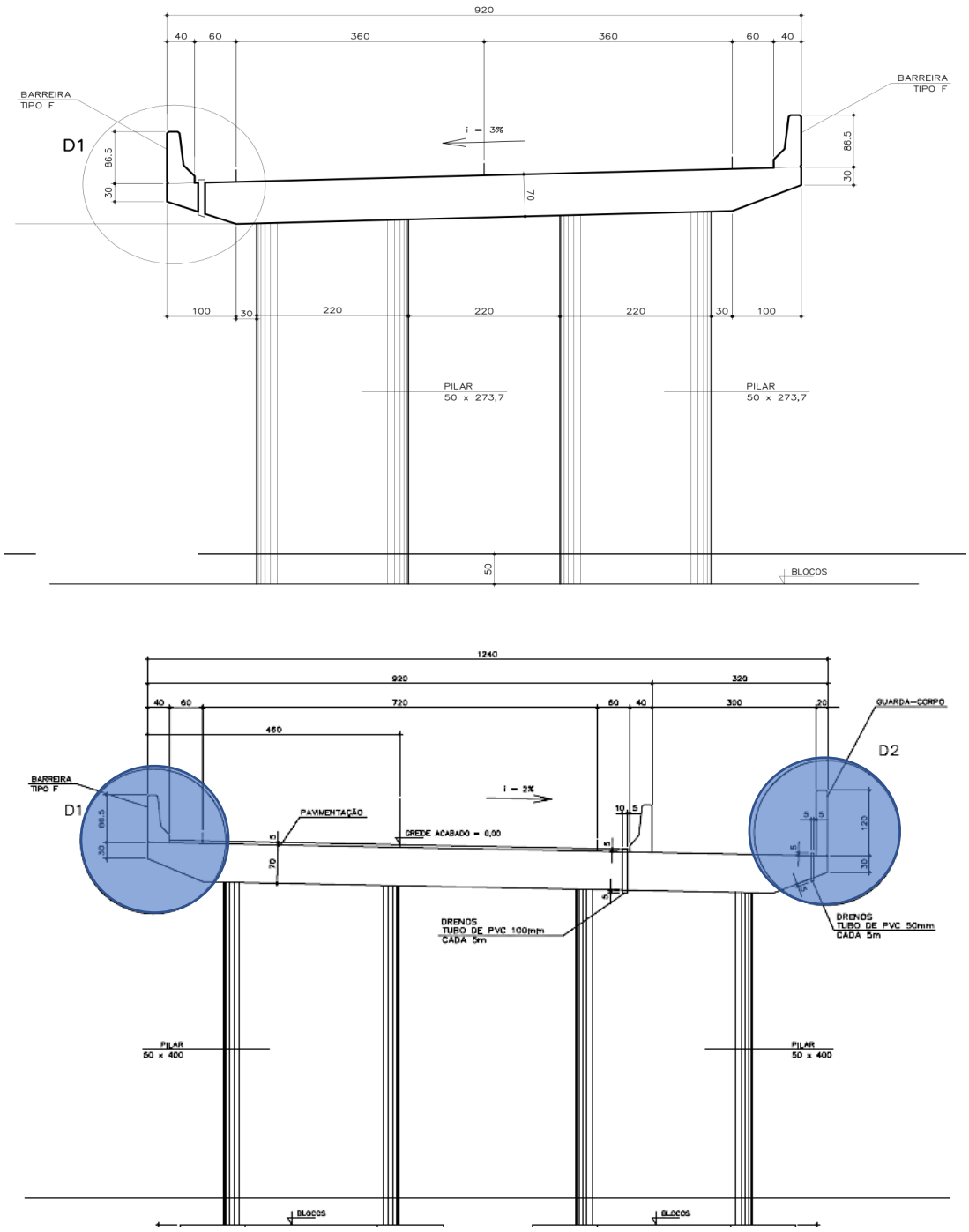


Figura 258 – Seção transversal da OAE 10 mostrando o aumento da largura do tabuleiro para abrigar a ciclovia, TTN, Brasília, DF.

4.4.14 Obra de arte especial 11 – TTN



Figura 259 - OAE 11, TTN, Brasília, DF.

A obra de arte especial 11 está localizada na parte sul do Trevo de Triagem Norte (TTN), próxima ao final do bairro da asa norte. Da mesma maneira que os projetos executivos sofreram modificações, foram elaboradas algumas reavaliações pelo DER/DF e pela STE-S.A., sendo que (nesse caso específico) houve a redução dos valores iniciais contidos no projeto básico, devido à alteração da forma estrutural para Passagem Inferior, com dimensões menores do tabuleiro do viaduto e do tipo de fundação de tubulão para estaca raiz.

Essa modificação tornou-se necessária enquanto o afloramento do lençol freático no fundo dos furos executados poderia acarretar desabamentos no corpo da escavação, comprometendo a segurança dos operários durante o alargamento da base do tubulão.

A solução implementada se tornou a mais viável, levando em conta a rapidez da execução, segurança e desempenho da obra de arte especial.

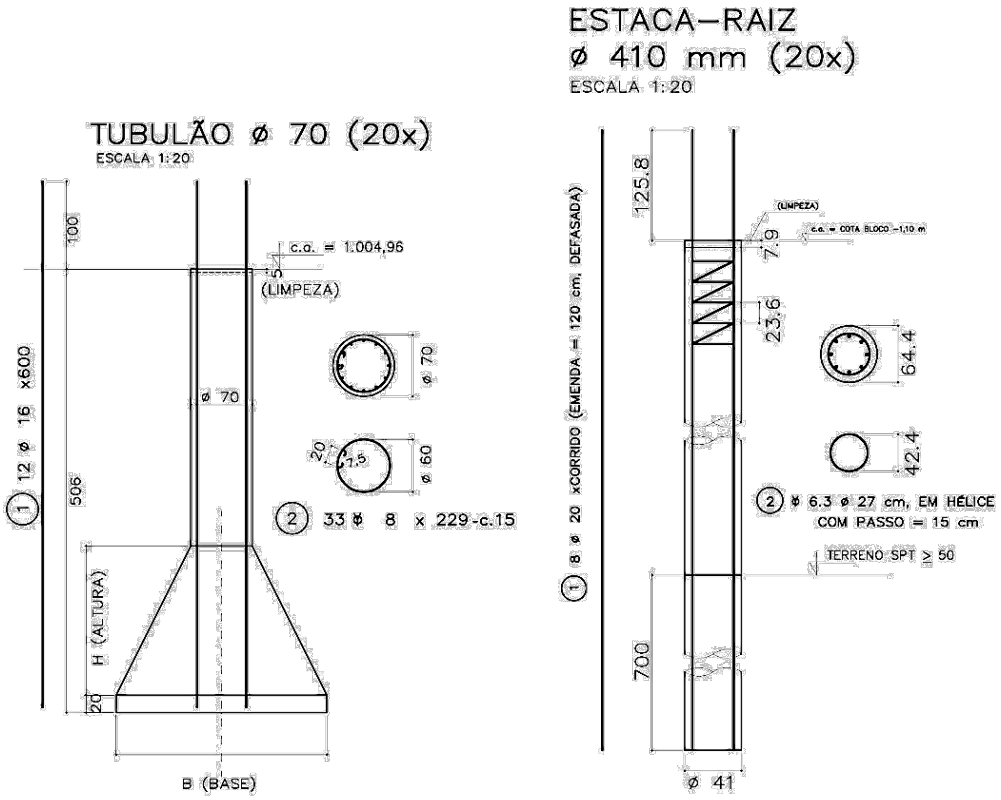


Figura 260 - Detalhes das fundações empregadas no projeto básico, a esquerda, e, a direita, as estacas raiz executadas na construção da OAE 11.

4.4.15 Obra de arte especial 12 – TTN



Figura 261 - OAE 12, TTN, Brasília, DF.

A OAE 12 consta em um viaduto bi-apoiado em paredes de contenção que, originalmente, era sustentado por pilares e arrimos.

A obra sofreu uma alteração importante respeito a seu projeto básico, modificando a sua geometria. Foi definido em reunião junto ao DER que a OAE 12 seria mudada para o sistema de passagem inferior (lajes curtas com paredes de contenção), para permitir uma melhor conformação dos aterros de

encabeçamento que, na solução anterior, resultava mais onerosa e complexa do ponto de vista construtivo.

Na metodologia anterior, metade dos pilares teriam ficado enterrados pelos taludes de encabeçamento do viaduto, sendo necessária uma escavação maior do que foi efetivamente necessária para possibilitar a execução das fundações, blocos e pilares.



Figura 262 – Vista aérea da OAE 10, na frente, e da OAE 12, atrás. TTN,Brasília, DF.

A nova metodologia implementada, que consiste na execução de uma passagem inferior, permitiu escavações menores e tabuleiros menores, apesar de exigir paredes de concreto.

De toda forma, de acordo com o relatório da obra e planilhas de custos da DER/DF (2018), a alteração da geometria gerou uma redução no valor final na ordem de R$ 34.206,15. Esse valor não considera ainda os ganhos com a escavação, cujo volume é bem menor do que no sistema previsto no projeto básico.

4.5 O impacto da intervenção do retrofit urbano e avaliação do IRU

Nesse subcapitulo do livro referente ao segundo estudo de caso, depois de ter mapeado e descrito as Obras de Arte Especiais que compõem o conjunto arquitetônico do Trevo de Triagem Norte, serão retratadas as principais criticidades que foram encontradas durante a execução do parque rodoviário e as decisões projetuais que foram tomadas ao longo da obra, em diferentes aspectos. Anteriormente, durante a descrição do complexo arquitetônico e estrutural do TTN, todo o estudo que levou às modificações no projeto da obra, foi trabalhado conjuntamente (Superintendência Técnica do DER/DF; VIA ENGENHARIA LTDA.; Executor do Contrato e Diretoria Colegiada) para que fosse tomada a decisão mais adequada para cada desafio a ser enfrentado. As obras rodoviárias de arte especial (OAE's) possuem características consideradas singulares, diferentemente das obras comuns de alvenaria, pois, cada solo dessa grande área urbana, possui suas peculiaridades geotécnicas e suas tensões admissíveis, elevando o nível de complexidade projetual e executiva. Os indicadores relativos ao impacto do retrofit urbano, que serão utilizados na metodologia do livro para alcançar o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana, serão o ambiental, artístico, durabilidade, econômico, segurança, simbólico, social e de uso.

Analisando os resultados obtidos pelas fichas de avaliação, nas fases de Pré-retrofit e Pós-retrofit urbano, notamos que houve um aumento considerável do IRU em todas as dimensões dessa grande intervenção urbanística. A primeira premissa que deve ser feita, quando se pondera um projeto de retrofit urbano tão extenso em termos de área (urbana) e equipamentos nele contidos, como vias, rodovias, taludes, pontes e viadutos, entre outros, é que foi avaliado o conjunto inteiro das Obras de Arte Especiais que constituem o parque rodoviário do TTN e não apenas um trecho de infraestrutura, como foi realizado no caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados. O primeiro modelo avaliativo, referente ao momento de Pré-retrofit, mostra que a dimensão do sistema estrutural possui todas as características de durabilidade, enquanto as pontes e viadutos que componham o Trevo de Triagem Norte nunca apresentaram situações estruturais críticas, desempenhando o próprio serviço de forma eficiente. Além

disso, o conjunto infraestrutural do TTN sempre demonstrou proporcionar aos usuários um bom nível de segurança estrutural e, também, sempre foi garantido o uso dos equipamentos a disposição da sociedade brasiliense. Os indicadores social, econômico e simbólico, não foram individuados em nenhuma dimensão analisada (*Estrutural*, *Instalações* e *Implantação*) enquanto o retrofit urbano do TTN foi justamente implementado para favorecer o desenvolvimento social e econômico da região norte de Brasília, aumentando o porte de tráfego rodoviário e garantindo acessos e deslocamentos mais rápidos e diretos.

0.A.E.: **TREVO DE TRIAGEM NORTE**
ANO: 1964
LOCAL: BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL - BRASIL
STATUS: PRÉ RETROFIT

INDICADOR	Ambiental	Artístico	Durabilidade (vida útil)	Econômico	Segurança	Simbólico	Social	Uso	Total parametrizado
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
LAJES DO TABULEIRO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
PILARES	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,50
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
VIGAMENTO PRINCIPAL	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,39**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE DRENAGEM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,50
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,38
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,18**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	0,13
CALÇADAS	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	0,13
CICLOVIA	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	
PAISAGISMO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VEGETAÇÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,25
MOBILIÁRIO URBANO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									0,10
I.R.U.									0,27

Figura 263 - Ficha avaliativa IRU – Trevo de Triagem Norte – PRÉ-RETROFIT.

O indicador artístico foi sinalizado apenas para os pilares, enquanto representam o verdadeiro elemento que distingue a tipologia de uma OAE executada in diferentes épocas. Para as outras dimensões avaliadas, os subsistemas de drenagem e de iluminação foram relevados nas atribuições dos indicadores de durabilidade, segurança e uso, em detrimento dos outros que não apresentaram os requisitos necessários para ser incluídos na ficha de avaliação. Os sub-elementos da *Implantação,* referentes à acessibilidade, calçadas e vegetação foram pontuados de acordo com os relativos indicadores.

O.A.E.: **TREVO DE TRIAGEM NORTE**
ANO: 2020
PROJETISTA: GERPRO - DEP - DITEC
LOCAL: BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL - BRASIL
STATUS: PÓS RETROFIT

INDICADOR	Ambiental	Artístico	Durabilidade (vida útil)	Econômico	Segurança	Simbólico	Social	Uso	Total parametrizado
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
LAJES DO TABULEIRO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
PILARES	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
VIGAMENTO PRINCIPAL	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,64**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE DRENAGEM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,25**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
CALÇADAS	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
CICLOVIA	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,94
PAISAGISMO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	0,38
VEGETAÇÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,25
MOBILIÁRIO URBANO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	0,50
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									0,55
I.R.U.									0,56

Figura 264 - Ficha avaliativa IRU – Trevo de Triagem Norte – PÓS-RETROFIT.

A ficha avaliativa do IRU, referente ao momento pós-retrofit, mostra um aumento significativo de todos os valores atribuídos a essa intervenção na escala urbana da cidade de Brasília. Como pode ser visto pela análise proposta nos subcapítulos anteriores, o parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte foi desenvolvido para melhorar as condições de trânsito da população, abrigando 13 OAE's entre pontes e viadutos. Os ganhos principais que foram percebidos ao longo da análise qualitativa e quantitativa dessa implantação infraestrutural, são mensuráveis tanto na dimensão *Estrutural*, para os indicadores de desenvolvimento social e econômico, quanto nas atribuições das *Instalações* e, particularmente, da *Implantação*. Todos os sub-elementos dessa última dimensão resultaram favorecidos por essa intervenção de retrofit urbano, aumentando de forma expressiva. Destaca-se, entre eles, o valor simbólico do paisagismo que, no contexto do TTN, foi considerado juntamente ao precioso desenho urbano que pode ser percebido por imagens aéreas e de satélite. As curvas sinuosas, criadas durante a intervenção, mostram que o desenho paisagístico do parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte, convive em perfeita harmonia com o desenho urbanístico da capital, respeitando as prerrogativas projetuais que destacam a cidade tombada. A seguir, são apresentados os diagramas relativos às três dimensões analisadas nos momentos de Pré-retrofit e Pós-retrofit. Podemos perceber um aumento significativo na dimensão *Estrutural* (de 0,39 para 0,64), de *Instalações* (de 0,18 para 0,25) e de *Implantação* (de 0,1 para 0,55), resultando em um IRU total de 0,56.

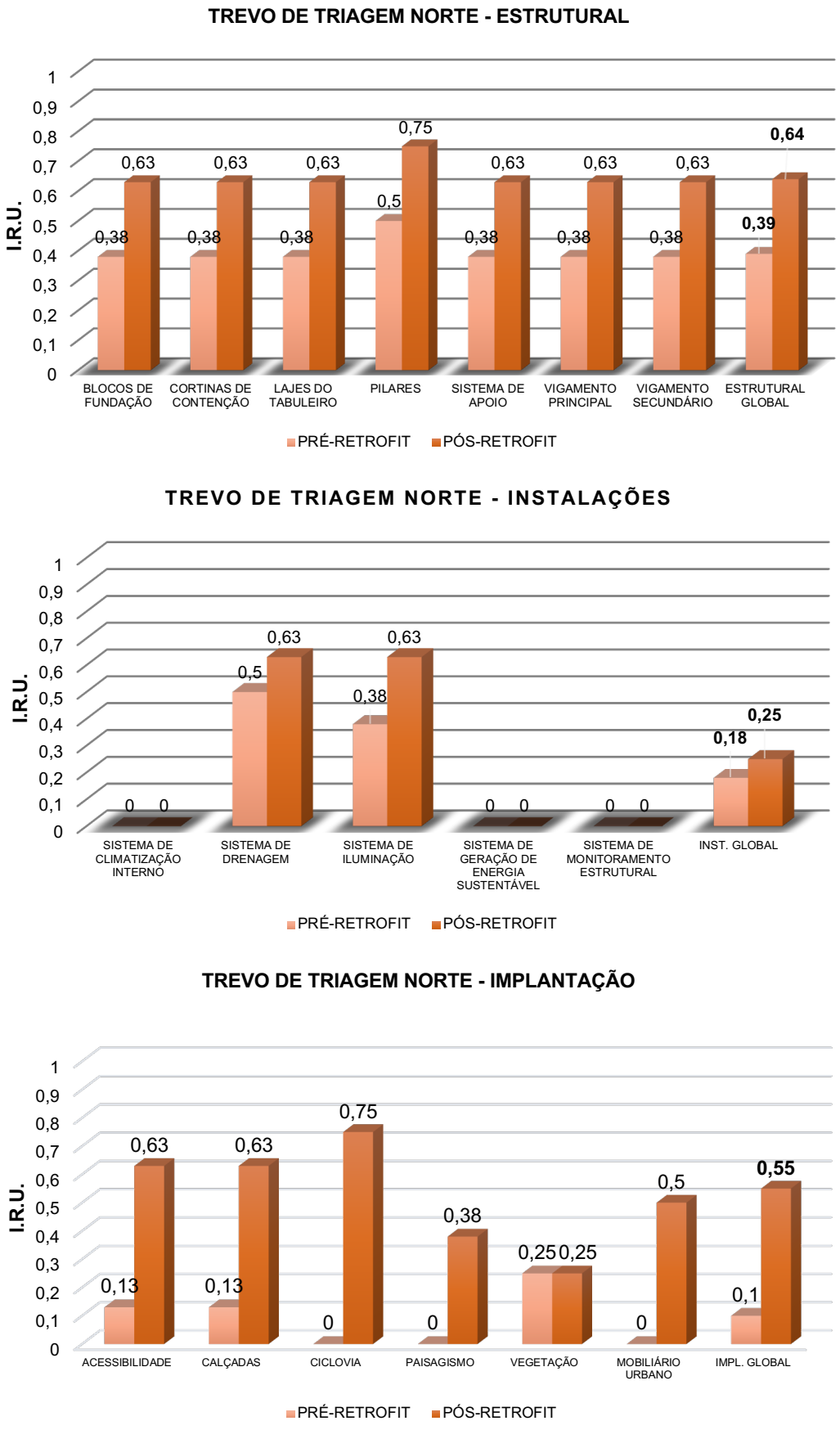


Figura 265 – Diagramas ESTRUTURAL, INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO, IRU – Trevo de Triagem Norte – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

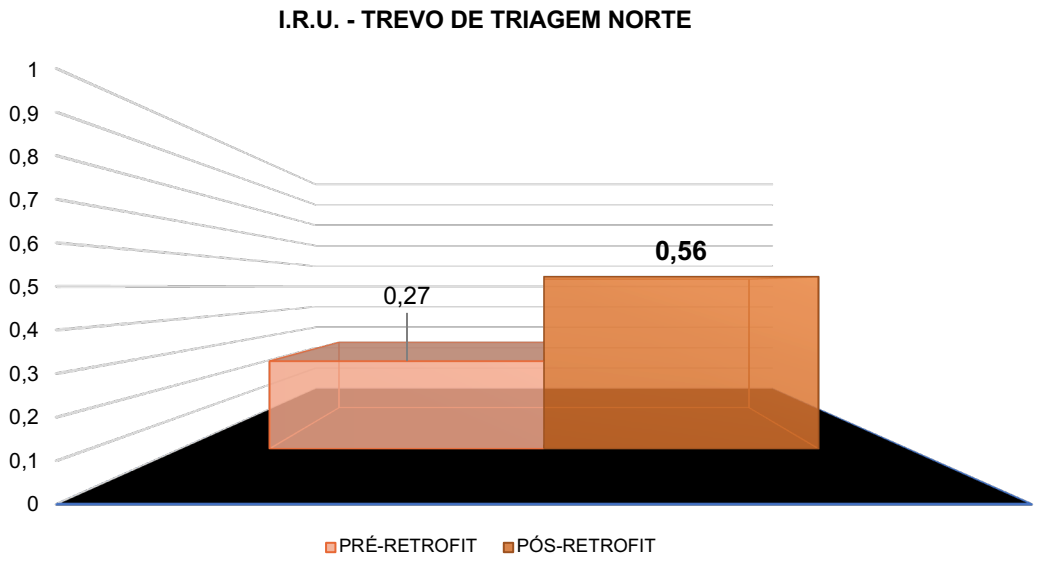


Figura 266 – Diagrama comparativo – Trevo de Triagem Norte – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

IRU	CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES	COR
0,9 - 1	**GRAU MÁXIMO** - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO GLOBAL	ATENDE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,7 - 0,8	GRAU SUPERIOR - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO PARCIAL	ATENDE PARCIALMENTE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,5 - 0,6	GRAU MÉDIO - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	
0,3 - 0,4	GRAU MÉDIO INFERIOR - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0,1 - 0,2	GRAU INFERIOR - ESTADO DE CRITICIDADE ESTRUTURAL	ATENDE PARCIALMENTE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0	**GRAU MÍNIMO** - ESTADO DE OBSOLESCÊNCIA	NÃO ATENDE A NENHUM PARÂMETRO DOS INDICADORES PROPOSTOS	

Figura 267 – IRU do Trevo de Triagem Norte. PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

Finalmente, o diagrama acima, apresenta a comparação entre os Índices de Requalificação Urbana nos momentos anteriores e posteriores às intervenções de retrofit urbano, mostrando um melhor desempenho global com aumentos qualitativos de aproximadamente 50%, passando de 0,27 para 0,56, classificando esse complexo infraestrutural na categoria de *Grau Médio* – Estado de integridade estrutural e de implantação.

4.6 PONTE SAN GIORGIO, Génova, Itália



4.7 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural da antiga ponte

A Ponte Morandi, também conhecida como Viaduto Polcévera, está localizada em Génova, no norte da Itália.

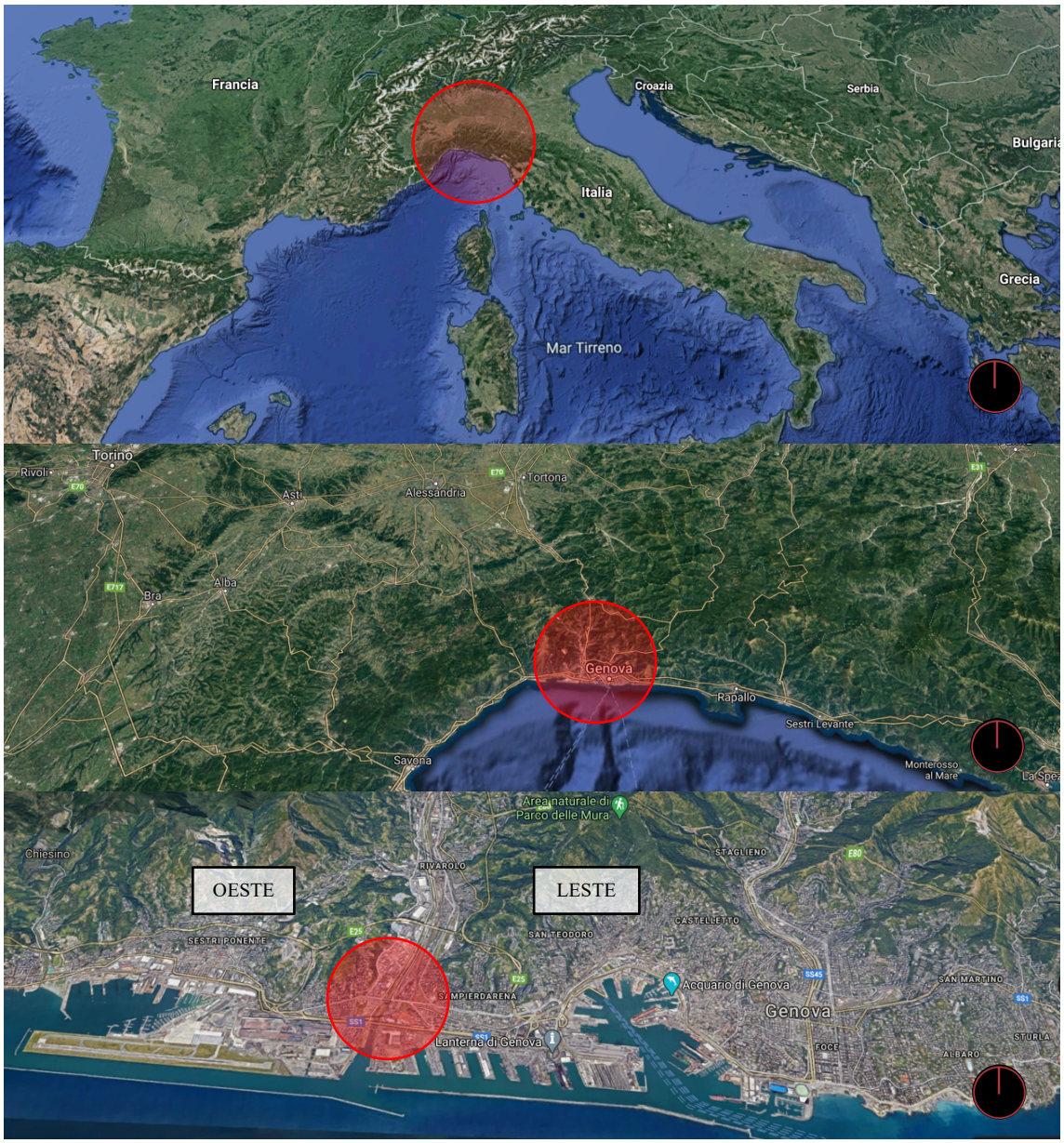


Figura 268 - Localização da infraestrutura. Itália, Génova, Ponte Morandi.

Inaugurada em Génova em setembro de 1967, esta obra de arte especial da infraestrutura urbana representa um marco cultural na história das rodovias italianas e do sistema construtivo do concreto protendido. A ponte Morandi, também chamada de Viaduto sobre o rio Polcévera, foi concebida e projetada pelo engenheiro Riccardo Morandi, ousado nas soluções adotadas para o

sistema estrutural da ponte, tanto pela complexidade da solução técnica quanto pelo alto resultado estético e plástico.

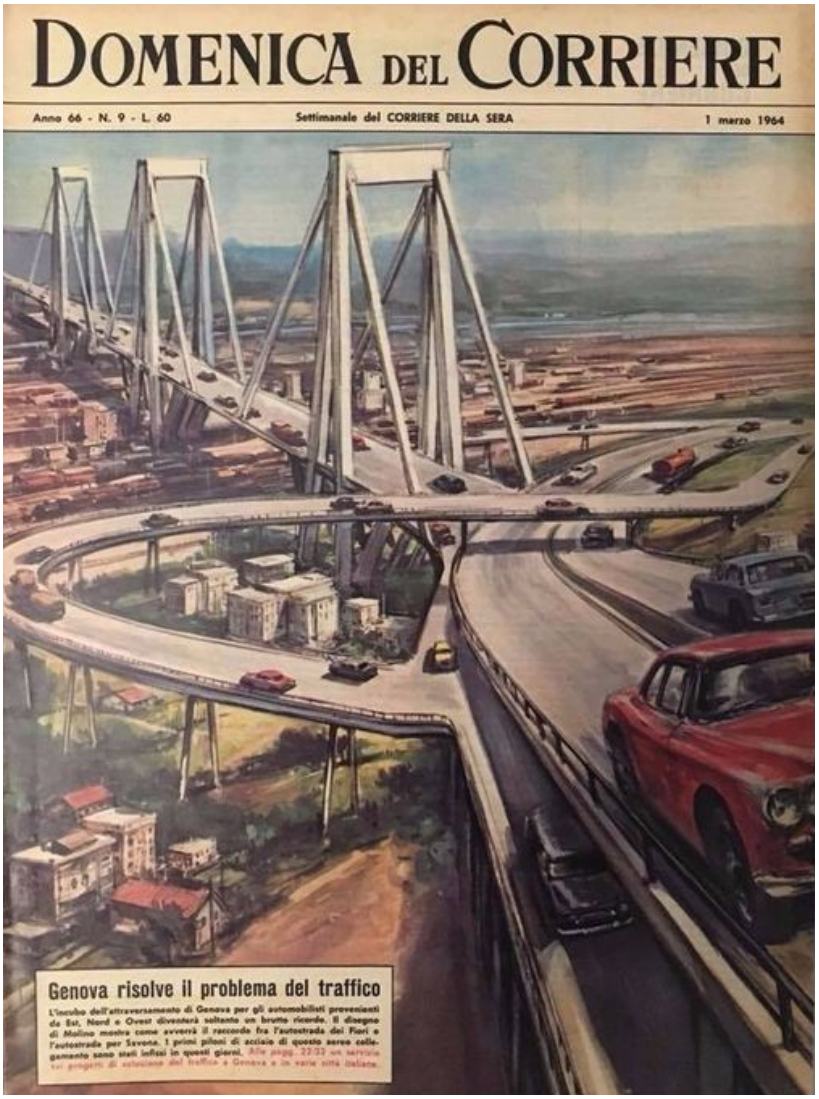


Figura 269 - Manifesto propagandístico de 1964 da nova Ponte Morandi.

Apesar da beleza e imponência da linguagem estrutural dessa obra de arte especial, cabe notar que o impacto paisagístico das obras do engenheiro Morandi nunca foi atenuado ou tímido, mas é forte e enérgico, sem desqualificar os contextos de inserção. Alguns arquitetos ou urbanistas, tentam incorporar, para um certo território, modelos de outras áreas que já alcançaram um grande sucesso comercial e midiático. Seria um tipo de transposição automática de projetos modelos. Tal fato causa o risco de perda de identidade ou autenticidade local. Tais tentativas podem até piorar as condições locais por perda de identidade gerando uma padronização urbana acelerada pela globalização cultural e comercial.



Figura 270- Apresentação da Ponte Morandi às autoridades pelo homônimo engenheiro. Fonte:EMAS, 2019



Figura 271 - Antiga Ponte Morandi, Génova, Itália.

Como premissa, a infraestrutura italiana será chamada de duas formas diferentes ao longo do capítulo, o que se refere ao período de vida de cada uma das pontes. Quero dizer, a ponte original, chamada de Morandi, desabou parcialmente e, por decisões de projeto, foi totalmente demolida e chamada de Ponte San Giorgio. Portanto, o atual nome da ponte, que remete ao santo e à tradição da cidade de Génova, mudou respeito a antiga infraestrutura. O nome utilizado nesse subcapitulo, chamado de Ponte Morandi, será mantido como principal, visando fornecer uma maior clareza para o entendimento dessa obra infraestrutural altamente complexa. A localização da ponte é estratégica para descongestionar o tráfego dos meios leves e pesados durante o dia e a noite, liberando as vias coletoras e secundarias. Próxima ao aeroporto internacional “Cristoforo Colombo”, à área portuária e industrial da cidade de Génova, a infraestrutura urbana do Viaduto Polcévera representa a artéria central do centro metropolitano de Génova e primeiro laço com os principais centros urbanos do país. A antiga ponte Morandi possuía 1182 metros de comprimento, uma altura de 45 metros acima do nível da estrada e, igualmente à nova infraestrutura San Giorgio, atravessava o rio Polcévera entre os distritos das cidades de Sampierdarena e Cornigliano, passando também pela rede ferroviária e por habitações residenciais. A ocupação quase total do terreno por baixo da ponte, foi resolvida de forma brilhante com uma estrutura requintada com dois vãos principais de quase 210 metros de comprimento, sustentados por três mastros de concreto armado (figura 279), enquanto os outros vãos menores se apoiavam em sete elementos verticais em formato de “V” de concreto armado.



Figura 272 – Pilares em formato “V”, antiga Ponte Morandi.

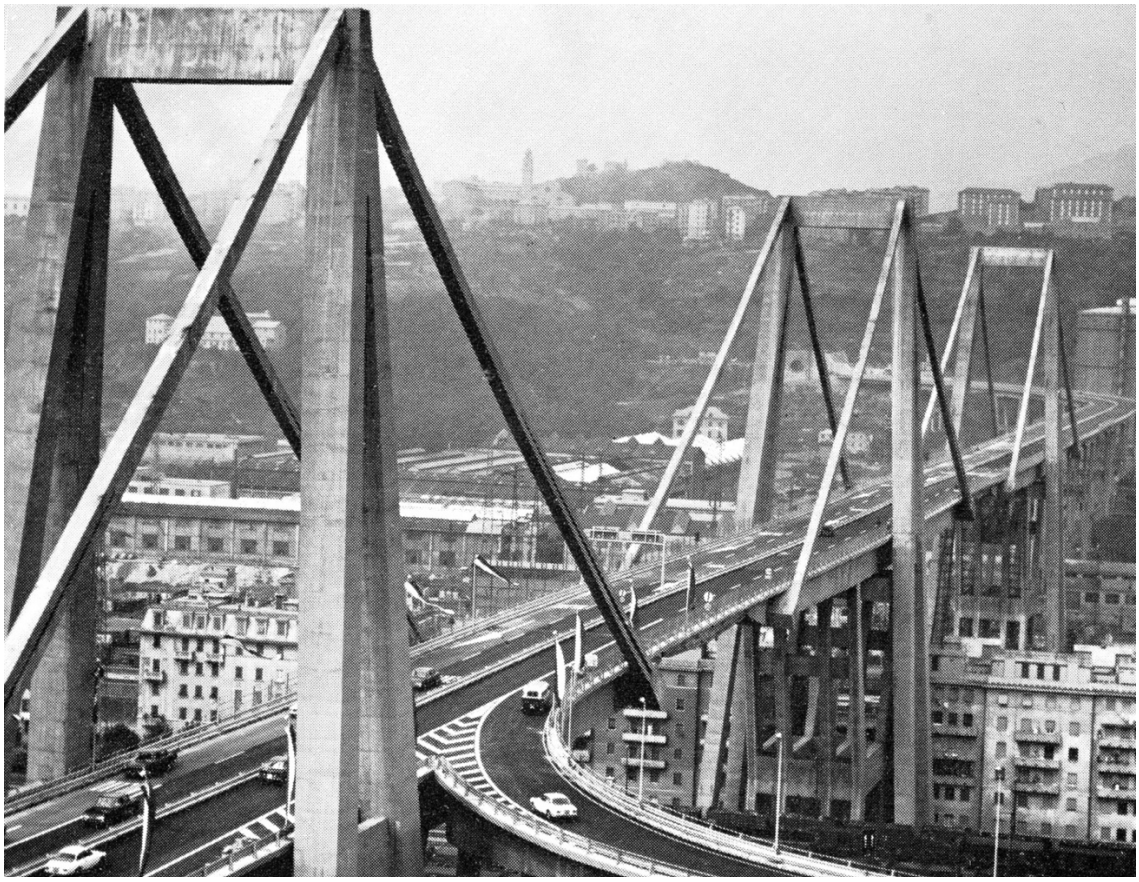


Figura 273 – Antiga Ponte acima das unidades residenciais. Fonte: ITALFERR

4.7.1 Os pilares e os estais protendidos da antiga ponte

O conceito que deu vida a forma e a linguagem arquitetônica da Ponte Morandi, foi trazido pelo sistema estrutural do cavalete, ferramenta de suporte para telas, formado por quatro elementos verticais apoiados entre se, formando triângulos e unidos por vigamento horizontal no topo e na base da estrutura resistente. Um dos principais desafios no processo de execução de uma obra é considerado a integração dos projetos de arquitetura e de estruturas.

Neste caso específico, a figura do projetista foi fundamental para adequar a solução técnica à expressividade arquitetônica do conjunto dessa importante infraestrutura da cidade de Génova e, comparando as imagens a seguir, notamos que a solução estrutural adotada provém de um conceito simples, mas estaticamente eficaz.

A



B



Figura 274 – A. Cavalete de madeira. Mastro da Ponte Morandi, conceituado na forma de “cavalete”.

Os elementos de sustentação vertical da Ponte Morandi são 10, sendo 7 pilares (possuindo as mesmas características formais / geométricas) solicitados à esforços de compressão, fundamentalmente, e 3 mastros verticais pelos quais se departem quatro elementos de estais, dois para cada lado. Cada pilar é feito de concreto armado, possuindo uma seção transversal variável e um formato que remete ao formato de cavalete.

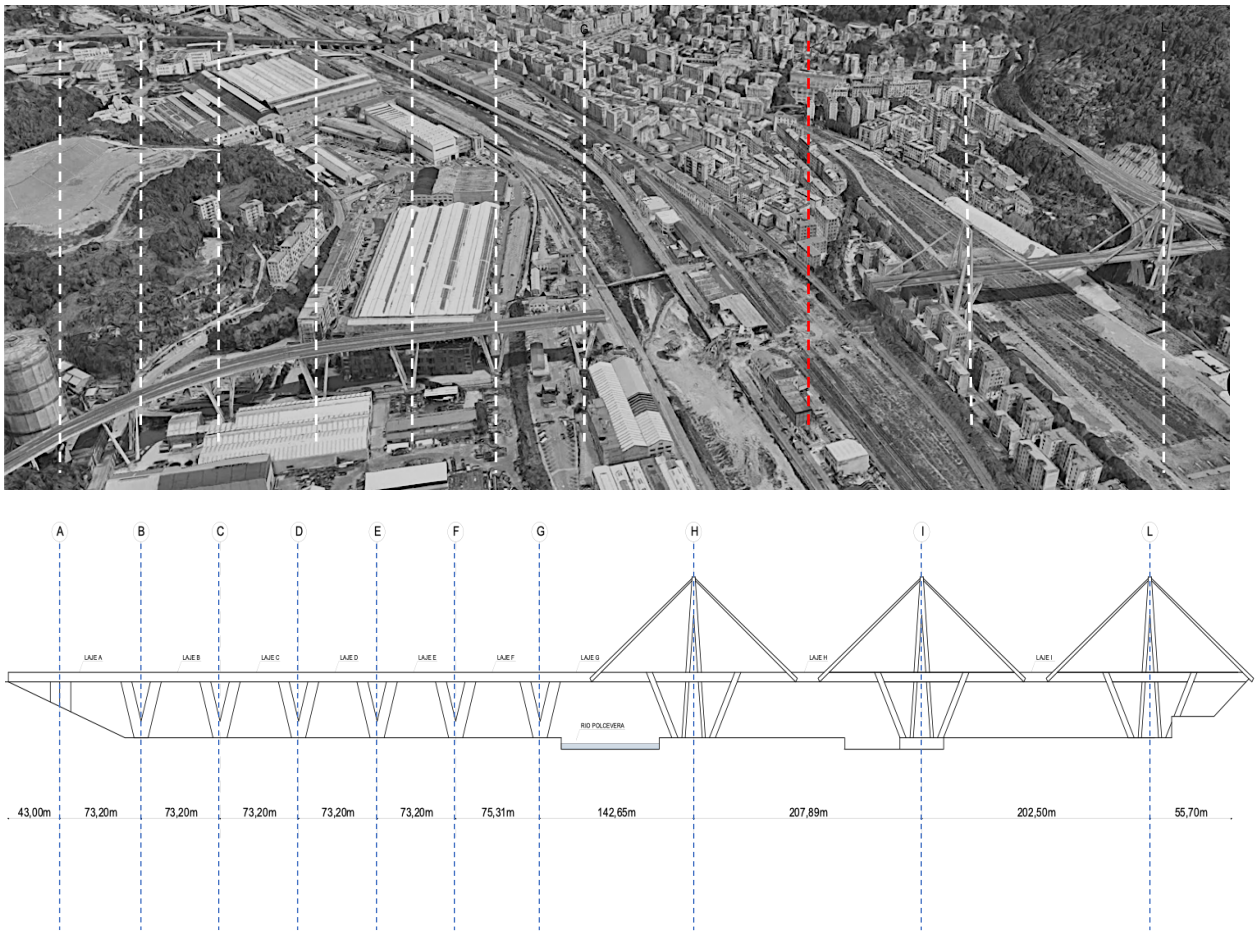


Figura 275 – Pilares de sustentação e vãos da antiga estrutura, Ponte Morandi sobre o Polcévera, Génova.

Os vãos do lado leste da infraestrutura de mais de 200 metros, sustentados por três mastros, são bastante consideráveis, ainda mais se pensarmos na época da construção dessa obra de arte especial. O terceiro maior vão entre apoios, de 142m, é bastante significativo enquanto passa sobre o rio Polcévera. Todos os outros módulos de lajes, apoiados entre elementos verticais, são de, aproximadamente, 73,20 metros de comprimento.



Figura 276 – Vista debaixo da Ponte. Fonte: Arno Hammacher

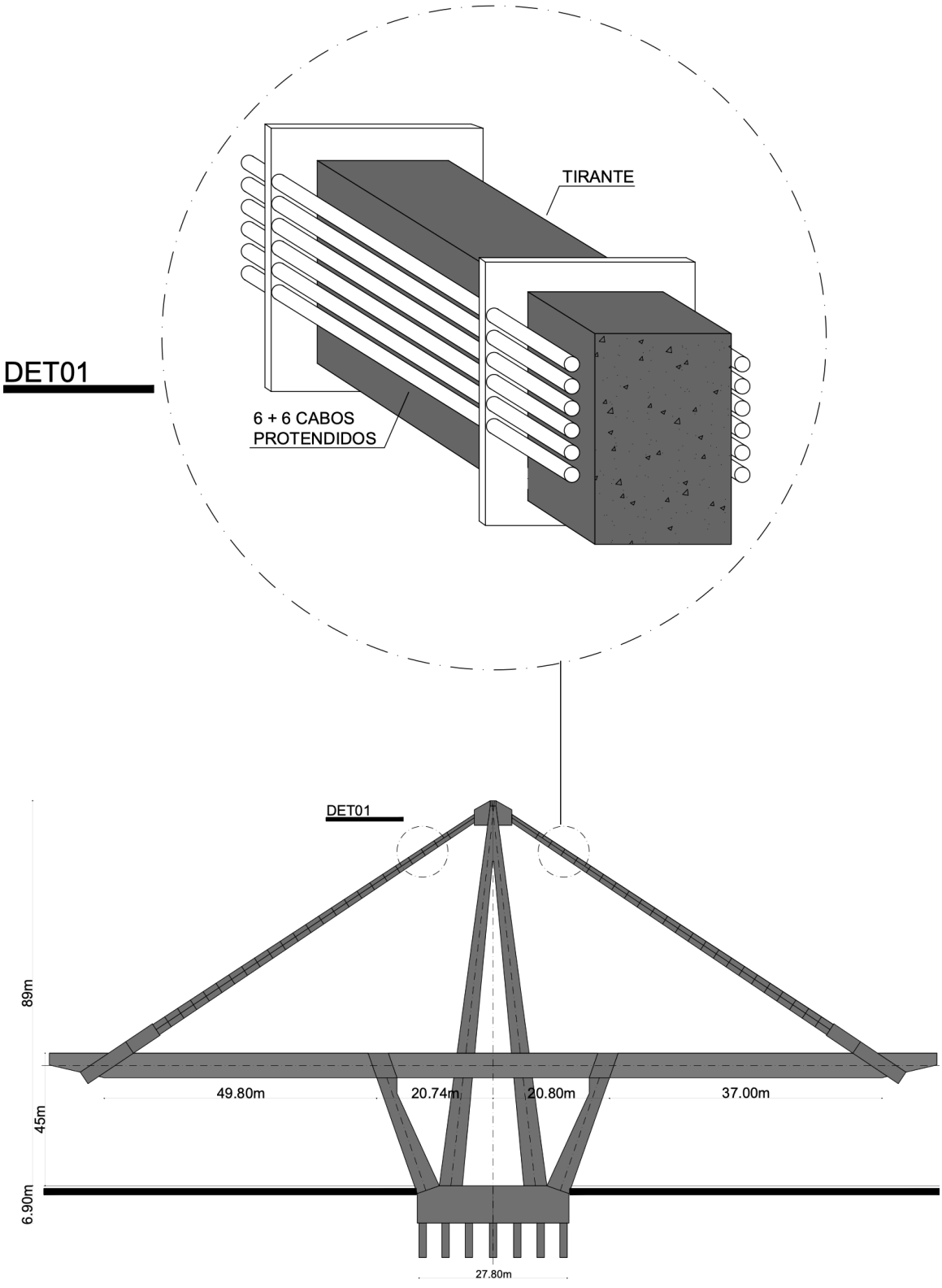


Figura 277 – Detalhe da seção transversal do estais da antiga Ponte Morandi.



Figura 278 – Vista do reforço de um dos estais da Ponte.

Existem duas peculiaridades estruturais que caracterizam a antiga Ponte Morandi:

1. Os estais, ao contrário do que acontece com a maioria das pontes estaiadas, não formam leque ou harpa e são constituídos por duas fileiras principais de seis cabos protendidos metálicos;

2. Os métodos de construção do tabuleiro (parte que sustenta diretamente a pavimentação) em concreto armado protendido, conforme patente do próprio Morandi.

Essa importante infraestrutura italiana, de forma parecida ao Viaduto sobre a Galeria dos Estados, sofreu um colapso estrutural parcial, sendo que um trecho do antigo tabuleiro protendido perdeu a sua função de desempenho e segurança. O desabamento do Viaduto sobre o Polcévera criou uma desconexão importante entre o Leste e o Oeste da cidade de Génova, paralisando o fluxo viário da cidade e das conexões rodoviárias nacionais e internacionais.

4.8 O complexo arquitetônico e o sistema estrutural da nova ponte

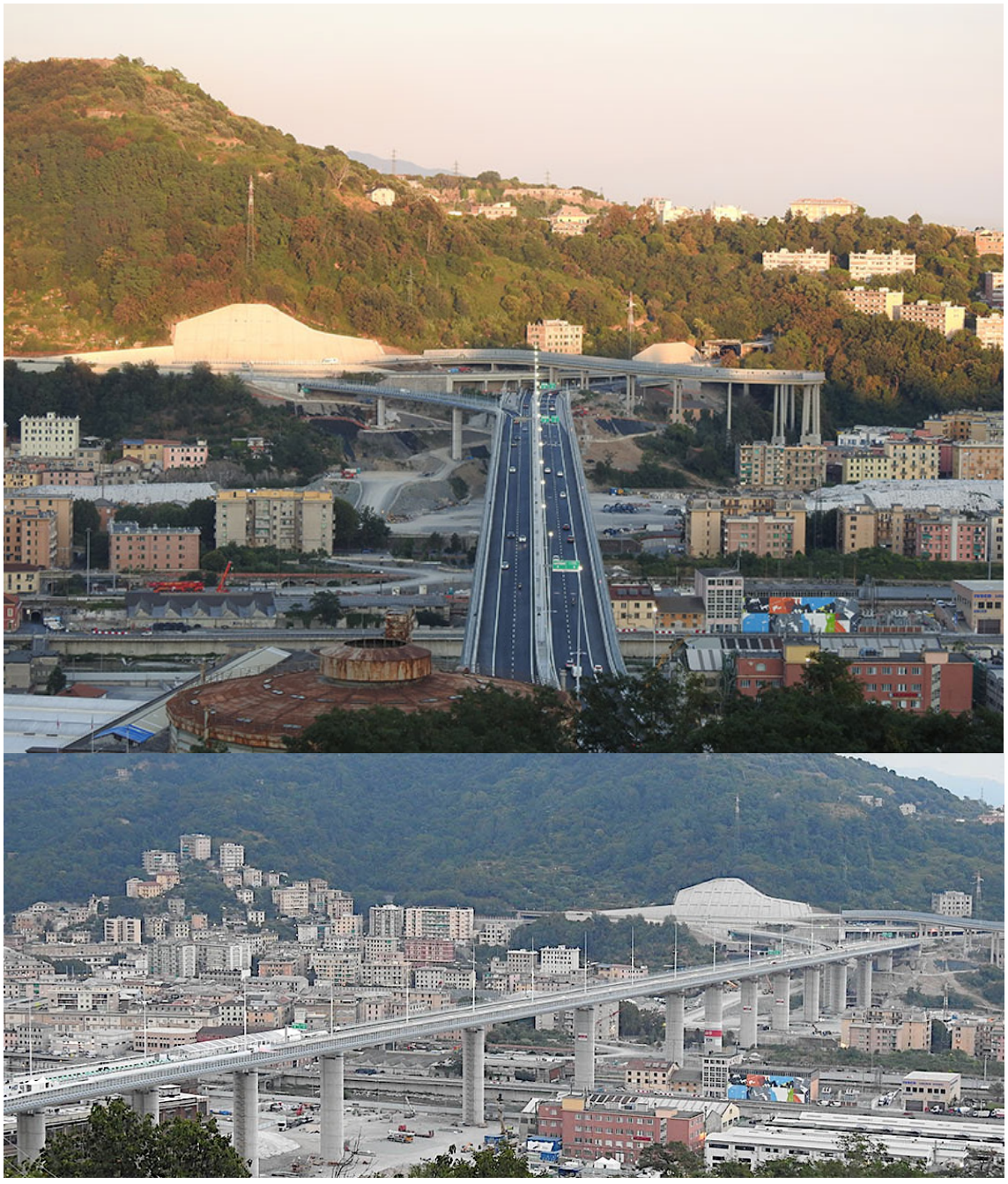


Figura 279 – Vistas da nova Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Shunji Ishida, (courtesy of RPBW)

Esse subcapitulo abordará inicialmente os dados gerais dessa infraestrutura urbana, analisando o conceito da ponte, a partir do arquiteto e da linguagem arquitetônica da obra finalizando com a descrição dos elementos estruturais dessa OAE.

A execução da nova ponte San Giorgio, localizada na cidade marítima de Génova e inaugurada no dia 3 de agosto de 2020, se desenvolveu em tempo recorde no país, mesmo no período de pandemia que afetou e paralisou a Itália. O canteiro de obra, iniciado em novembro de 2020, envolveu uma força tarefa de 500 operários especializados atuando sem interrupção.

A obra de arte especial da ponte San Giorgio sobre o Rio Polcévera, possui estrutura mista (aço e concreto) e um alto índice de atributos tecnológicos, indicando uma produção de energia através do sistema de placas fotovoltaicas. Além disso, o caixão metálico do tabuleiro sustenta a rodovia e monitora uma infraestrutura complexa que possui sensores em seus pilares, vigas e tabuleiro. A ponte, possui 1067 metros de comprimento e foi construída pelas empreiteiras ITALFERR, WeBuild e Fincantieri Infrastructure, custou 202 milhões de euros, isto é, aproximadamente, 1,2 bilhão de reais.

Essa infraestrutura, diferentemente das OAE's analisadas nos capítulos anteriores, é financiada pelo pedágio rodoviário, sendo uma das principais rotas de ligação entre Itália e França.

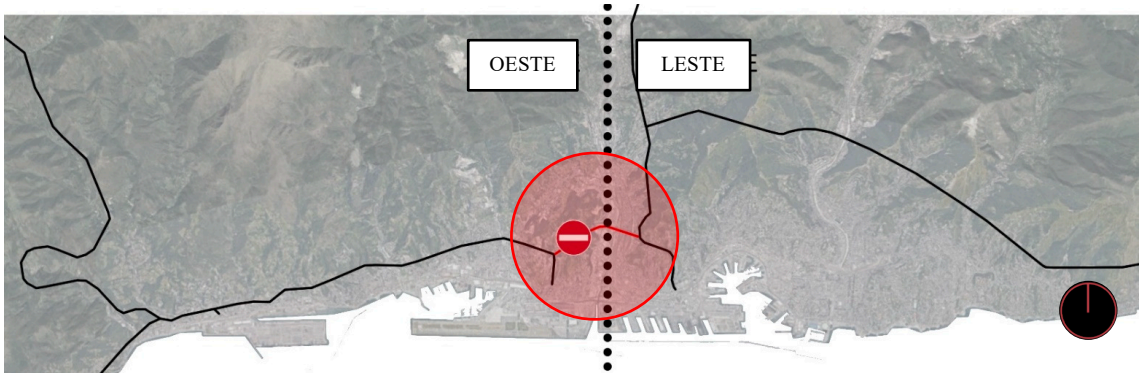


Figura 280 – Interupção da rota Leste – Oeste de Génova.

O referimento conceitual é muito forte e é descrito pelo próprio arquiteto italiano de fama internacional, Renzo Piano, em suas palavras:

"*Simples e econômico, mas nunca banal. Aparecerá como um navio estacionado no vale; uma ponte em aço claro e luminoso. Durante o dia refletirá a luz do sol e absorverá energia solar e de noite a devolverá de volta. Será uma ponte sóbria, respeitando o caráter dos genoveses*".

Nascido na cidade de Génova, no norte da Itália, Renzo Piano ofereceu gratuitamente à sua cidade-natal o projeto arquitetônico da infraestrutura San Giorgio sobre o Polcévera.



Figura 281 – Renzo Piano, arquiteto da Ponte San Giorgio sobre o Polcévera. Fonte: Stefano Goldber

O fato de ter concebido a nova ponte como "*simples e econômico*" atesta a vontade de buscar uma nova relação com os recursos naturais, ou seja, atenta ao seu uso e consumo resultante, de forma que a satisfação das necessidades do presente não comprometa as gerações futuras. A representação desta vontade transparece claramente no conceito desenvolvido pelo arquiteto que, ao delinear a lógica composicional do novo viaduto, o concebe segundo um esquema estrutural simples, pilares e vigas, organizado segundo um ritmo regular e contido. A nova ponte se resume em uma linha que, ao contrário da Ponte Morandi, não ocupa o céu e não pesa sobre a terra com imponentes cavaletes oblíquos, mas se apoia sobre ela por meio de pilares lineares de forma elíptica. O conceito da Ponte San Giorgio, localizada nas proximidades do mar e do porto de Génova, resulta em um navio leve que flutua no vale do Polcévera. A forma do tabuleiro dessa infraestrutura urbana remete à carenagem de um barco e possui um design aerodinâmico.



Figura 282 – Carenagem de um barco a vela, remetendo à forma do tabuleiro da ponte. Fonte: Stefano Gattini

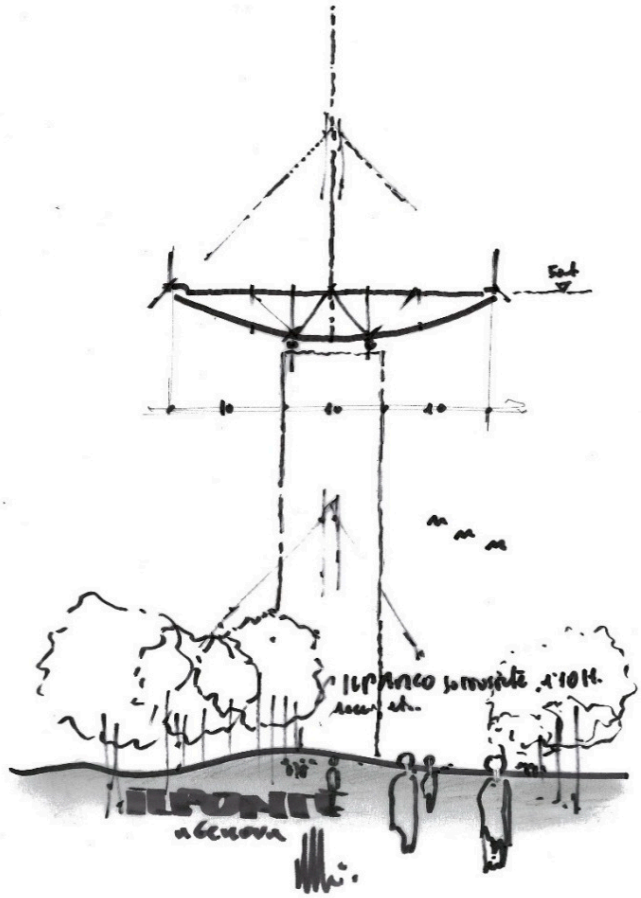


Figura 283 - Croqui preliminar do arquiteto Renzo Piano. Fonte: Renzo Piano Building Workshop

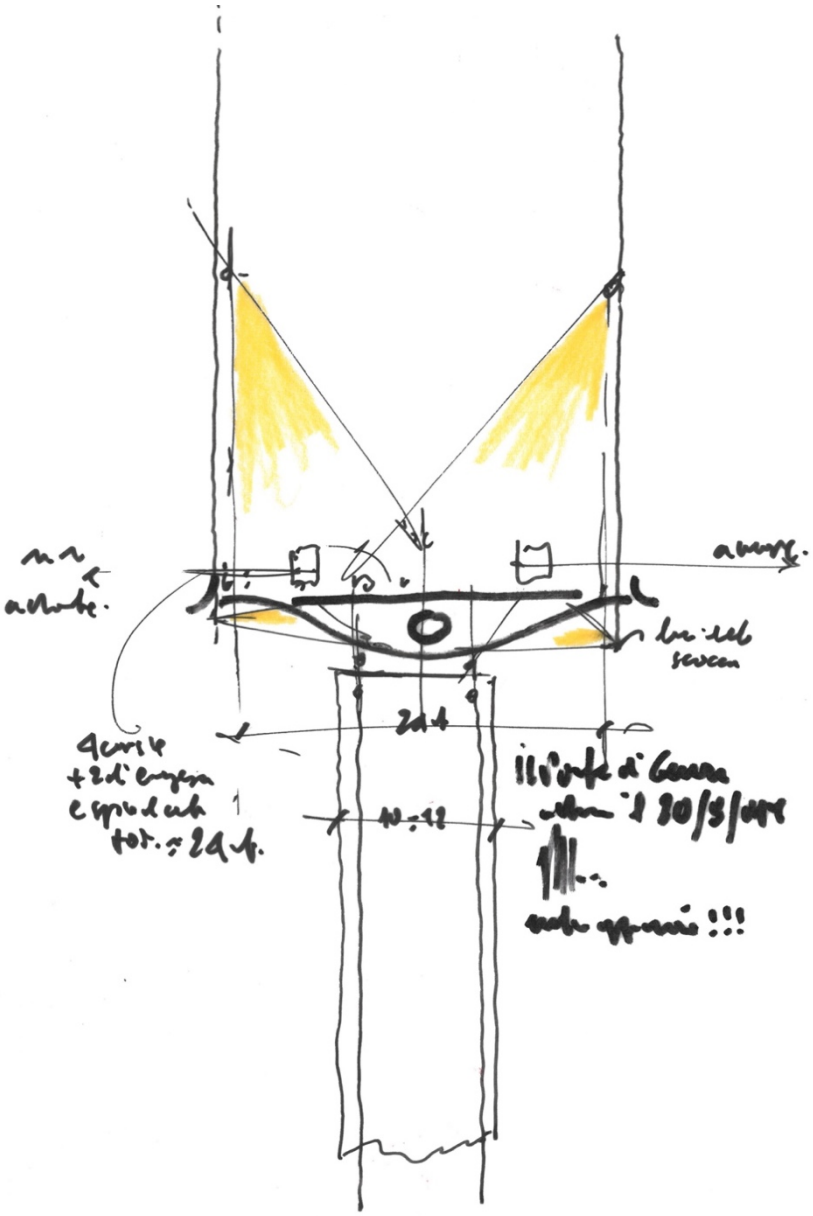


Figura 284 - Croqui arquitetônico do Renzo Piano, mostrando estrutura e iluminação preliminares. Fonte: Renzo Piano Building Workshop

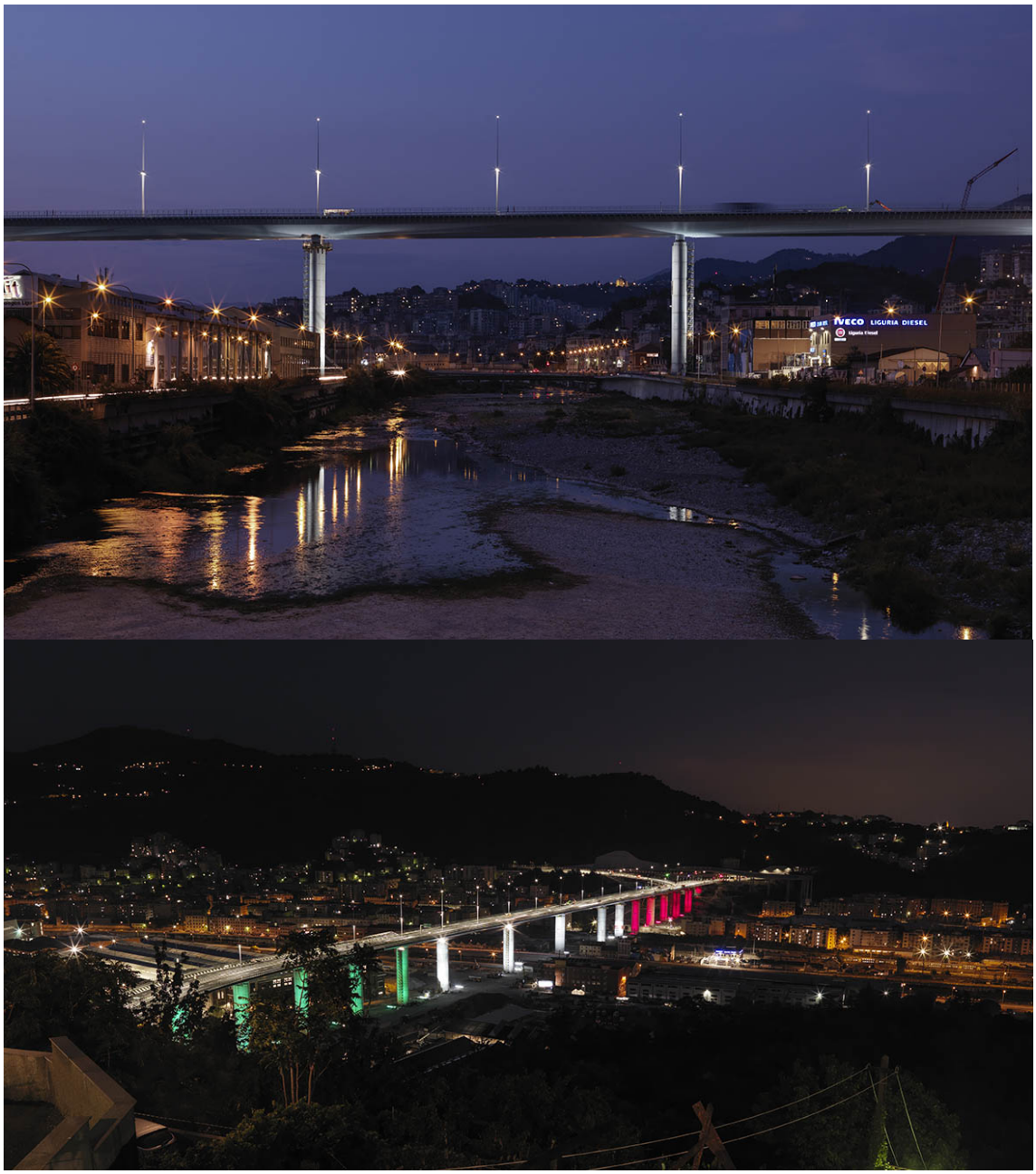


Figura 285 - Vistas noturnas da Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Enrico Cano

Em primeiro lugar, tendo criado esta aparente desconexão entre os dois elementos fundamentais que compõem a estrutura do viaduto, deixando inalterado o contorno do tabuleiro, também curvado, dando assim a ideia de que flutua no vazio, flutuando, precisamente como um navio, sobre o mar cujas ondas são materializadas pelas pilhas. A redução gradual da seção transversal em direção às extremidades, deixa a forma mais leve, trabalhando com uma linguagem arquitetônica e estrutural singela e delicada.

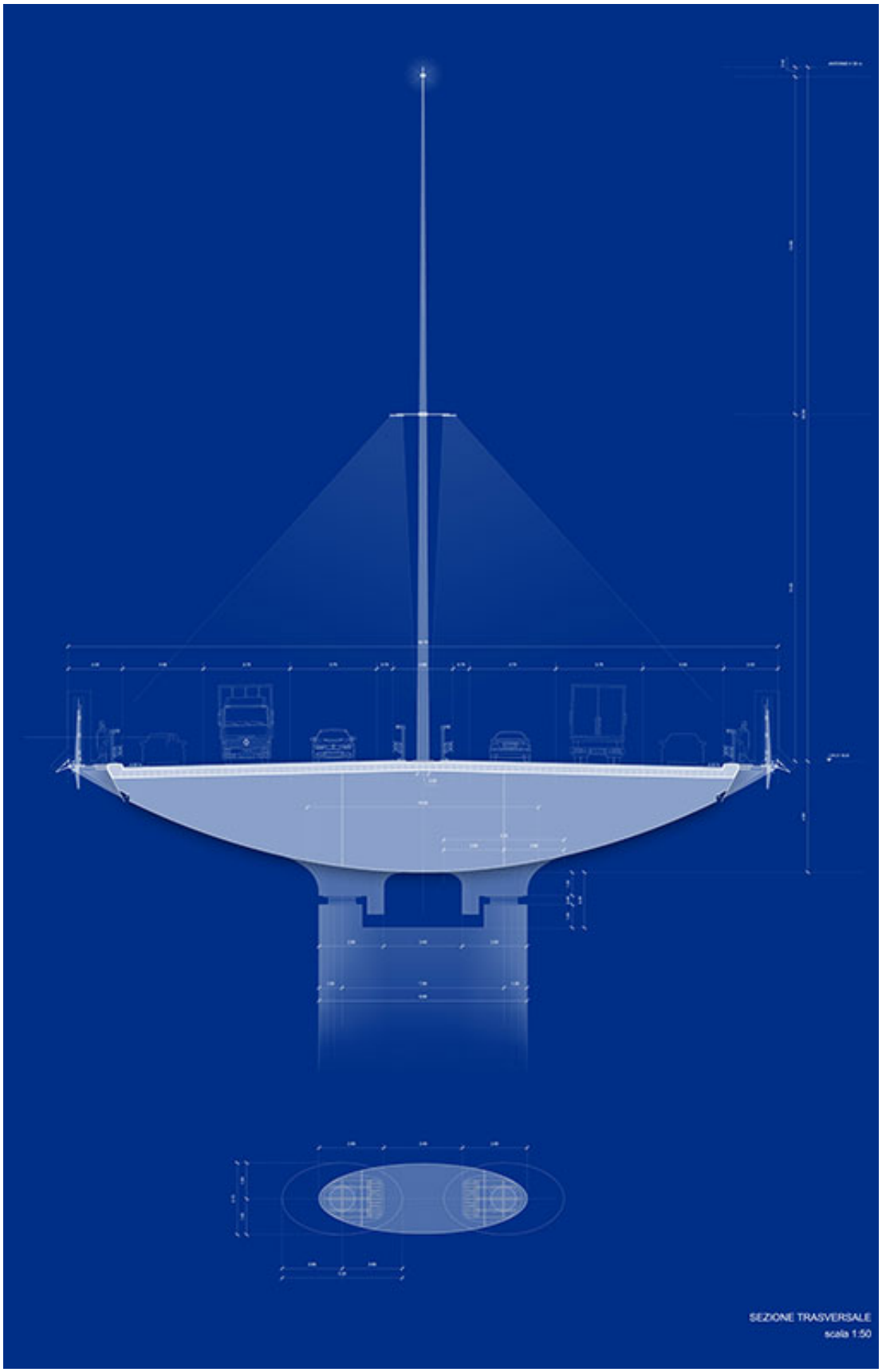


Figura 286 - Corte transversal do pilar e do tabuleiro da Ponte San Giorgio. Fonte: Renzo Piano Building Workshop



Figura 287 – O arquiteto Renzo Piano mostra a elevação longitudinal da Ponte San Giorgio. Fonte: Renzo Piano Building Workshop

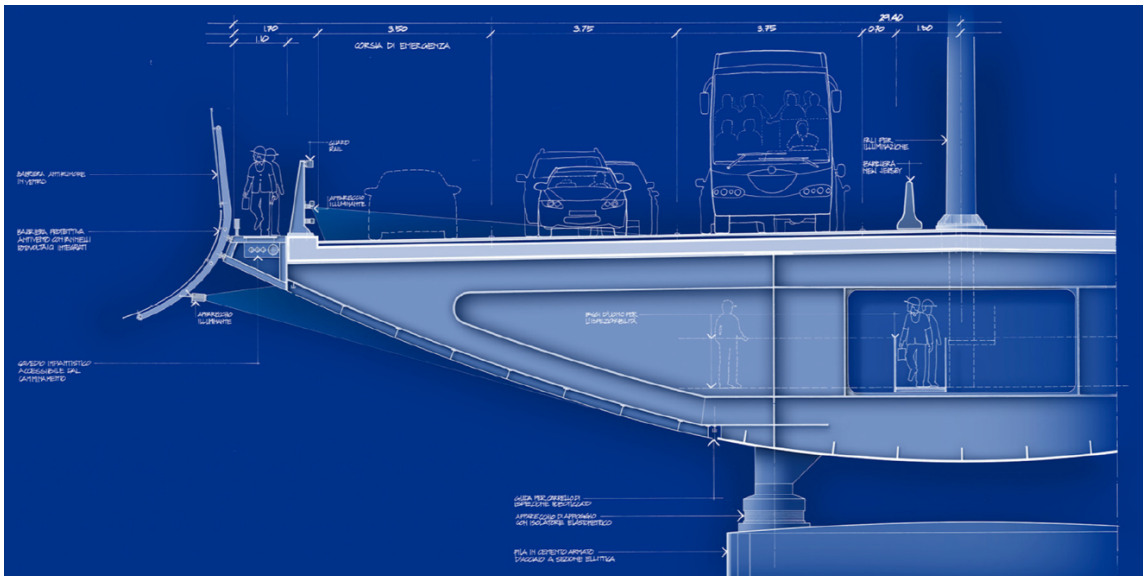


Figura 288 - Corte transversal do tabuleiro, proposta preliminar do arquiteto Renzo Piano. Fonte: Renzo Piano Building Workshop

O cromatismo escolhido para a ponte contempla cores claras que refletem a luz solar durante a exposição do sol da manhã, dando leveza à essa infraestrutura monumental. Ao longo da linha mediana do tabuleiro, em correspondência dos pilares inferiores, se elevam 18 postes de iluminação com 28 metros de altura. À noite, os faróis dos postes iluminam a estrada com feixes de luz que descem em triângulo, lembrando assim o perfil dos barcos à vela.



Figura 289 - Perfil de um barco a vela, remetendo ao sistema de iluminação da ponte. Fonte: Carlo Borlenghi

O resultado plástico do trabalho do Renzo Piano parece dar harmonia, equilíbrio e expressividade à nova estrutura implantada no vale do Polcévera.



Figura 290 – Vista de baixo do tabuleiro, mostrando o cromatismo utilizado na ponte San Giorgio. Fonte: Shunji Ishida

A ideia de projeto do Viaduto Polcevera consegue unir e resumir passado, presente e futuro, de uma forma simbiótica.

O *passado* é visto com referência à implantação local, identificando a relação entre Gênova e seu mar, elemento indispensável para a identidade da infraestrutura.

O *presente*, se engloba através da escolha de um esquema estrutural e composicional que, pela sua simplicidade, preserva a memória do luto que marcou a cidade de Génova.

O *futuro*, se articula por meio do desenvolvimento sustentável, tomado como modelo de crescimento a ser perseguido e implementado.

4.8.1 Os novos pilares e o sistema do tabuleiro



Figura 291 – Pilares em formato de elipse, Ponte San Giorgio. Fonte: Shunji Ishida



Figura 292 - Localização da nova infraestrutura.

A solução proposta para a reconstrução do viaduto sobre o Polcévera é de uma ponte apoiada sobre 18 pilares de concreto armado. O tabuleiro, elemento mais tecnológico da ponte, é constituído por uma viga caixão contínua, com um comprimento total de 1067m, consistindo em 19 vãos, conforme descrito abaixo:

- 14 vãos aço-concreto de 50m;
- 3 vãos de aço-concreto de 100m;
- 1 vão de aço-concreto de 40,9m;
- 1 vão aço-concreto de 26,27m;

Os novos 18 elementos de sustentação, concebidos com a mesma sinuosidade que foi dada para a casca externa do tabuleiro, possuem alma oca, forma elíptica de 9,00m x 3,00m, altura invariável de 39 metros e são constituídos por concreto armado C-45 de alto desempenho. A estrutura do tabuleiro da Ponte San Giorgio foi planejada para que fosse apenas apoiada dos pilares, através da utilização de isoladores chamados “pêndulos”. Esta solução permitiu otimizar a estrutura dessa obra de arte especial e, principalmente, das fundações, limitando a sua dimensão dentro de um contexto altamente urbanizado e antrópico.

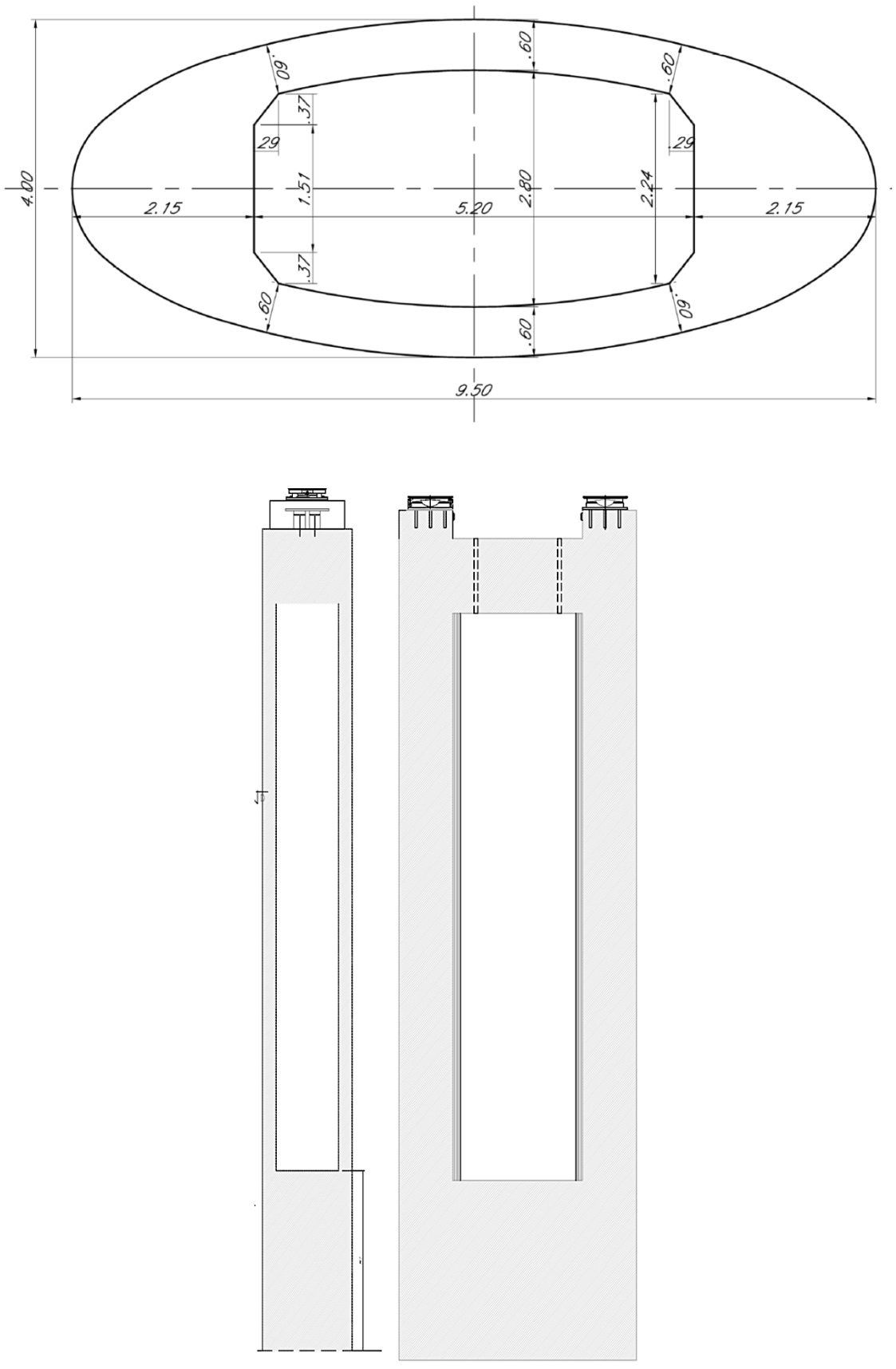


Figura 293 - Pilar de seção oca.

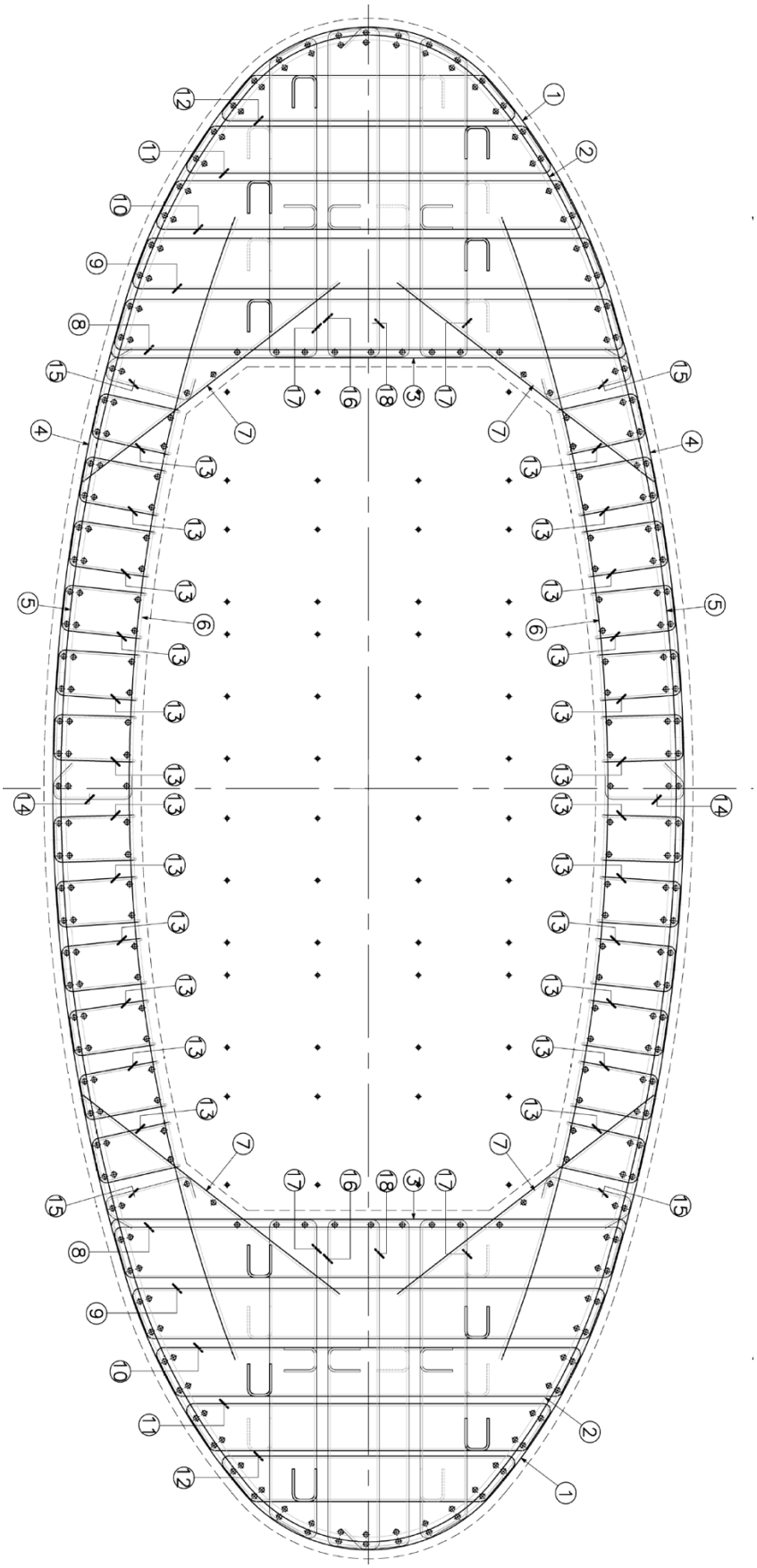


Figura 294 – Armação do pilar da Ponte San Giorgio.

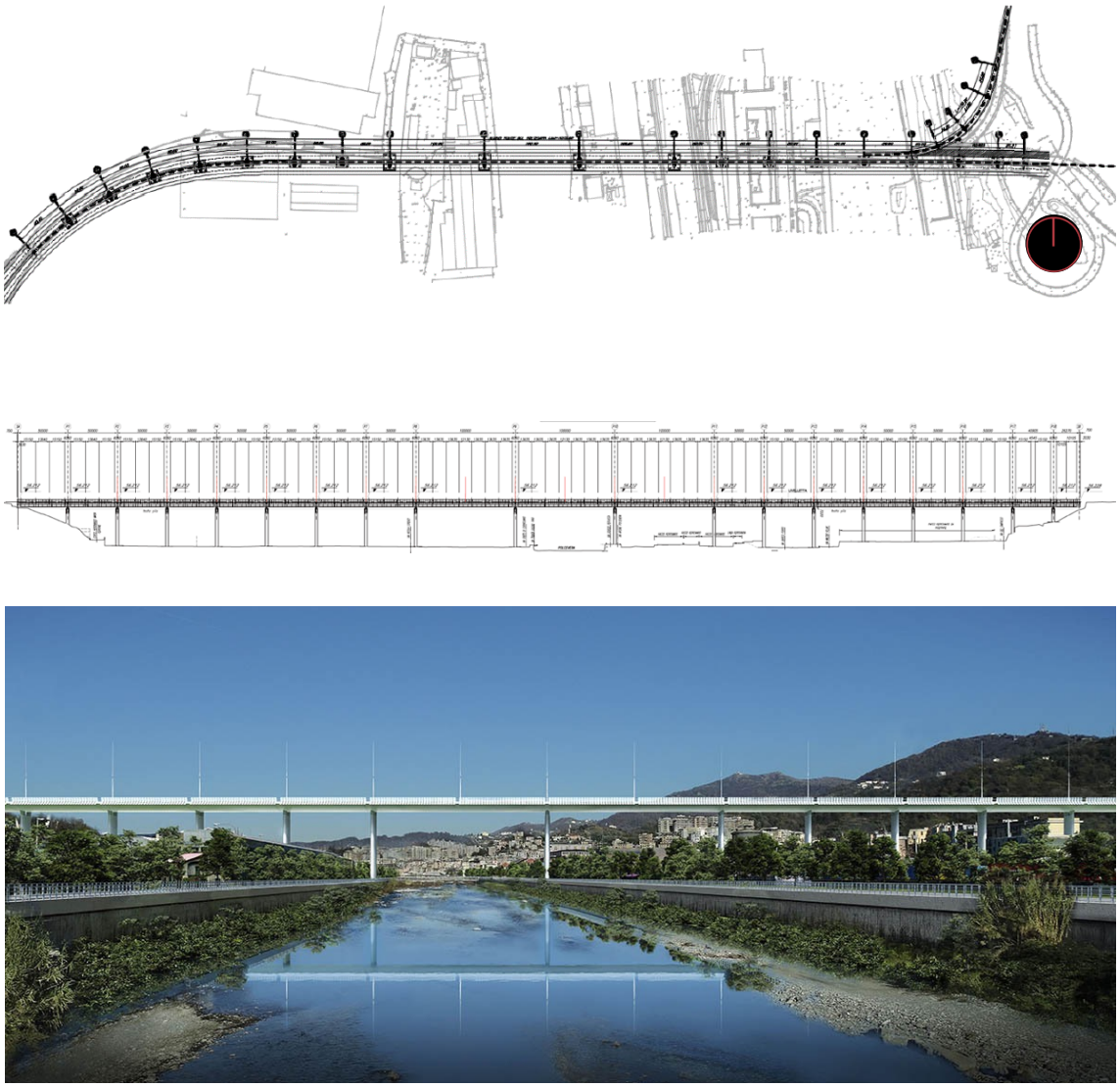


Figura 295 - Localização dos pilares e elevação frontal da infraestrutura.

As dimensões dos pilares são iguais tanto para os vãos de 50m quanto para aqueles de 100m. Entretanto, essa escolha tem vantagens significativas, de expressão arquitetônica e natureza econômica, incluindo:

1. Uniformidade da linguagem arquitetônica da obra infraestrutural.

2. Rapidez e praticidade para realização de apenas um tipo de formas / cofragem externa.

3. Internamente, o pilar é constituído por um caixão monocelular.

Continuando com a linha de raciocínio para investigação e registro arquitetônico e estrutural das obras de arte especial, decidiu-se mapear os pilares que sustentam o viaduto sobre o Polcévera, do Oeste para o Leste, para um maior entendimento global dessa complexa infraestrutura urbana.

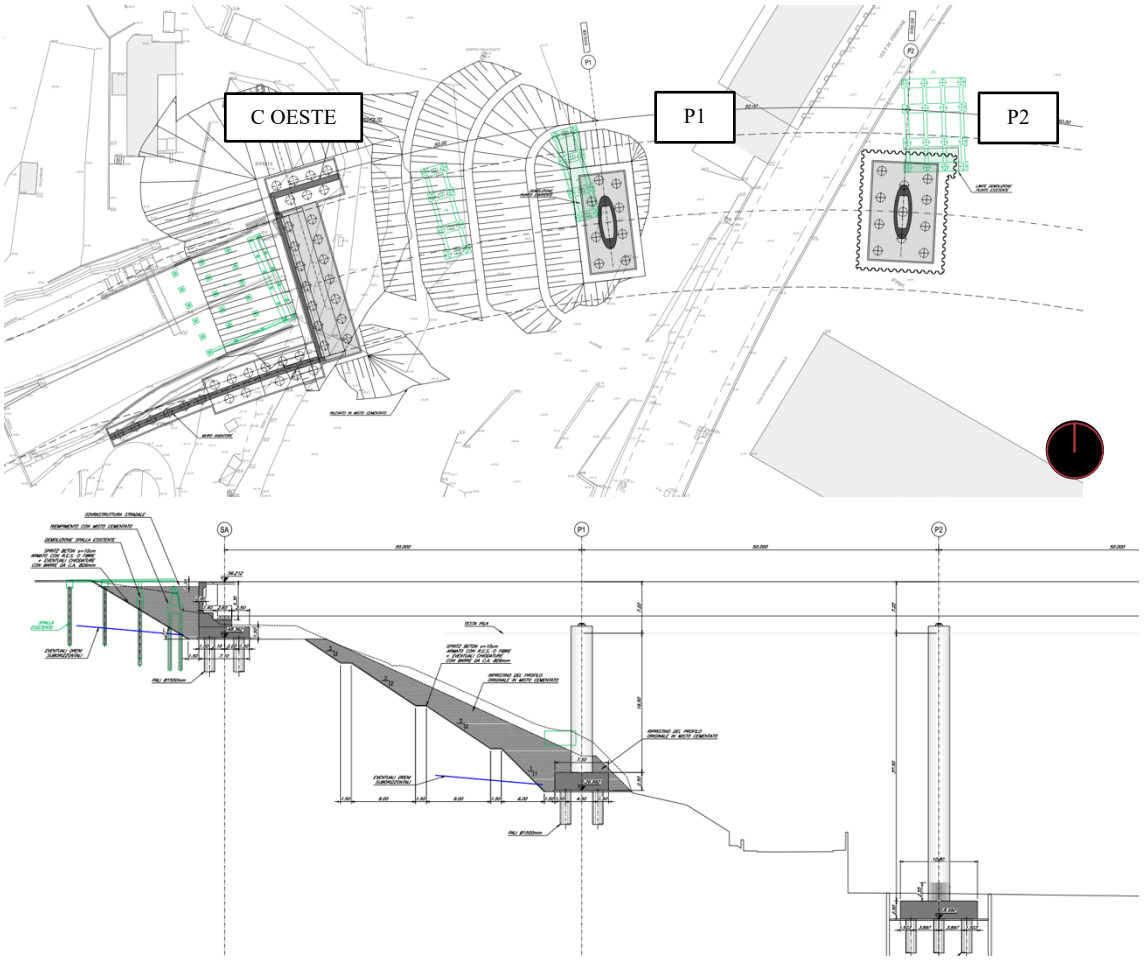


Figura 296 - Planta e elevação da cortina de contenção oeste, dos pilares elípticos P1, P2 e respectivas fundações.

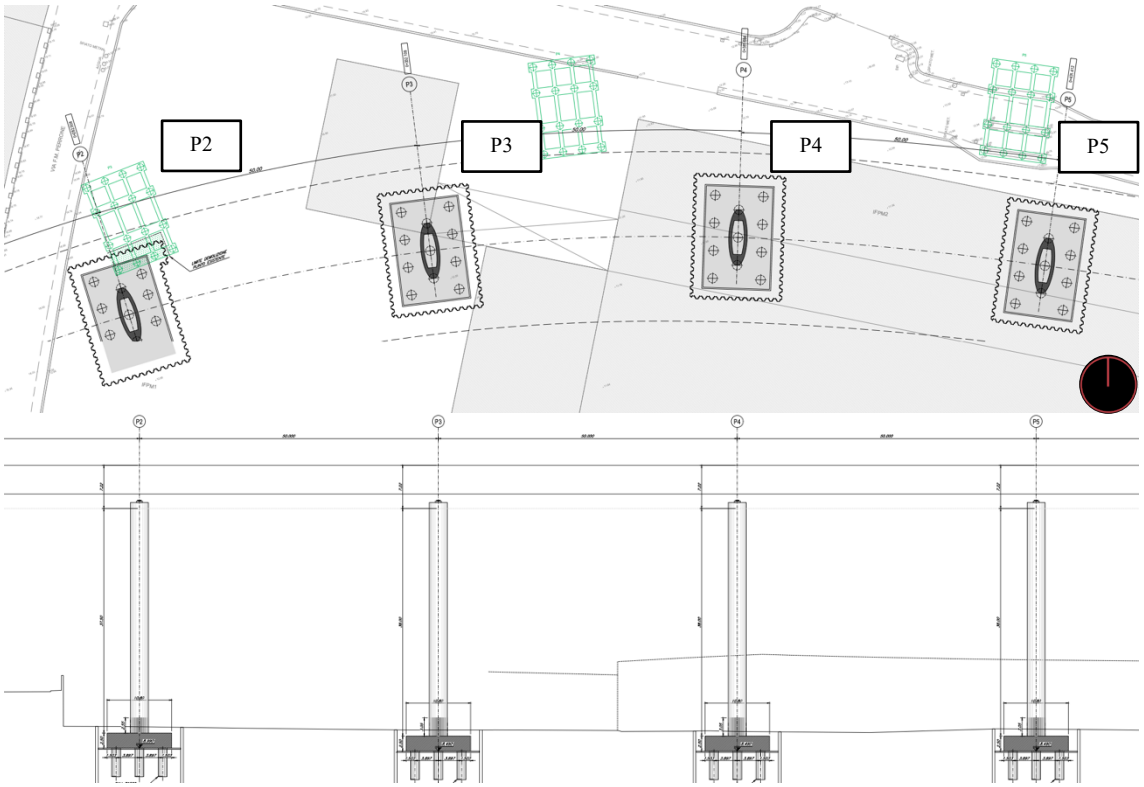


Figura 297 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P2, P3, P4, P5 e respectivas fundações.

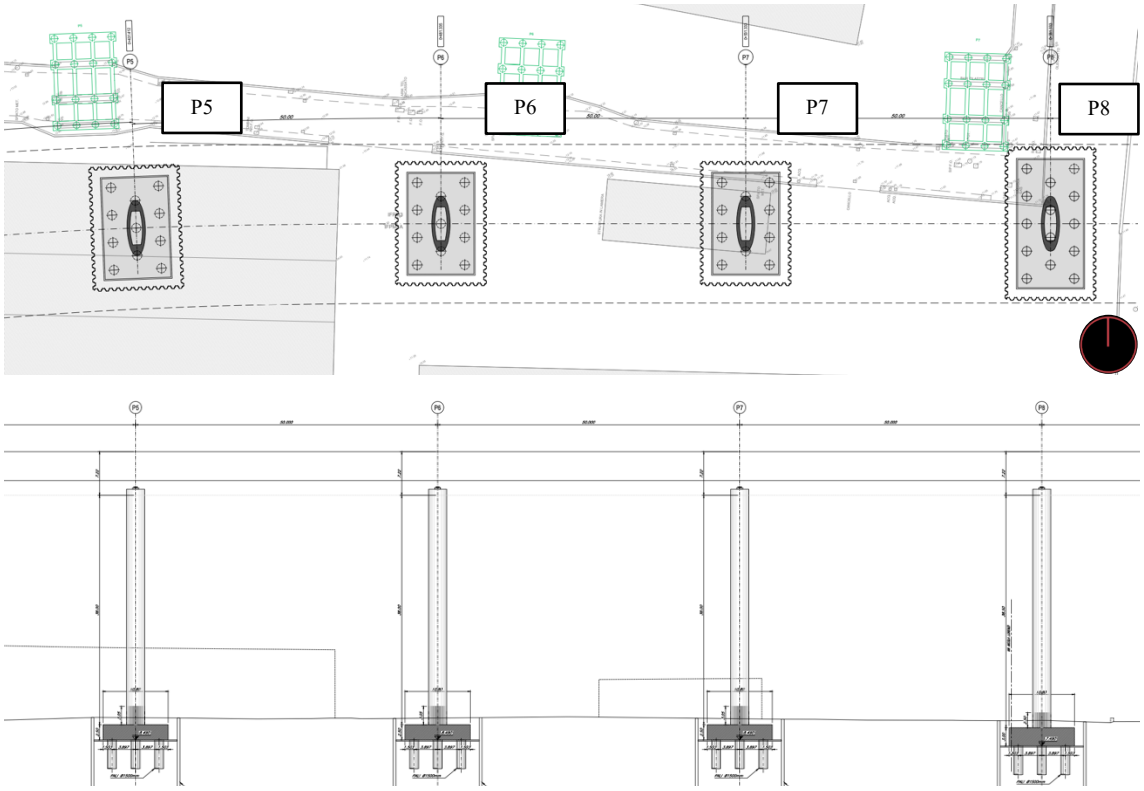


Figura 298 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P5, P6, P7, P8 e respectivas fundações.

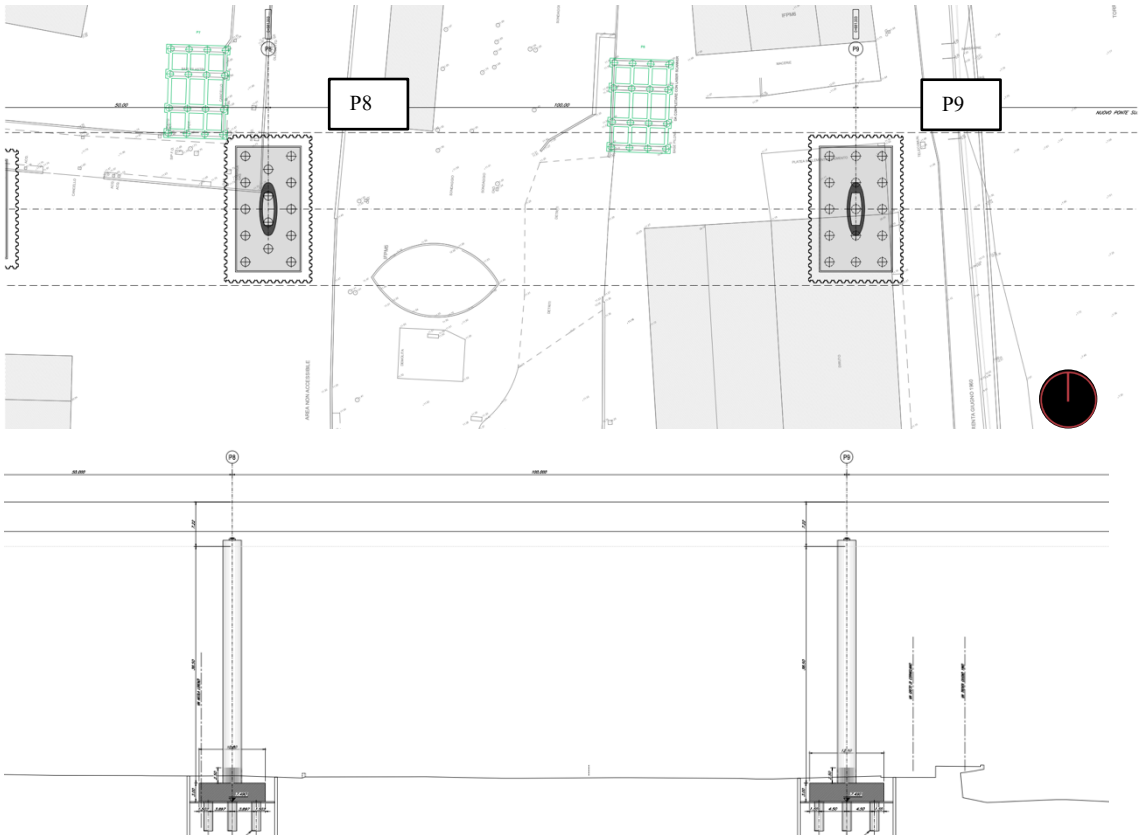


Figura 299 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P8, P9 e respectivas fundações.

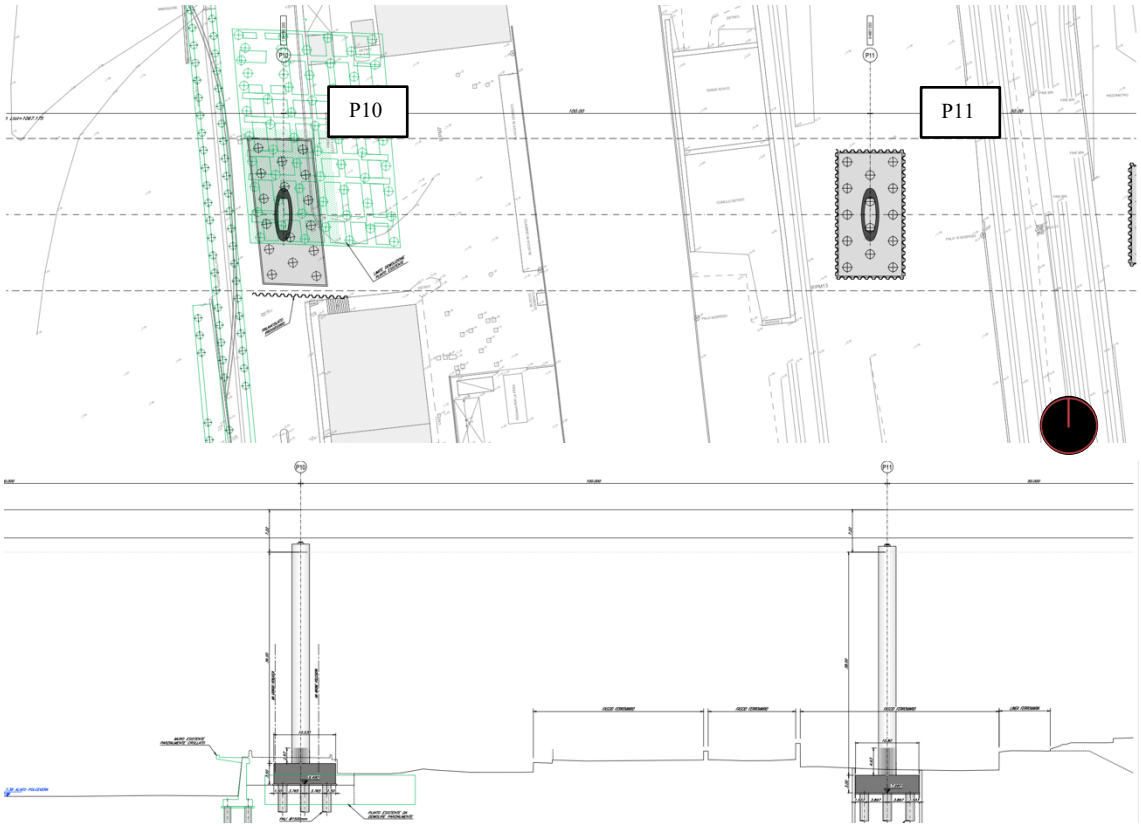


Figura 300 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P10, P11 e respectivas fundações.



Figura 301 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P11, P12, P13, P14 e respectivas fundações.

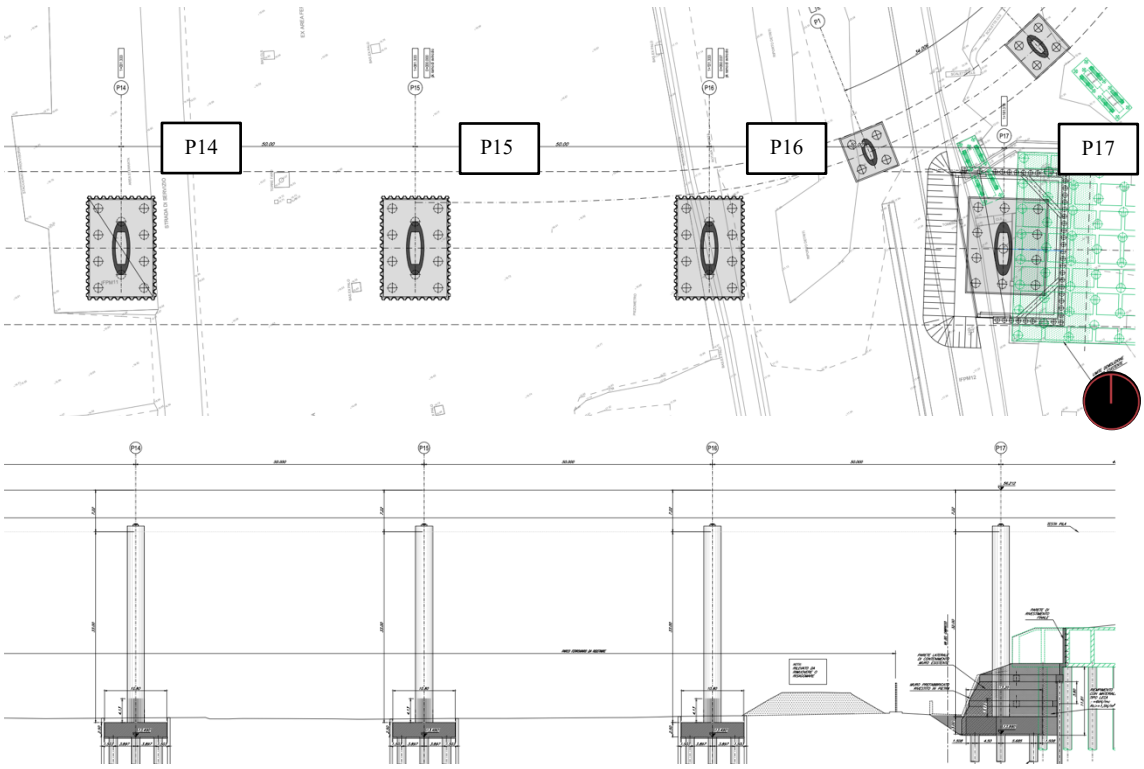


Figura 302 - Planta e elevação lateral dos pilares elípticos P14, P15, P16, P17 e respectivas fundações.

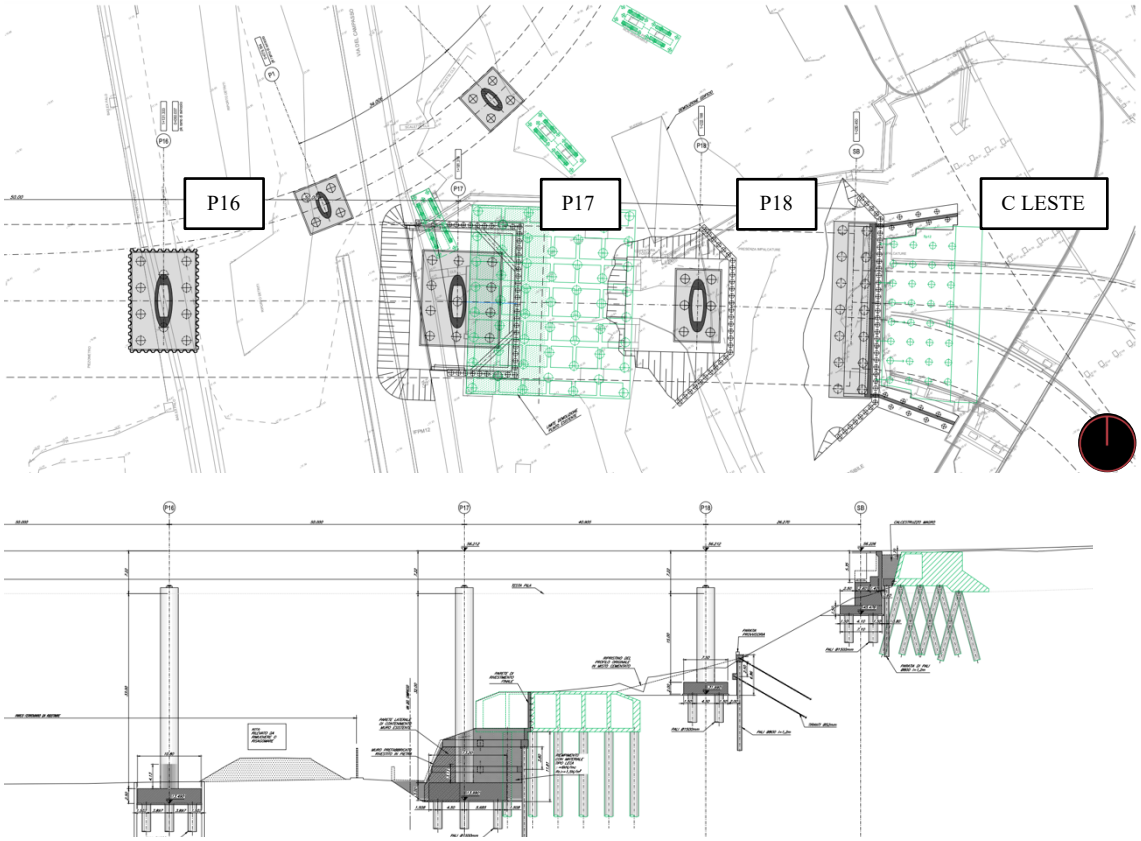


Figura 303 - Planta e elevação lateral da cortina de contenção leste, dos pilares elípticos P16, P17, P18 e respectivas fundações.



Figura 304 – Vista dos pilares da Ponte San Giorgio, Génova. Fonte: Shunji Ishida

A intenção projetual do arquiteto Renzo Piano de manter todos os pilares com a mesma volumetria, como aconteceu para o caso de estudo do Viaduto sobre a Galeria dos Estados e para as OAE's do Trevo de Triagem Norte em Brasília, trouxe uma importante vantagem tanto visual para o conjunto arquitetônico quanto econômica, devido à utilização de uma única tipologia de formas para concretagem. O projeto do traço do concreto solicitou, também, a inclusão de resinas epóxis para atribuir a cor característica buscada na vontade conceitual do projeto do arquiteto. Os pilares foram moldados em loco, utilizando um concreto adequado para uso em ambiente marinho, de alta agressividade, tanto quanto para isolar os elementos da armadura metálica de eventuais fenômenos de corrosão.



Figura 305 – Sistema de formas para concretagem dos pilares. Fonte: We Build



Figura 306 - Sistema de ancoragem das formas para concretagem dos pilares. Fonte: We Build

Para sustentar pilares dessa magnitude dimensional e estrutural, foi preciso projetar um sistema de fundação adequado, baseado em bloco monolítico de concreto armado apoiado em estacas profundas, com diâmetro característico de 1,5 metros e profundidade média de 40 metros.

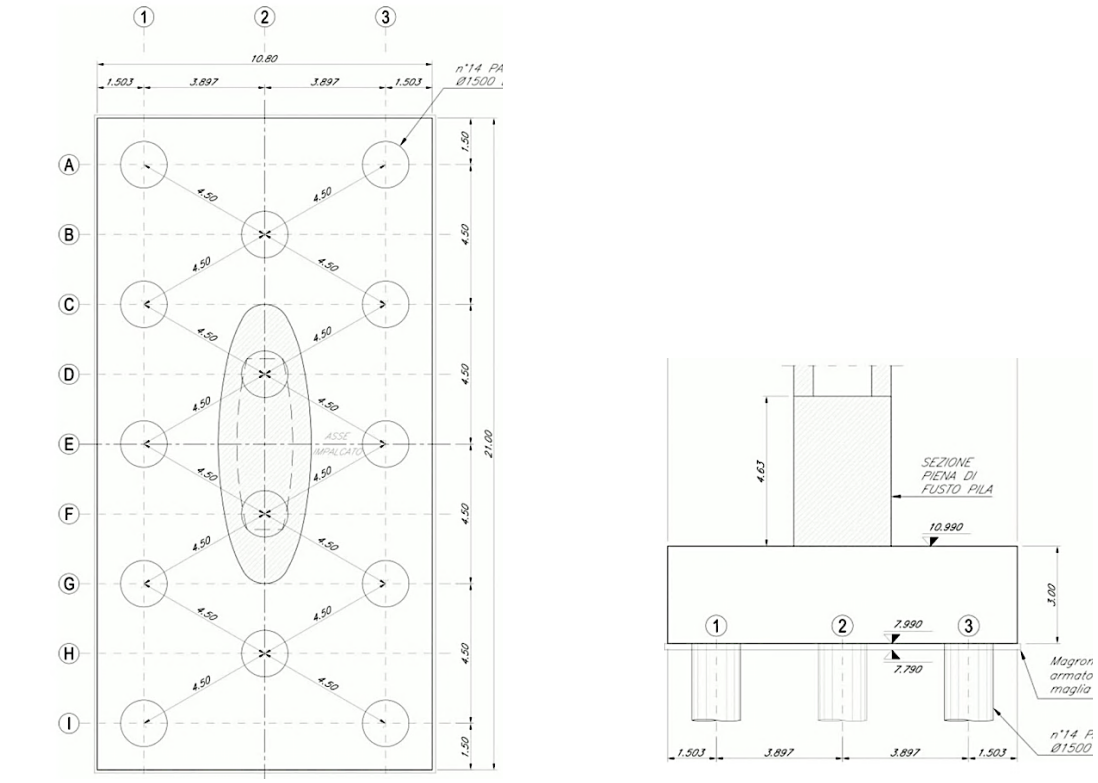




Figura 307 - Blocos de fundação para a nova infraestrutura. Fonte: We Build

A armação metálica da base dos pilares foi realizada através de gaiolas pré-moldadas com altura de 7,50 metros, com duas peles de sobreposição (dupla pele). Na figura a seguir, é possível entender a escala monumental dos elementos estruturais de sustentação junto à escala humana dos operários, em dois momentos distintos da execução dos pilares, no primeiro concretando o bloco de fundação e, no segundo, procedendo às práticas para cura do concreto.

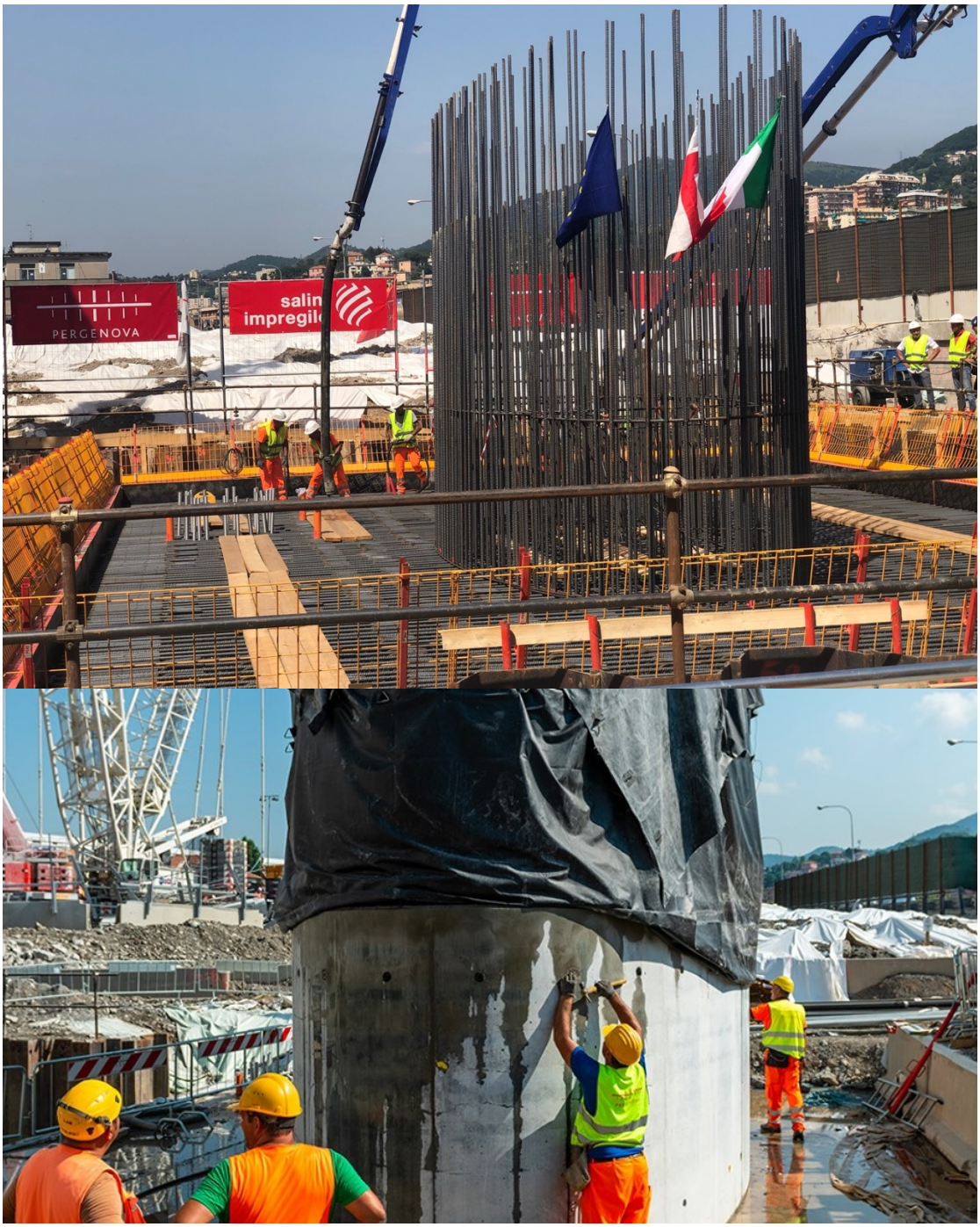


Figura 308 - Concretagem do bloco de fundação. Procedimentos para cura do concreto. Fonte: We Build

O apoio do tabuleiro em cima da cabeça do pilar, como mostram as figuras abaixo, é chamado de “friction pendulum semplici”, possui forma circular e um comportamento antissísmico. Como pode ser deduzido pelo desenho, toda a superestrutura do elemento horizontal da ponte se apoia em dois pontos, tendo em vista a presença de quatro macacos hidráulicos chamados de “*Martinetti*”, que possuem a função de inclinar e estabilizar o trecho correspondente àquele pilar.

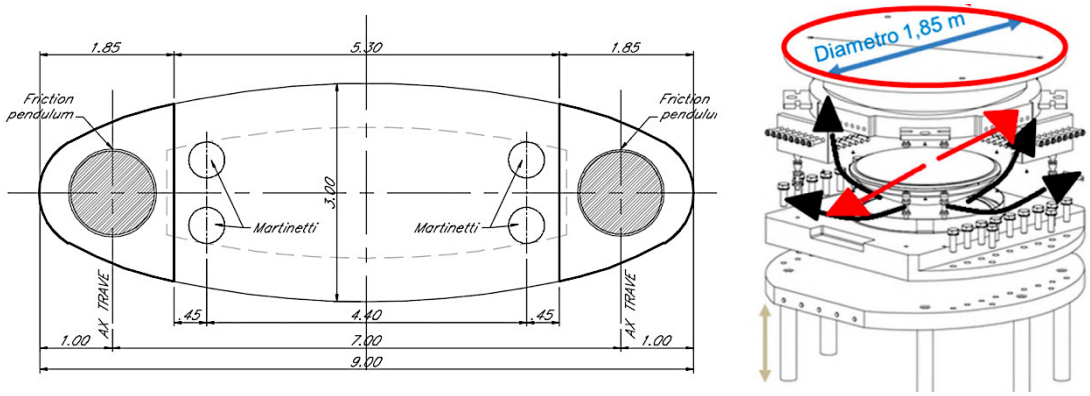




Figura 309 - Conexão do tabuleiro metálico pré-fabricado com a estrutura de sustentação vertical. Fonte: We Build e Marco Pelizza

Entre os ganhos principais que esse sistema de dissipador em pêndulo traz para a estrutura da Ponte San Giorgio, podem-se registrar:

- Dissipar parte da energia dinâmica que entra na estrutura por fricção;
- Transmitir cargas verticais, permitindo os movimentos laterais;
- Providenciar o re-centramento da estrutura do tabuleiro.



Figura 310 - Apoio do tabuleiro em fase de construção e em serviço. Fonte: ITALFERR

O sistema do tabuleiro da Ponte San Giorgio é composto por uma estrutura mista de aço-concreto, com uma estrutura pré-fabricada metálica central em caixão ao qual são soldadas as galerias laterais, também chamadas pelo projetista de “remos”, para completar a estrutura de suporte das pistas de rodagem e passeios laterais. A ligação entre a laje de concreto armado, acima da concha metálica, e a estrutura de aço é garantida por conectores de cisalhamento soldados diretamente no vigamento superior e inferior do caixão central e remos laterais.

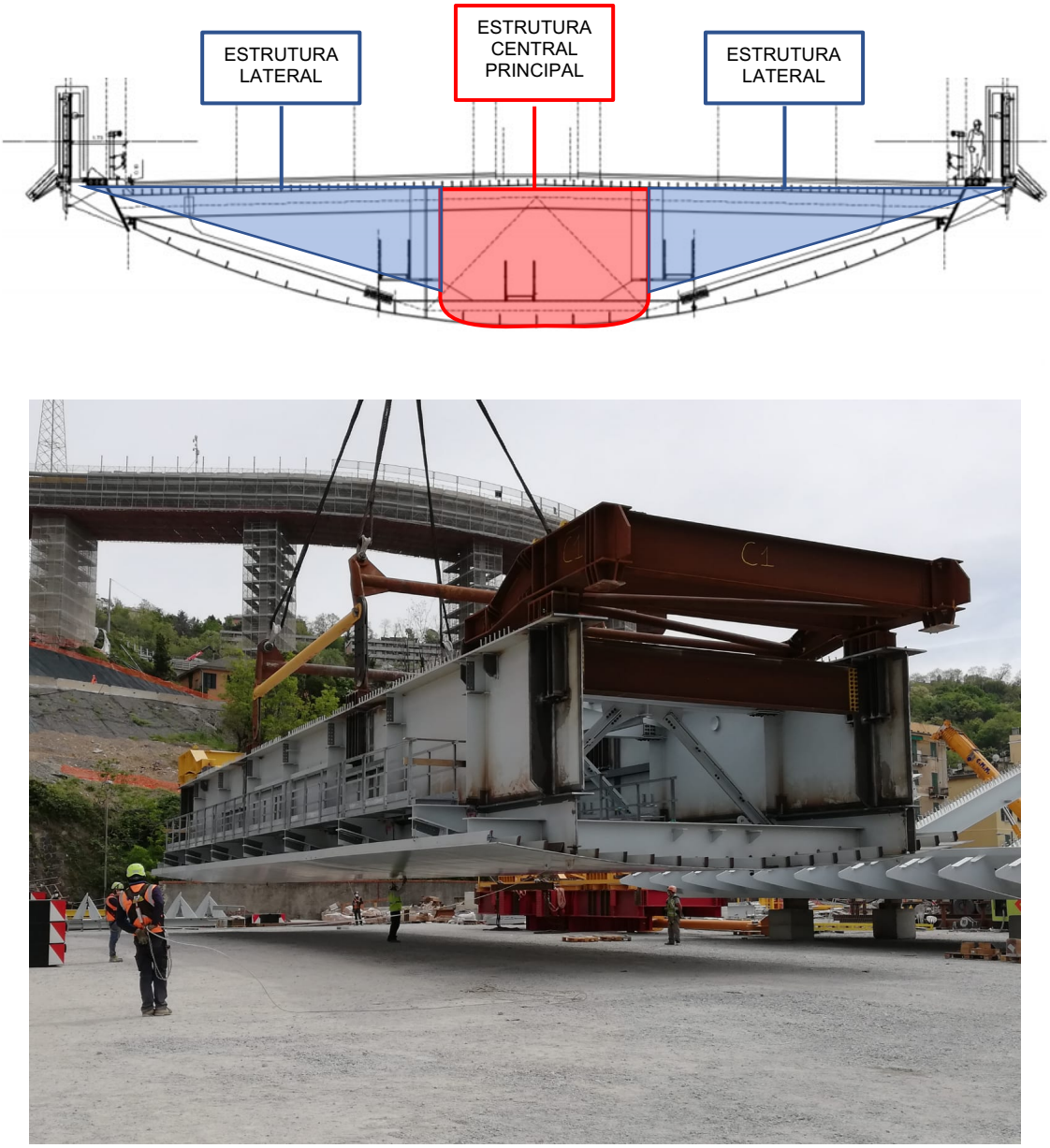


Figura 311 – Corte transversal do tabuleiro metálico da Ponte San Giorgio. Fonte: ITALFERR



Figura 312 – A. Tabuleiro metálico sem estrutura lateral e com (B). Fonte: Shunji Ishida



Figura 313 – Estrututra metálica lateral, alças ou remos laterais. Fonte: We Build

Os maiores e principais desafios, que envolveram essas grandes peças metálicas, foram representados pelo transporte (marítimo e via terra até o canteiro de obra), montagem das peças metálicas, içamento por meio de gruas especiais de alta capacidade de carga e operações de solda executadas por operários especializados.



Figura 314 – Fase de transporte marítimo. Fonte: We Build



Figura 315 - Fase de transporte terrestre. Fonte: We Build

Os segmentos metálicos do caixão central foram conectados no local por soldagem de penetração total. As geometrias de todos os diafragmas metálicos dentro do caixão e as câmaras de visita permitem que a ponte seja totalmente inspecionada em cada trecho, para executar os serviços de manutenção periódica e, eventualmente, extraordinária.

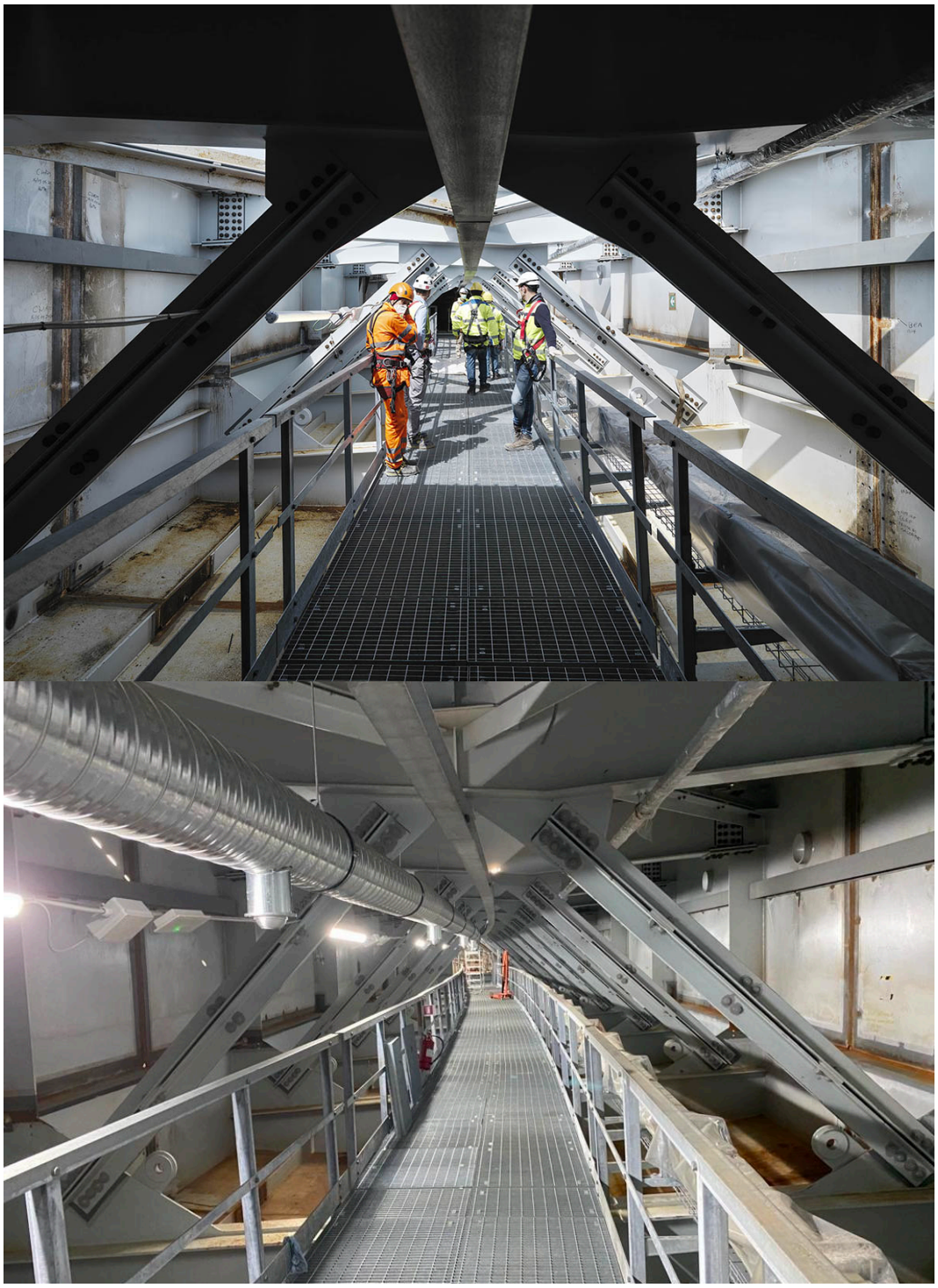


Figura 316 – Interior do tabuleiro com as instalações tecnológicas. Fonte: We Build

A manutenção das grandes obras de arte especial, relacionadas à infraestrutura urbana, deve ser prevista no orçamento anual da receita dos estados, caso não haja investidores e fundos privados. Os "*remos*" laterais da ponte são constituídos por perfis metálicos compostos soldados, pré-montados no canteiro de obra e ligados ao caixão central por meio de ligações aparafusadas, para permitir uma montagem rápida diretamente no local.



Figura 317 – Montagem da estrutura metálica do tabuleiro. Fonte: We Build

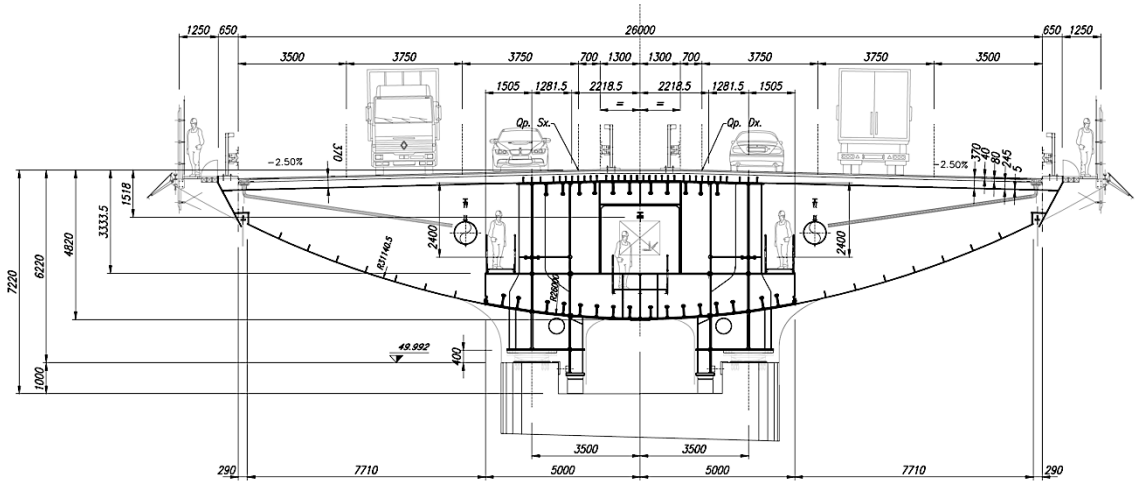


Figura 318 – Seção transversal do tabuleiro na altura do Pilar 10.

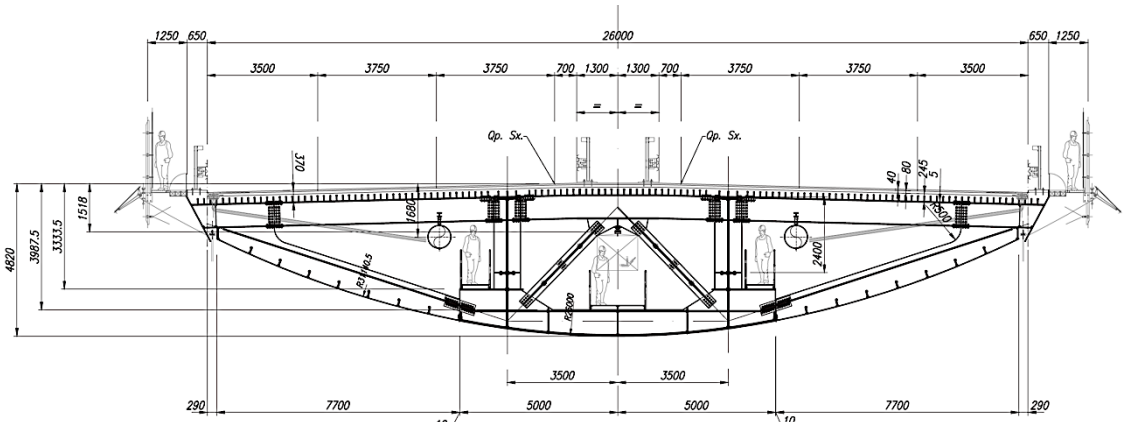


Figura 319 - Seção transversal intermediária do tabuleiro, passando pelo vão de 100 metros.

A imagem a seguir, mostra uma seção em perspectiva da lateral da Ponte San Giorgio, evidenciando a conformação morfológica e tecnológica dessa infraestrutura. Os painéis de vidro, sustentados por montantes metálicos, constituem uma barreira de proteção física e acústica para os usuários que transitam pelas galerias laterais da ponte. Na área dedicada à passagem de pedestre, passam os vãos horizontais que abrigam as instalações elétricas da ponte e o sistema de coleta de águas pluviais e condensação. Os painéis fotovoltaicos, serão apresentados no próximo subcapitulo, a seguir.

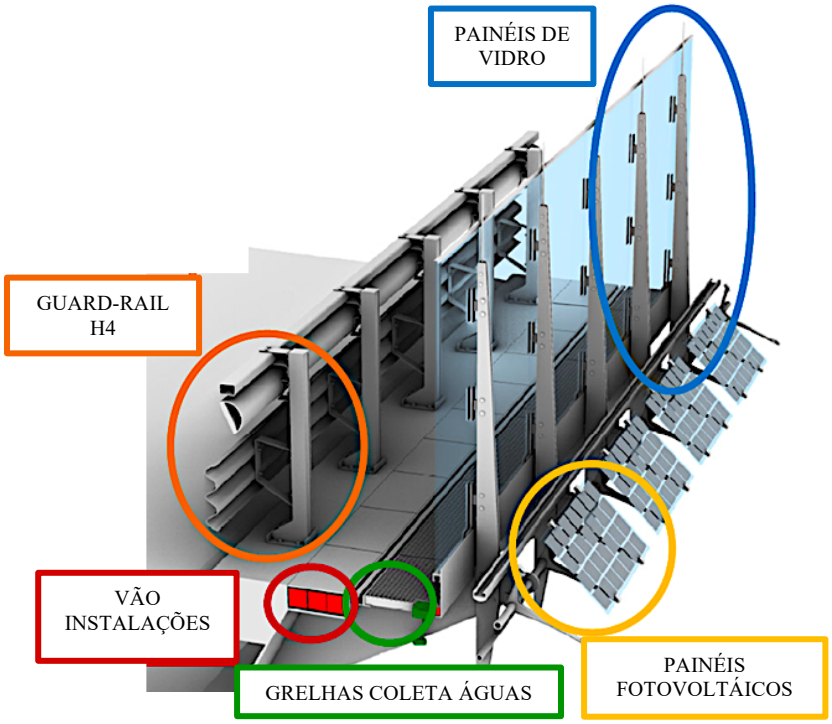


Figura 320 – Seção perspectivada dos elementos laterais à pista de rodagem.



Figura 321 – Concretagem do tabuleiro. Fonte: Shunji Ishida



Figura 322 – A. Concretagem do tabuleiro. B. Acabamento final da pista.

4.8.3 As instalações tecnológicas

Nesse subcapítulo, depois de ter abordado a tecnologia dos principais elementos estruturais que compõem o viaduto, será analisado o tema das instalações em sistemas de infraestrutura urbana. Em particular, serão abordados, de forma mais exaustiva, os sistemas que concernem as instalações fotovoltaicas, de tratamento e desumidificação do ar. Sem nenhuma duvida, a Ponte San Giorgio sobre o rio Polcévera se destaca de qualquer outra obra de arte especial em âmbito internacional pela tecnologia empregada em sua construção. A vontade e intenção projetual do arquiteto, Renzo Piano, realçaram a necessidade de produzir uma infraestrutura singela, autossuficiente e que não impactasse no meio ambiente no qual está inserida. O poder do desenho arquitetônico, da sua concepção projetual, é imprescindível para o bom sucesso de um projeto que possa ser considerado uma obra de arte especial. A figura 329 mostra exatamente isso, a força das intenções resumidas em um croqui arquitetônico.

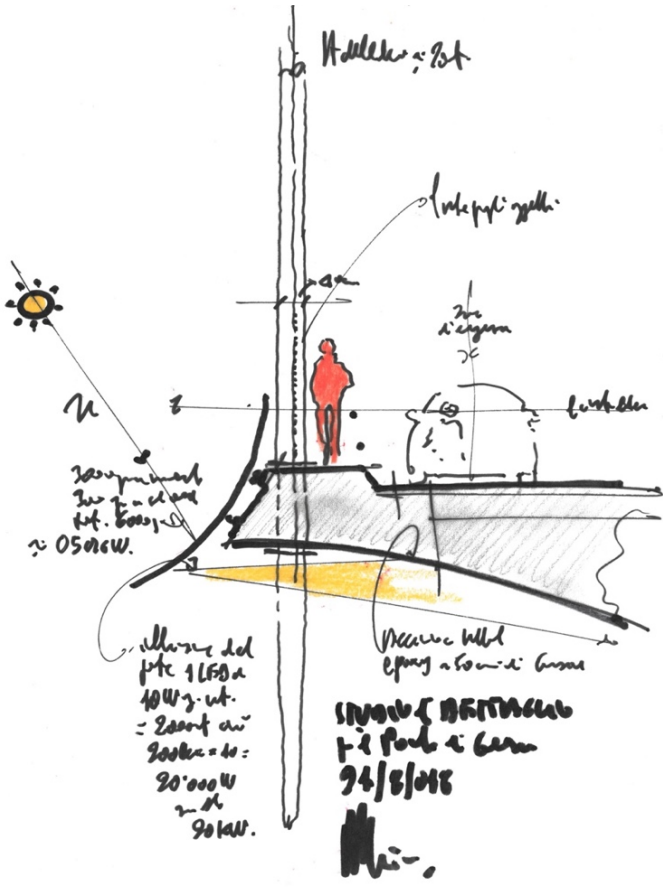


Figura 323 – Croqui do sistema fotovoltáico. Fonte: Renzo Piano Building Workshop

Como parte das escolhas que visam prevenir e evitar os potenciais efeitos negativos sobre o meio ambiente decorrentes de operação da obra, o projeto teve como objetivo conter o consumo de energia gerada pelos sistemas elétricos da nova infraestrutura. Partindo desta premissa relacionada ao uso como estratégia de fontes renováveis de energia, a solução de projeto adotada neste sentido consistiu na previsão de um sistema fotovoltaico combinado com sistema de armazenamento de energia, permitindo a possibilidade de um autoconsumo igual a 95%.



Figura 324 – Sistema fotovoltaico. C.R.G.

Entrando no mérito das características técnicas do fotovoltaico, o sistema de captação de luz solar consiste em módulos fotovoltaicos com células monocristalinas, instaladas em ambos os lados dos elementos estruturais laterais, chamados “*remos*”, cuja superfície resulta inclinada a 45° em relação ao plano da rodovia.

A escolha deste módulo deve-se à sua maior eficiência em relação aos outros tipos e também ao fato que tem uma duração média de vinte e cinco anos, com perdas de rendimento de menos de 1% ao ano. A extensão do sistema fotovoltaico é de aproximadamente 2040 m^2.



Figura 325 – Pianel fotovoltaico. Fonte: Commissario Ricostruzione Genova

As imagens a seguir mostram a tecnologia do sistema robotizado inteligente de limpeza das superfícies fotovoltaicas e dos vidros que atua reutilizando as águas pluviais coletadas e se movimenta ao longo de um trilho metálico.



Figura 326 – Sistema robotizado de limpeza. Fonte: La Repubblica





Figura 327 – Perfil lateral mostrando os paineis fotovoltaicos.

A infraestrutura da ponte foi equipada com sistemas tecnológicos tanto na parte externa quanto na parte interna da viga caixão metálica, sendo eles de geração de energia, supervisão / monitoramento e sistema de desumidificação do ar no interior da estrutura do tabuleiro metálico.



Figura 328 – Interior do tabuleiro tecnológico.

Considerando a função fundamental de utilidade específica das instalações elétricas para o projeto em questão, as mesmas foram projetadas visando aspectos de:

- Manutenção: a ponte foi concebida para que fosse possível realizar a manutenção dos sistemas em condições de segurança.

- Flexibilidade das instalações: permitir a ampliação dos quadros elétricos, já prevendo nesta fase a reservas necessárias de espaço e energia.

- Seletividade do sistema de instalação.

- Segurança das instalações: o tempo de deteção das falhas ou substituição de componentes danificados, deve ser reduzido ao mínimo.

Os sistemas tecnológicos que foram previstos no projeto do novo viaduto sobre o rio Polcévera são:

- Sistema de fornecimento de energia e distribuição elétrica.
- Iluminação pública.
- Iluminação cenográfica e decorativa da infraestrutura urbana.
- Iluminação normal e de emergência.
- Instalação de placas fotovoltaicas.
- Sistemas de supervisão e monitoramento estrutural da ponte.
- Sistemas de telecomunicações.
- Desumidificação do ar interno.
- Sistemas de coleta e tratamento das águas pluviais e de condensação.
- Sensores de monitoramento das estruturas.
- Robôs para a inspeção estrutural do viaduto.
- Robôs para limpeza dos painéis fotovoltaicos (reúso das águas pluviais coletadas pelo sistema específico).

Cada sistema tecnológico implantado na Ponte San Giorgio precisa de uma fonte de alimentação elétrica, de forma a otimizar as intervenções das equipes de manutenção. Por fim, o viaduto será equipado com um sistema de proteção contra raios próprio (SPDA), com particular atenção às árvores iluminação.

Dentro da estrutura central metálica, podem ser estabelecidas condições termo-higrométricas peculiares, até mesmo muito diferentes das externas devido à singularidade da estrutura, à sua inércia térmica e exposição à radiação solar. As diferentes condições atmosféricas entre o exterior e o interior podem originar fenômenos de condensação superficial que, considerando a localização do viaduto em área marítima e a atmosfera fortemente salina (dada à proximidade do mar), poderiam ocasionar fenômenos de corrosão das superfícies metálicas.

Esses mecanismos ocorrem quando o ar húmido entra em contato com uma superfície cuja temperatura é mais baixa em função da umidade absoluta do próprio ar.

Para combater este fenômeno, foi escolhido um sistema de tratamento do ar e, em particular, para a sua desumidificação. A escolha se justifica pelo

fato de que, como a umidade relativa do ar interno beira valores próximos a 40%, a condensação não se verifica.



Figura 329 – Sistema de climatização interno da ponte.

4.9 Desabamento estrutural e metodologia de atuação (pós colapso)

O desabamento parcial do Viaduto sobre o Polcévera (Ponte Morandi) aconteceu às 11:36hs do dia 14/08/2018 e teve graves repercussões socioeconômicas no contexto local, nacional e internacional. Naquele momento, na altura da pavimentação sustentada pelo pilar 9, representado em vermelho na figura 336, um trecho do tabuleiro de 150 metros de comprimento colapsou juntamente ao elemento vertical, registrando uma tragédia de 43 vítimas humanas.



Figura 330 - Trecho do viaduto colapsado. Fonte: Adaptada de ITALFERR e The Guardian.

A ruína imediata da ponte determinou o bloqueio da rodovia que interligava os eixos de tráfego leste/oeste e a linha ferroviária, que passa debaixo da infraestrutura e que se conecta diretamente com a área portuária. Além da sensação de impotência para as vítimas do acidente catastrófico, o potencial perigo da estrutura que ainda tinha permanecido de pé, representava o principal fator de risco para a segurança pública.

Torna-se fundamental descrever o processo após colapso estrutural, pois registra uma metodologia de ações e tomadas de decisões durante um evento catastrófico que ainda representava um risco à segurança pública.

Em geral, as fases de ação após desabamento estrutural da ponte, seguiram um iter bem preciso, sendo elas:

1. Operações emergenciais de resgate e pronto socorro das vítimas próximas às áreas do Viaduto sobre o Polcévera.



Figura 331 – Restos da infraestrutura colapsada. Fonte: Paolo Rattini/GettyImages



Figura 332 – Infraestrutura em estado de colapso. Fonte: Paolo Rattini/GettyImages

2. Evacuação das pessoas próximas e dos moradores às áreas ao Viaduto sobre o Polcévera.

A segunda operação a ser dirigida pelas autoridades durante a emergência previu a evacuação dos 566 moradores que até então habitavam as próprias casas, localizadas embaixo da infraestrutura em estado de colapso, definindo a área como "*zona rossa*" ou vermelha, no idioma português.



Figura 333 - Trecho do viaduto colapsado acima das unidades residenciais. Fonte: ITALFERR

A outra grande preocupação gerada pelo evento catastrófico, estava relacionada ao abandono das atividades comerciais que, após o desabamento da infraestrutura de conexão, começaram perder todo o induto financeiro, levando à um fenômeno de desertificação ao longo do tempo. Portanto, além das elevadas perdas econômicas, a queda da ponte gerou uma situação social complexa que, até então, estava relacionada com a vida da infraestrutura.

3. Redistribuição do trânsito interrompido.

A superação dessa primeira fase de emergência exigiu que a administração das infraestruturas rodoviárias italiana repensasse nas rotas usuais de tráfego e buscasse uma viabilidade alternativas que permitisse a retomada da passagem de veículos, tentando tampar as perdas econômicas que o acidente causou.

4. Decisão das autoridades locais sobre o destino da infraestrutura italiana.

5. Investigações hidro-geológicas, ambientais e de preservação do patrimônio (vínculos patrimoniais).

No que se refere ao contexto ambiental, foi realizada a descrição dos aspectos pertinentes ao estado atual do ambiente, ou seja, o chamado cenário preliminar. Nesse sentido, os principais fatores investigados foram o solo, as águas, o ar e o clima, a biodiversidade e o território. Esta análise, além de documentar o estado atual desses fatores, também foi fundamental para discernir qual desses fatores, devido às suas condições atuais, poderia ser afetado por efeitos induzidos pela construção da obra infraestrutural.

6. Projeto de demolição do Viaduto sobre o Polcévera, após tomada de decisão;

7. Planejamento, localização e abertura do canteiro de obra para demolição;

8. Execução do projeto de demolição da infraestrutura existente e dos edifícios localizados abaixo do viaduto.

Na figura abaixo está representado o plano geral de demolição da infraestrutura sobre o rio Polcévera, que se articulou em três fases, respectivamente representadas pela sequência dos elementos amarelos (tabuleiro), azul escuro (pilares) e azul claro (pilar 10).

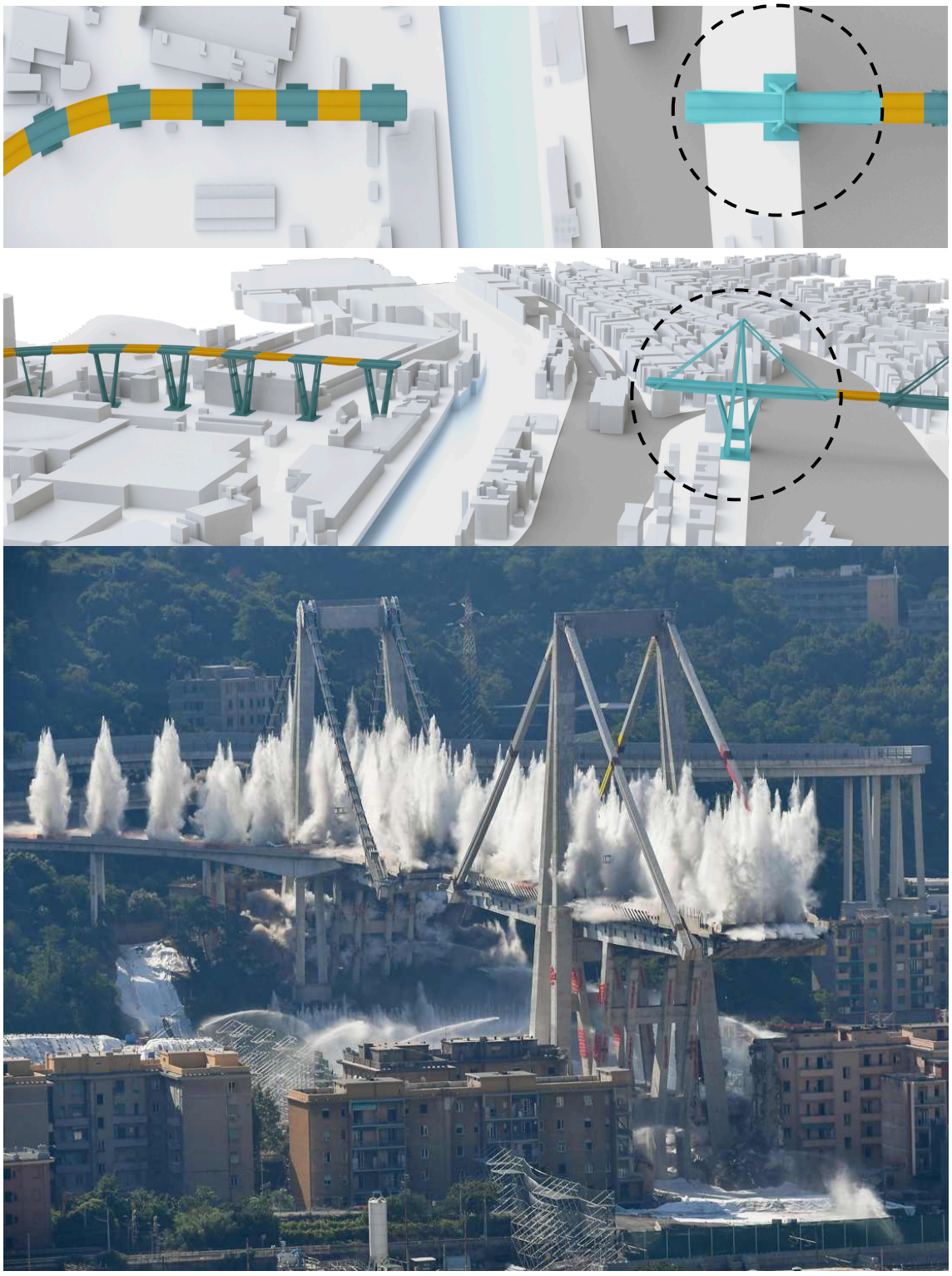


Figura 334 – Demolição da antiga Ponte Morandi. Fonte: ITALFERR



Figura 335 – Içamento e remoção dos trechos pré-moldados.

9. Planejamento, localização e abertura do canteiro de obra para reconstrução;

10. Execução do projeto de reconstrução da ponte.

Vistas as fases que se alternaram desde o acidente da queda parcial do viaduto sobre o Polcévera até a reconstrução da nova infraestrutura, precisamos identificar as motivações que propulsionaram as decisões de demolição total. Para orientar o raciocínio a respeito dessa pergunta, é preciso investigar sobre diferentes aspectos, tais como o ambiental, econômico e social, que levaram as autoridades à tomada dessa decisão. O projeto do Viaduto sobre o Polcévera, elaborado na década de 1960, se enquadra no período áureo da economia italiana que, graças ao Plano Marshall, conseguiu industrializar o país e, consequentemente, as áreas urbanas. A cidade de Génova, terceiro polo industrial italiano, elegeu a área onde foi implantada a Ponte Morandi como lugar da propulsão econômica da região, conectando-a aos principais centros de expansão comercial. Próxima à área portuária e à ferrovia, a antiga infraestrutura foi projetada para gritar ao mundo o seu caráter de avanço tecnológico e industrial, definido com a expressão de “*italian style*”.

Por essas razões, o engenheiro calculista do viaduto, Riccardo Morandi, utilizou o concreto armado em conjunto ao concreto protendido, tecnologia de vanguarda e representativa de uma nova cultura industrial, para constituição da antiga estrutura da ponte. A antiga infraestrutura carregava ao mesmo tempo uma linguagem arquitetônica modernista e uma visão futurista, simbolicamente posterior à Segunda Guerra Mundial. Os manifestos da época testemunham a vontade de uma nação em querer se libertar de uma fase destrutiva para a arquitetura e para o patrimônio, abraçando uma tecnologia aplicada à construção que soubesse dar respostas tangíveis ao crescimento da cidade.

O sistema estrutural do viaduto, portanto, se tornou necessário para viabilizar e potencializar esse grande projeto que envolvia a evolução social, econômica, industrial e tecnológica de uma comunidade e de uma nação. Nesses termos, a antiga Ponte Morandi carregava um enorme valor simbólico de resgate social que está enraizado dentro da comunidade e, as escolhas de Retrofit e intervenção urbana foram definidas tendo em consideração esse importante fator. Além disso, o marketing urbano das cidades é feito pelas próprias obras arquitetônicas e, o simbolismo que está por trás disso, representa também uma estratégia na implantação de uma nova ponte.

A cidade espanhola de Bilbao tem implementado o Museu Guggenheim, a fim de responder a crises profundas que a afetavam, como crise industrial e econômica, estrutura obsoleta e problemas sociais, entre outros. Esse contexto obrigou as autoridades a tomar a decisão de “forjar uma nova identidade"[19]. Por que o viaduto de Génova e a nova proposta de reconstrução não aparenta ser próxima da concepção estrutural e arquitetônica original?

O arquiteto Renzo Piano, conceituou o novo projeto da ponte não mais a partir da industrialização, mas do princípio chave da sustentabilidade. Portanto, as principais diretrizes que foram implementadas no projeto foram a simplicidade construtiva, sobriedade e a monumentalidade que representasse a superação de uma comunidade, da cidade de Génova.

[19] CHADOIN, O.; GODIER, P.; TAPIE, G. (2000). Du politique à l’oeuvre - Bilbao, Bordeaux, Bercy, San Sebastian - système et acteurs des grands projets urbains et architecturaux. de l’Aube, La Tour d’Aigues, 240 p.

> “... Será uma ponte belíssima e evocativa, um trabalho coral que representará a coesão criativa, mas também política. Uma ponte de aço, brilhante e límpida como um navio, e com uma alma clara que permita que a cidade possa elaborar este luto pesado”.

(RENZO PIANO, 2018)

A ausência da antiga ponte, pode ser entendida como o fim de um ciclo econômico que não reflete mais a situação atual e, evidencia a nova exigência de resolver novas questões que influenciam as dinâmicas da atual sociedade.

A população local trabalhou em conjunto com a tomada de decisões projetuais e de atuação das administrações, estabelecendo que a reconstrução global do viaduto, que representava uma ameaça constante para a segurança tanto dos moradores da área quanto dos usuários da própria infraestrutura, fosse necessária.

Corroborando esse conceito, os pilares e a antiga estrutura do viaduto, demolidos enquanto obsoletos e em estado grave de degradação, mostravam um comportamento estrutural instável e, por isso, a decisão verteu para a demolição total da infraestrutura.

11. Inauguração da nova infraestrutura.

O consenso nacional foi fundamental na reconstrução da ponte Polcévera, com particular atenção ao tempo extremamente curto de sua realização. O projeto foi amplamente apoiado pelo governo italiano, de todos os principais grupos políticos e, ainda mais importante da opinião pública.

Reconstruir uma ponte que possui atributos estéticos notáveis, funcional, segura e tecnológica ao mesmo tempo, no menor tempo possível, foi um motivo de orgulho nacional. A participação do país inteiro, aliado ao orgulho individual de todos os participantes deste empreendimento extraordinário, foi um acontecimento sem precedentes por uma obra de infraestrutura urbana.



Figura 336 – Inauguração da nova ponte. Fonte: ITALFERR

4.11 O retrofit da Ponte San Giorgio sobre o Polcévera e IRU

O projeto da nova infraestrutura do Viaduto Polcévera foi idealizado principalmente para que fossem implementadas melhorias à segurança do trânsito e dos usuários que transitam por aquele trecho rodoviário. O eixo longitudinal da nova ponte, de autoria do arquiteto italiano Renzo Piano, foi levemente rotacionado em direção ao sul para dialogar da melhor forma com as redes de infraestrutura complementares, as cotas altimétricas do tabuleiro do viaduto e da estrutura portante, que foram mantidas de acordo com a concepção arquitetônica original. É necessário começar este subcapitulo com uma importante premissa sobre a ação de Retrofit implementada no caso específico do Viaduto Polcévera, também conhecido como Ponte Morandi. Como agir nesse tipo de obras de infraestrutura urbana sem interferir nos fatores de especificidades que regulamentam o tombamento patrimonial e no próprio valor simbólico?

O Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana - IRU, promovido como metodologia do livro, foi aplicado ao estudo de caso da ponte. Para melhor dizer, os momentos de Pré-retrofit e Pós-retrofit caracterizam não apenas duas

dimensões temporais distintas, mas também duas infraestruturas diferentes. Essa representa a grande originalidade desse modelo escolhido para avaliação do IRU. A Ponte Morandi, construída em 1964 e concebida pelo gênio do Riccardo Morandi, foi avaliada para o período referente ao seu desabamento parcial, refletindo uma situação que pode ser verificada na ficha avaliativa abaixo. Os únicos parâmetros que encontraram uma valoração, foram registrados apenas os indicadores artístico e simbólico no sub-elemento "*pilares*", na dimensão *Estrutural*.

0.A.E.: **PONTE MORANDI SOBRE O POLCÉVERA**
ANO: 1964
PROJETISTA: RICCARDO MORANDI
LOCAL: GÉNOVA - LIGURIA - ITÁLIA
STATUS: PRÉ RETROFIT

INDICADOR	Ambiental	Artístico	Durabilidade (vida útil)	Econômico	Segurança	Simbólico	Social	Uso	Total parametrizado
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
LAJES DO TABULEIRO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
PILARES	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	0,25
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VIGAMENTO PRINCIPAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,04**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE DRENAGEM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,00**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CALÇADAS	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CICLOVIA	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
PAISAGISMO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VEGETAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
MOBILIÁRIO URBANO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									0,00
I.R.U.									**0,02**

Figura 337 - Ficha avaliativa IRU – Ponte Morandi sobre o Polcévera – PRÉ-RETROFIT.

Essa atribuição se refere ao fato de que a antiga Ponte Morandi era fruto de um design inovador, por isso o indicador artístico, e representava o símbolo do desenvolvimento econômico italiano. O Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana - IRU resulta com uma pontuação de 0,02, isto é representativo de uma situação de obsolescência, conforme com a imagem abaixo, de acordo com a classificação do IRU.

0	**GRAU MÍNIMO** - ESTADO DE OBSOLESCÊNCIA	NÃO ATENDE A NENHUM PARÂMETRO DOS INDICADORES PROPOSTOS	

A decisão de reconstruir uma nova ponte foi estabelecida de acordo com a população de Génova que, vistas as circunstâncias catastróficas que comprometeram a infraestrutura Morandi, optou por uma obra nova, a Ponte San Giorgio. Já na dimensão *Estrutural*, que corresponde em peso ao 55% do IRU total, podemos notar que os indicadores de durabilidade (vida útil), econômico, de segurança, social e de uso foram identificados para todos os sub-elementos do sistema. O indicador artístico, foi atribuído para os pilares, lajes do tabuleiro e vigamento principal, em virtude do fato de que esses elementos possuem um design único e assinado por um dos maiores arquitetos contemporâneos do mundo. O significado simbólico que esses elementos possuem, é de valor inestimável para a população de Génova e da Itália. Esses elementos estruturais possuem valor simbólico e, portanto, foram pontuados a partir dessas considerações. O vigamento secundário, não foi incluído enquanto interno e não visível. O indicador ambiental foi atribuído para os elementos "*laje do tabuleiro*" e "*pilares*" pelo fato de ser sustentáveis e adaptados ao meio ambiente. Os elementos de sustentação de seção oca, proporcionam uma economia no volume do concreto empregado, caracterizando-se por ser produzido na mesma região do canteiro de obra, possuir elevado teor de material reciclado (na ordem de 40%) e baixo nível de emissões de CO_2, de acordo com as especificações de projeto da ITALFERR.

A macro dimensão das *Instalações* resultou bastante satisfatória do ponto de vista de quase todos os indicadores, incluindo o ambiental, de durabilidade, econômico, de segurança e uso, uma vez individuados em todos os sub-elementos do sistema, com exceção do sistema de monitoramento

estrutural que não foi contemplado pelo indicador ambiental. Ao sistema de iluminação foi atribuído um valor artístico, enquanto foi assinado pelo traço do projetista, representando um elemento da composição arquitetônica da ponte. Os sub-elementos representados pelo sistema de geração de energia sustentável – sistema fotovoltaico e pelo sistema de monitoramento estrutural, foram pontuados também por meio do indicador social, enquanto expressam características relacionadas ao desenvolvimento social.

O.A.E.: **PONTE SAN GIORGIO SOBRE O POLCÉVERA**
ANO: 2020
PROJETISTA: RENZO PIANO
LOCAL: GÉNOVA - LIGURIA - ITÁLIA
STATUS: PÓS RETROFIT

INDICADOR	Ambiental	Artístico	Durabilidade (vida útil)	Econômico	Segurança	Simbólico	Social	Uso	Total parametrizado
SISTEMA ESTRUTURAL									
BLOCOS DE FUNDAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
CORTINAS DE CONTENÇÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
LAJES DO TABULEIRO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	1,00
PILARES	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	1,00
SISTEMA DE APOIO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
VIGAMENTO PRINCIPAL	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	0,88
VIGAMENTO SECUNDÁRIO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
ESTRUTURAL GLOBAL									**0,79**
INSTALAÇÕES									
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INTERNO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE DRENAGEM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,63
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	0,75
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,63
INSTALAÇÕES GLOBAL									**0,68**
IMPLANTAÇÃO									
ACESSIBILIDADE	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	0,75
CALÇADAS	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
CICLOVIA	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	
PAISAGISMO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
VEGETAÇÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
MOBILIÁRIO URBANO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0,00
IMPLANTAÇÃO GLOBAL									0,15
I.R.U.									**0,60**

Figura 338 - Ficha avaliativa IRU – Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT.

O sistema da Implantação representou a vertente menos significativa para a composição do IRU, sinalizando, apenas, a presença do sub-elemento acessibilidade. A razão, está contida no fato que, ainda, está previsto um parque com Memorial da Ponte San Giorgio, um lugar em memória das vítimas que será projetado e planejado pelo Boeri Studio. De acordo com as palavras do prefeito de Génova, Marco Bucci:

"As obras do futuro Parco da Ponte e a construção de uma área a ser dedicada ao Memorial começaram há mais de dois anos, quando, após um encontro com os familiares das vítimas do desabamento da Ponte Morandi, decidimos o que fazer com a grande área que se desenvolve sob a atual Ponte San Giorgio de Gênova. O Memorial, a partir do qual começarão os trabalhos preparatórios para sua construção, será uma obra vivida pelo povo. Incluirá locais de recordação e reflexão, espaços botânicos e pontos de encontro. Será um lugar emocionante que fará perpétua a memória do que aconteceu e constituirá uma peça fundamental na construção do Parco da Ponte, uma obra que irá reabilitar totalmente áreas importantes para três municípios da cidade".

(Marco Bucci, traduzido pelo autor)

Para entender a forma espacial e gráfica do novo projeto do complexo do parque, publicado extraordinariamente em 13/08/2021, são apresentadas planimetrias tridimensionais – Masterplan e imagens de como o parque será implantado.

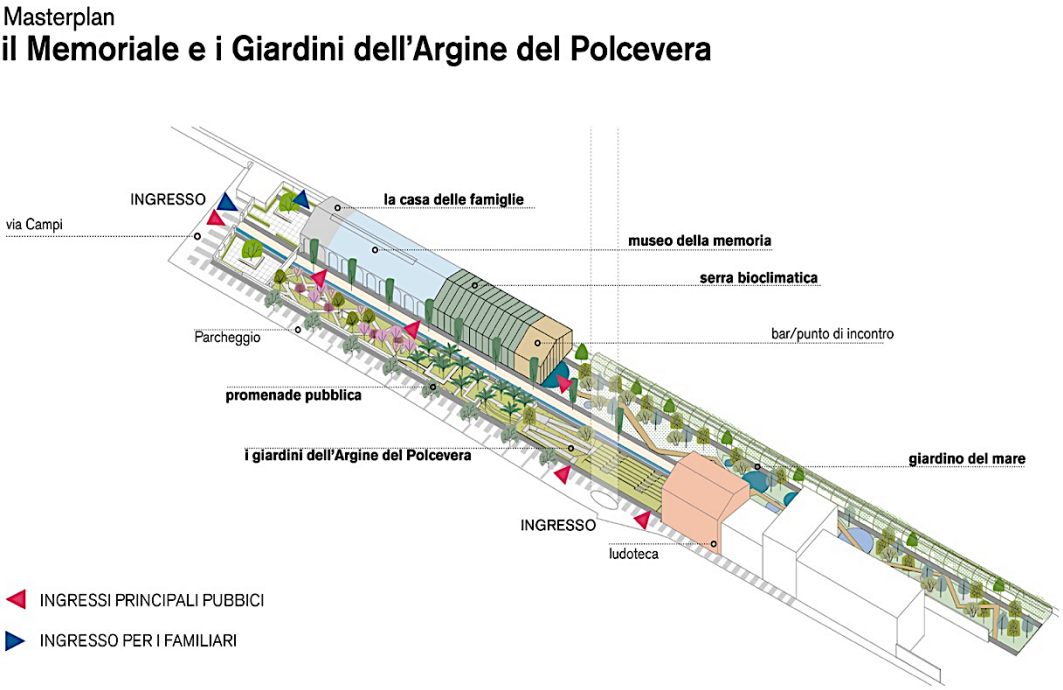


Figura 339 – Projeto do Memorial da Ponte San Giorgio.



Figura 340 - Projeto do Parque da Ponte San Giorgio. Fonte: Boeri Studio

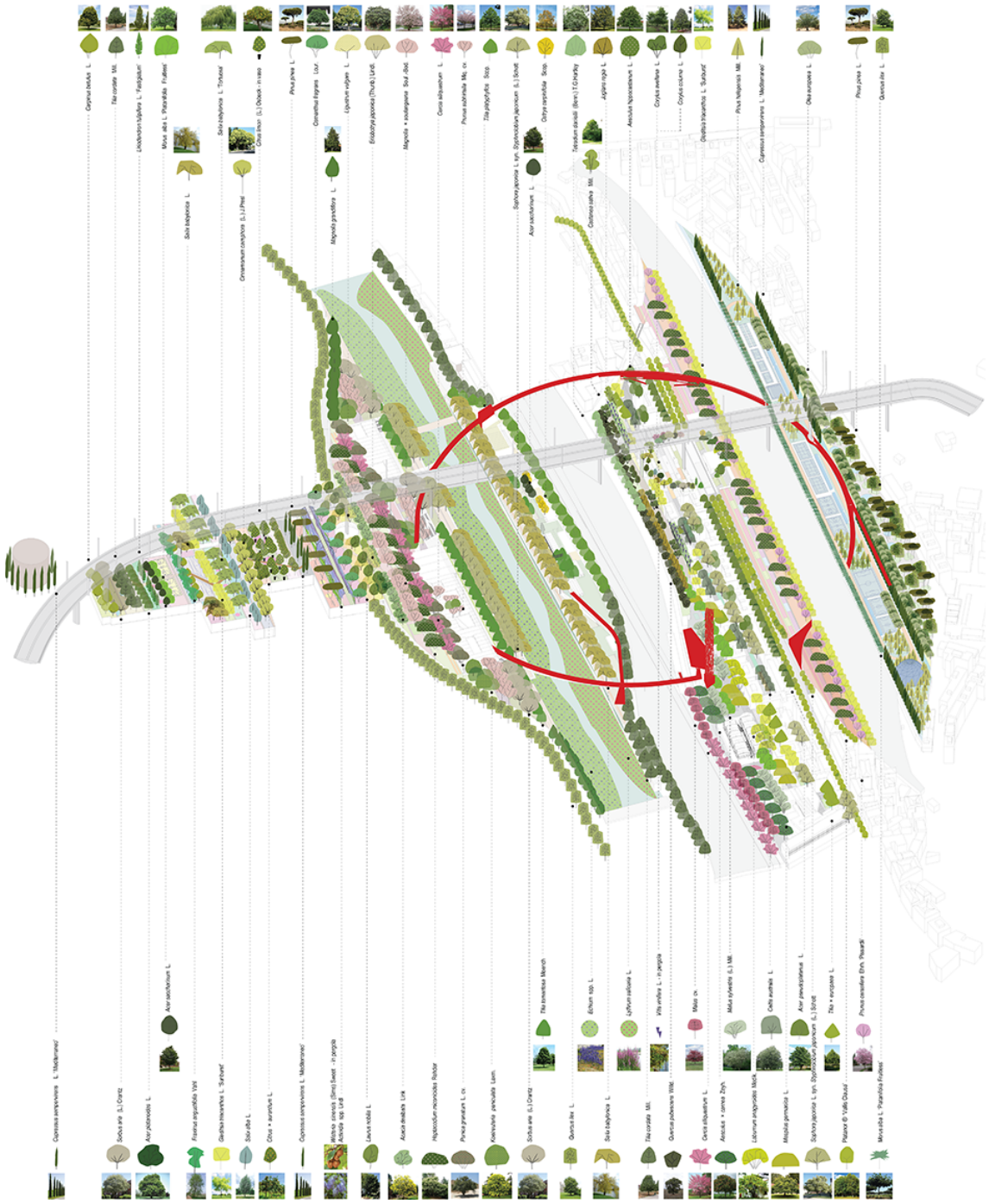
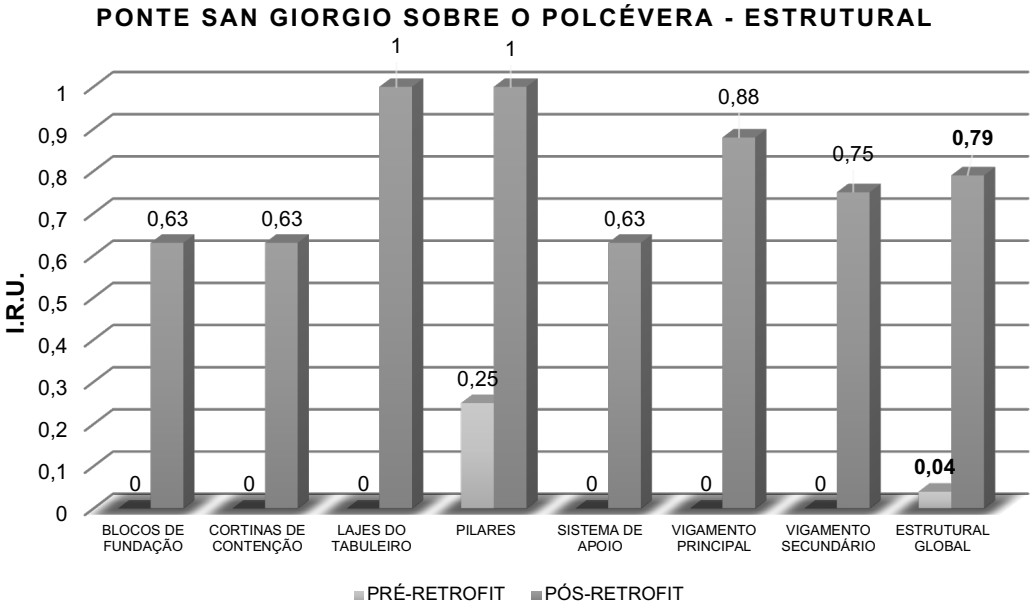
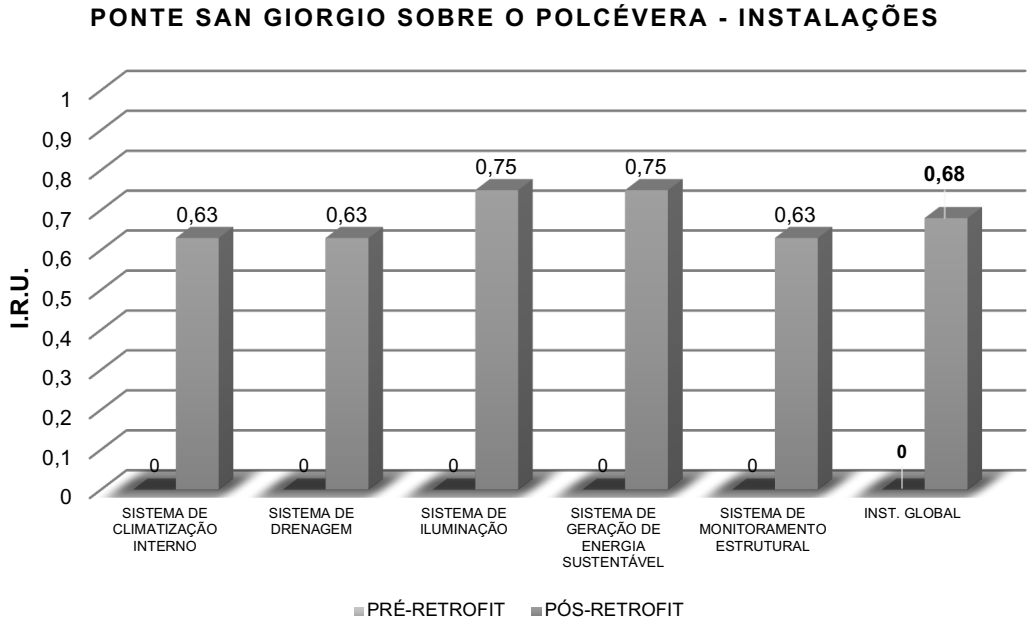


Figura 341 – Planimetria tridimensional do Parque da Ponte San Giorgio. Fonte: Boeri Studio

O sistema estrutural, resultou em um valor bastante satisfatório, 0,79, em contrapartida com os parâmetros registrados na antiga Ponte Morandi. O diagrama abaixo mostra as profundas diferenças entre os sub-elementos estruturais, mostrando os ganhos de acordo à escala do IRU.



Os diagramas referentes às *Instalações* e à *Implantação* mostram ganhos mais contidos em relação à antiga infraestrutura, registrando melhores dinâmicas para o panorama (das *Instalações*) logo abaixo.



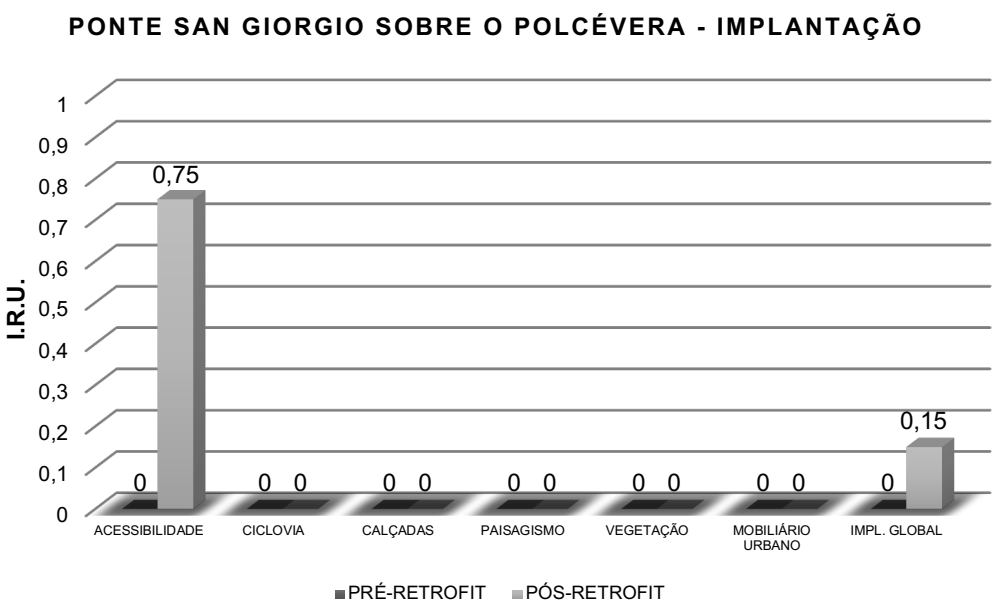
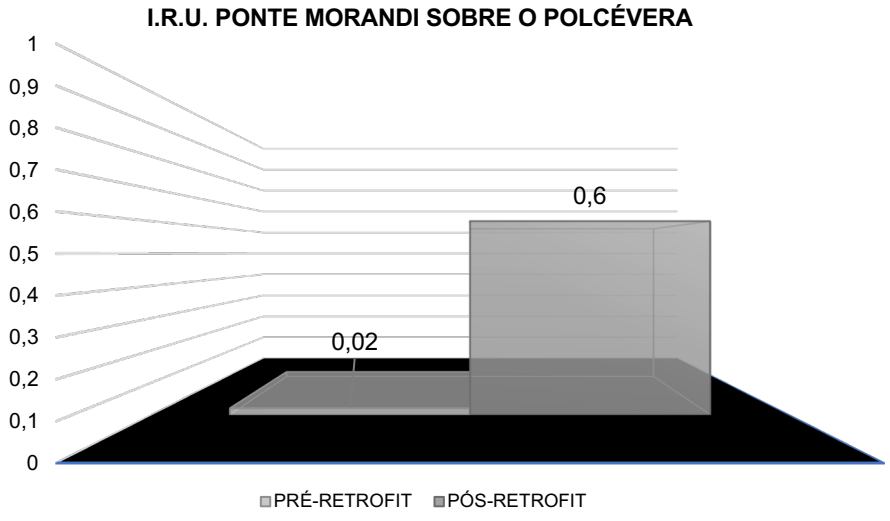


Figura 342 – Diagramas ESTRUTURAL, INSTALAÇÕES e IMPLANTAÇÃO, IRU – Ponte San Giorgio – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

O Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana da Ponte San Giorgio, quantificada em 0,6, foi qualificada como *Grau Médio*, de acordo com a classificação proposta. É possível notar que a vertente da *Implantação* resulta um obstáculo para a promoção dessa infraestrutura em uma categoria de grau maior, enquanto ainda não foi englobada a componente paisagística na realização dessa Obra de Arte Especial. Frente a isso, o potencial de aumento do IRU, após futura implantação paisagística prevista pelo projeto do Boeri Studio, representa um parâmetro importante para reaplicar a metodologia de uma forma mais objetiva.



IRU	CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES	COR
0,9 - 1	**GRAU MÁXIMO** - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO GLOBAL	ATENDE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,7 - 0,8	GRAU SUPERIOR - ESTADO DE REQUALIFICAÇÃO PARCIAL	ATENDE PARCIALMENTE A TODOS OS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS	
0,5 - 0,6	GRAU MÉDIO - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL E DE IMPLANTAÇÃO	
0,3 - 0,4	GRAU MÉDIO INFERIOR - ESTADO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL	ATENDE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0,1 - 0,2	GRAU INFERIOR - ESTADO DE CRITICIDADE ESTRUTURAL	ATENDE PARCIALMENTE AOS PARÂMETROS DOS INDICADORES PROPOSTOS PARA O SISTEMA ESTRUTURAL	
0	**GRAU MÍNIMO** - ESTADO DE OBSOLESCÊNCIA	NÃO ATENDE A NENHUM PARÂMETRO DOS INDICADORES PROPOSTOS	

Figura 343 – Diagrama comparativo IRU – Ponte Morandi vs Ponte San Giorgio – PRÉ- RETROFIT VS. PÓS-RETROFIT.

4.12 ÍNDICES COMPARATIVOS

Esse subcapítulo aborda uma análise comparativa das Obras de Arte Especiais do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Trevo de Triagem Norte e Ponte San Giorgio, resultante dos três Índices de Requalificação Urbana obtidos nos resultados apresentados.

A infraestrutura que obteve a maior pontuação, totalizando 0,67, foi o Viaduto rodoviário de Brasília. Entre os três estudos de caso, devemos salientar que o retrofit urbano Galeria dos Estados resultou em uma intervenção à nível estrutural e paisagístico, proporcionando o valor da acessibilidade global à população brasiliense. Devido também ao peso atribuído para as dimensões *Estrutural* e da *Implantação*, respectivamente 55% e 30%, o “score” do IRU do primeiro estudo de caso resultou extremamente aceitável, alcançando quase o *Grau entre Médio e Máximo* (0,7 – 0,8). A dimensão das *Instalações*, devido aos parâmetros e sub-elementos considerados, colecionou uma baixa pontuação se comparada com aquela da Ponte San Giorgio.

O IRU do parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte foi o índice que alcançou o menor resultando (0,56), permanecendo de qualquer forma na

mesma faixa classificatória das outras duas infraestruturas analisadas. Se tratando de um conjunto de Obras de Arte Especiais e não de uma infraestrutura isolada, o aspecto estrutural não se demonstrou tão impactante quanto para os outros dois modelos utilizados.

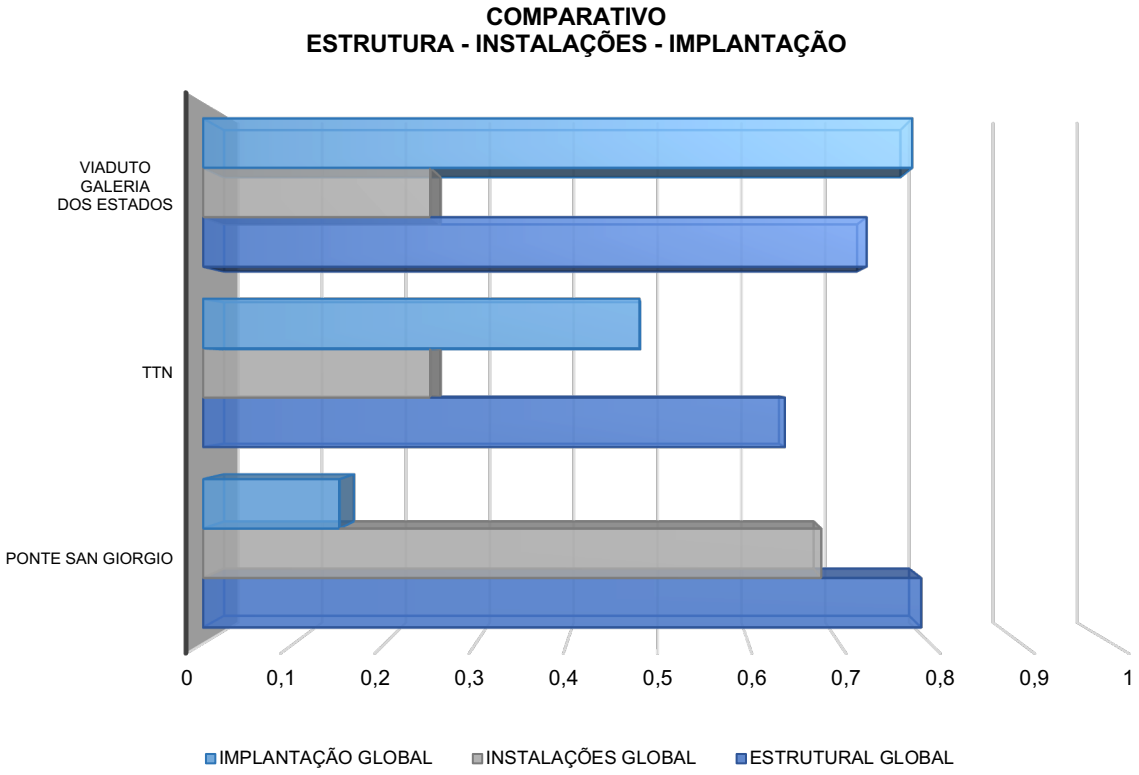
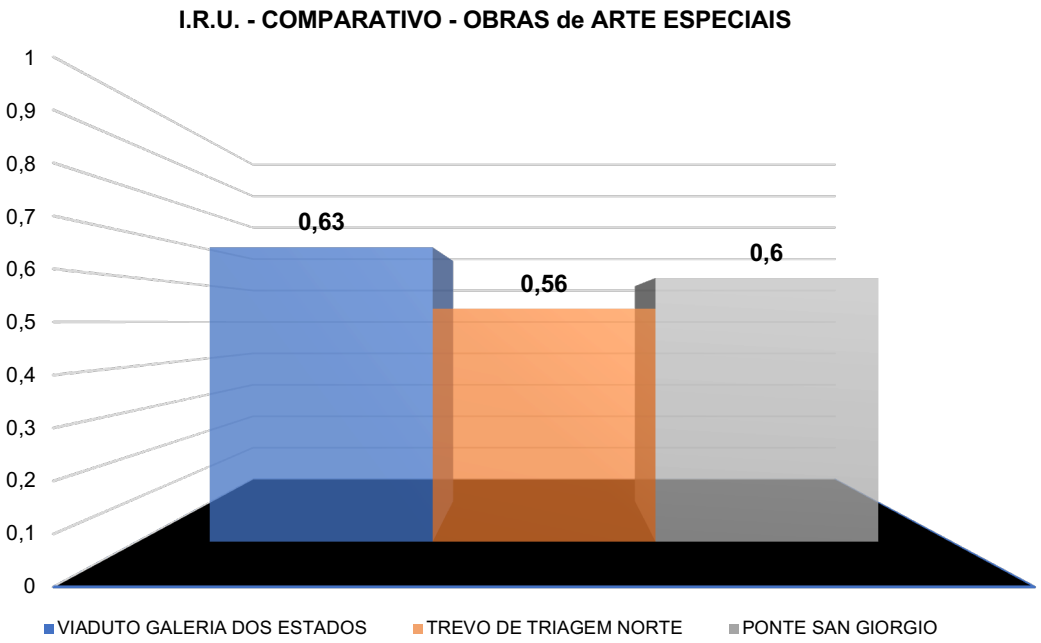


Figura 344 - Diagrama comparativo Estrutura, Instalações e Implantação – Viaduto sobre a Galeria dos Estados VS. Trevo de Triagem Norte VS. Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT.

No caso da Ponte San Giorgio, as dimensões *Estrutural* e das *Instalações* se demonstraram expressivas, alcançando valores elevados. Apenas o sistema Implantação não mostrou grandes resultados devido à avaliação atribuída e à presença, ainda marcante, de uma área industrial debaixo da infraestrutura. O Índice de Requalificação obtido pelo terceiro estudo de caso e apresentado juntamente aos outros nos diagramas a seguir, resultou em 0,6, na faixa classificatória de *Grau Médio*. Os diagramas comparativos elaborados, mostram de uma forma simples e direta os resultados obtidos a partir da comparação dos Índices de Requalificação Urbana das três infraestruturas propostas.



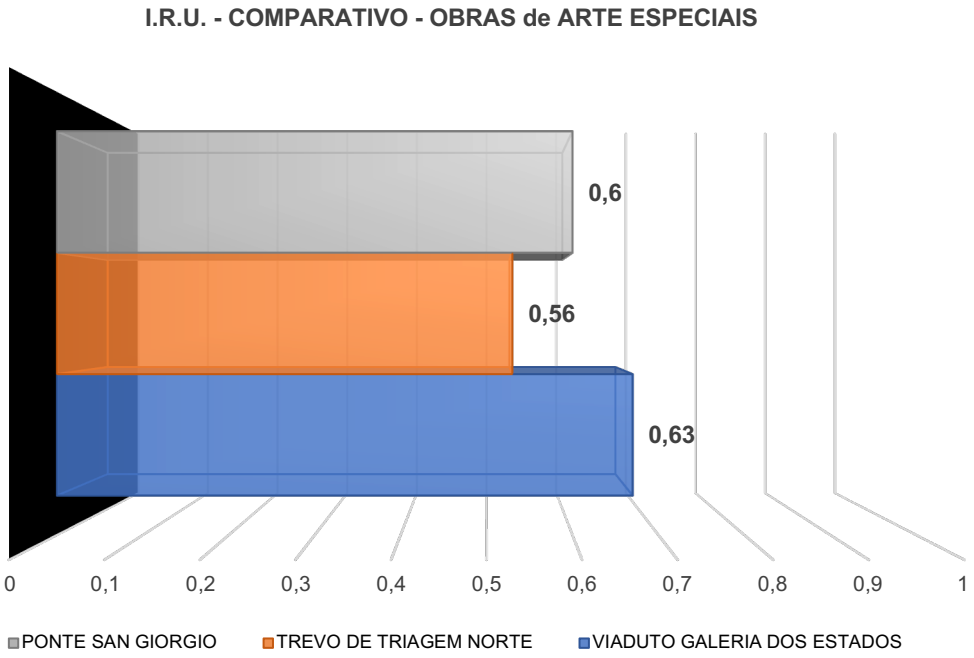


Figura 345 – Diagramas comparativos IRU – Viaduto sobre a Galeria dos Estados VS. Trevo de Triagem Norte VS. Ponte San Giorgio – PÓS-RETROFIT.

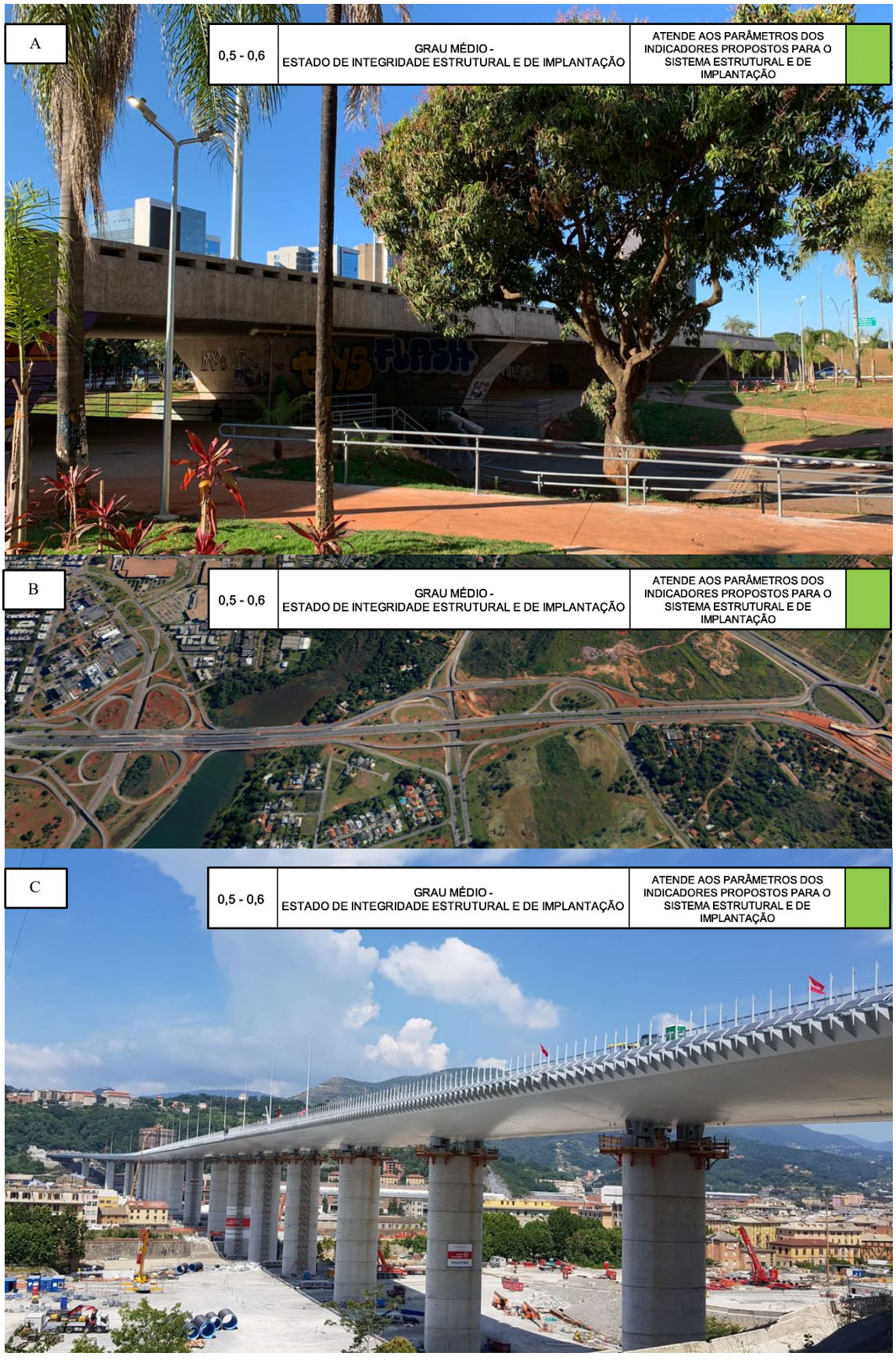


Figura 346 – A. Viaduto sobre a galeria dos Estados. B. Trevo de Triagem Norte. C. Ponte San Giorgio.



5. Epílogo

A conservação e reutilização do patrimônio arquitetônico das cidades requer o envolvimento de múltiplos atores, a partir do setor público / governamental, para fornecimento de recursos adequados para a preservação do mesmo, e da sociedade, dona inalienável das próprias raízes. O envolvimento deles é necessário não apenas para iniciar e implementar a requalificação urbana, mas também para dar suporte ao sítio cultural após a intervenção. Além disso, a refuncionalização dos espaços urbanos deve ser integrada, preferencialmente, às estratégias de desenvolvimento social, ambiental e econômicos, que incluem mecanismos de preservação da "*res publica"* e do melhor aproveitamento dos recursos financeiros. A ideia básica do livro foi construída a partir de uma citação da Jane Jacobs, a qual afirma:

"Ideias ultrapassadas podem às vezes usar novas edificações. Novas ideias devem usar antigas edificações".

Ideias inovadoras de qualquer tipo estão sempre em risco em sua fase de desenvolvimento, independentemente de seu sucesso final. Essas ideias sempre precisam de espaço para a experimentação: espaço para tentativas e também espaço para acertos e erros. Temos que considerar o patrimônio cultural tombado da infraestrutura urbana como um recurso para o futuro, a ser protegido, promovendo o desenvolvimento da sociedade, com particular atenção às crianças, jovens, idosos e pessoas com deficiência, garantindo a inclusão e integração social. A herança patrimonial da infraestrutura de um país, cria repercussões externas significativas a nível internacional em termos de imagem e atratividade não somente de turistas e visitantes, mas também de negócios e investimentos. A promoção e valorização do patrimônio cultural pode ser fundamental para a regeneração de áreas urbanas que enfrentam desafios como falta de atratividade e transição para a nova economia.

A da ponte, é uma das metáforas mais recorrentes e às vezes mais abusadas na comunicação e na literatura, porque lembra o que os homens aprenderam a construir para superar as barreiras impostas pela natureza. Mas a linguagem, os valores, as regras de convivência social, os vínculos no compromisso comum por uma justa causa podem ser considerados "*pontes"* entre os indivíduos.

O livro traz uma importante contribuição para o registro histórico das intervenções em Obras de Arte Especiais, raramente analisadas sob o viés da concepção arquitetônica e estrutural. A característica principal da função historiográfica, consiste em transmitir o conhecimento para as gerações futuras por meio de um registro documental e iconográfico, deixando um legado com a história da arquitetura e seu patrimônio material (tangível) e intangível.

Os estudos e as pesquisas sobre a infraestrutura urbana das OAE's são insuficientes para determinar um modelo determinístico que defina de forma absoluta a maneira de intervir no patrimônio construído, localizado em áreas de tombamento. O princípio que rege a construção da metodologia utilizada nesse texto, se baseia na criação e seleção de indicadores mais gerais que respondam à macro diretrizes, neste caso as dimensões propostas, sendo a *Estrutural*, das *Instalações* e *Implantação*. O campo de análise pode ser ampliado, adicionando novos sub-elementos. Através dos indicadores que, em conjunto, formam o Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana - IRU, utilizado para avaliação das intervenções de retrofit nas cidades contemporâneas, almeja-se auxiliar os profissionais e a sociedade na medição qualitativa das melhorias implementadas pós revitalização urbana. A metodologia proposta, mostra diversas potencialidades e limitações relativas à sua aplicabilidade, atendendo de forma exaustiva o objetivo geral deste livro.

Entre as potencialidades encontradas, deve-se salientar a flexibilidade que o IRU apresentou para os diversos estudos de caso propostos. Para os modelos do novo Viaduto sobre a Galeria dos Estados e da Ponte San Giorgio, a aplicação da metodologia se demonstrou direta e adequada para a Obra de Arte Especial individual, realçando uma certa eficácia na avaliação qualitativa das três macros dimensões sugeridas. Da mesma forma que a vertente das *Instalações* penalizou muito o resultado obtido pela intervenção de retrofit urbano em Brasília, a *Implantação*, reduziu a nota IRU da ponte em Génova, sugerindo uma readequação da calibragem dos pesos empregados para a composição do Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana. Para o caso específico do parque rodoviário do Trevo de Triagem Norte, em Brasília, foram encontradas algumas dificuldades em relação à aplicação da metodologia proposta, devido ao fato que o TTN é constituído por 15 Obras de Arte Especiais entre pontes e viadutos. Portanto, o raciocínio utilizado para aplicação do IRU englobou todas

as características estruturais, das instalações e de implantação do conjunto infraestrutural, atribuindo uma única nota para a intervenção de retrofit.

O retrofit urbano é considerado uma intervenção no ambiente construído que serve para requalificar e dar uma nova função para determinadas áreas históricas ou tombadas que necessitam de uma resposta eficiente para o problema que envolve a cidade. Contudo, as cartas patrimoniais elaboradas ao longo dos séculos XX- XXI e os instrumentos de preservação do patrimônio como o tombamento ou a prescrição da cartilha de intervenção nas cidades históricas elaborado pelo IPHAN, não parecem ser suficientes para gerenciar as diretrizes de conservação ou manutenção de uma determinada obra de arte e seu imediato entorno. O retrofit urbano, por sua vez, abrange multíplices aspectos que oscilam de questões estruturais até de paisagismo e vivência dos usuários da área.

O caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados demostra que a preservação da escala Gregária e do formato geométrico do principal elemento estrutural em “asa delta”, o pilar, idealizado pelo arquiteto Lucio Costa, junto à rápida resposta à sociedade e ao aumento da durabilidade e segurança da infraestrutura, respeitando as normativas vigentes, participaram para que as intervenções de retrofit em Brasília propiciassem uma resposta menos onerosa, do ponto de vista orçamentário, para a sociedade brasiliense.

O Projeto do Trevo de Triagem Norte previu a readequação da capacidade de tráfego das rodovias da saída norte de Brasília, proporcionando inúmeros benefícios para a população do Plano Piloto quais o retrofit estrutural da histórica Ponte do Braghetto, a eliminação dos pontos de conflito entre os sistemas infraestruturais de energia e abastecimento de água, duplicação da capacidade de tráfego entre o final da Asa Norte e o balão do Torto, triagem do tráfego e acessos diretos às vias L4 Norte – Lago Norte e W3 Norte – Saída Norte. O TTN, mostra o compromisso ideal entre a preservação do patrimônio existente, a tomada das decisões que caracterizam a obra do parque rodoviário e o desenvolvimento social propiciado pela intervenção urbanística dentro de uma cidade tombada, patrimônio inalienável da humanidade.

Averiguando o terceiro caso de estudo adotado, podemos apontar para o fato que, se, a Ponte Morandi visava celebrar o modelo de desenvolvimento a ser perseguido na industrialização, garantindo prosperidade e bem-estar à cidade e a todo o país, a Ponte San Giorgio procura esses motivos em um

modelo muito diferente. A ideia do novo projeto, que parte da consciência do fracasso daquele modelo que tinha caracterizado as duas revoluções industriais das quais, na Itália, a cidade de Gênova foi uma das três protagonistas, identifica o desenvolvimento sustentável como o princípio norteador a ser perseguido e representado. Esta escolha de valor é evidente por ter concebido o novo viaduto como uma máquina energeticamente autossuficiente, aspecto que se pressupõe ser um elemento simbólico deste modelo de desenvolvimento. O desafio às leis da estática e à natureza, que na Ponte Morandi encontraram expressão não apenas nos vãos centrais (a luz central era de aproximadamente 210 metros) mas também no funcionamento estático do mastro, deixa o seu lugar para o uso de fontes renováveis de energia como modalidade através da qual atender às necessidades elétricas relacionadas ao funcionamento do novo viaduto. Basicamente, se no primeiro caso o desafio à natureza constituía o instrumento pelo qual foi transmitido o valor norteador da primazia do desenvolvimento industrial, no segundo a harmonia e equilíbrio com a natureza torna-se o meio pelo qual lembrar a necessidade e urgência em buscar um modelo de desenvolvimento sustentável e testemunhar a escolha feita para a cidade de Génova neste sentido. A arquitetura contemporânea muitas vezes atinge a capacidade de se encaixar em um contexto histórico sem aguçar as dissonâncias linguísticas, ao contrário do que aconteceu nas últimas décadas, quando um certo grau de contestação do passado foi uma comprovação necessária da modernidade.

Referências bibliográficas



ABBAGNANO, Nicolas. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: Editora Mestre Jou, 2007.

ABCHICHE, L. **A relação do marketing territorial e plano diretor urbano; a questão do legado urbano do projeto Porto Maravilha no Rio de janeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto.** Primeira edição: 31/03/2003, Versão corrigida: 31/03/2004. Válida a partir de 30/03/2004. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 6892:2012 - Materiais metálicos - Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7187:2020 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 7188:2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 7680-1:2015 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 9050:2015 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, p. 162. 2015.

_____. NBR 15575:2013 - Partes 1-6: Edificações Habitacionais – Desempenho: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR ISO 37120:2017 - Desenvolvimento sustentável de comunidades – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro, 2017a.

_____. NBR ISO 37100:2017 - Desenvolvimento sustentável de comunidades – Vocabulário. Rio de Janeiro, 2017b.

_____. NBR ISO 37101:2017 - Desenvolvimento sustentável de comunidades – Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2017c.

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de. **Notas de Aula das disciplinas de Pontes I e II**, Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói – RJ, 1986.

ALVES, L. **A construção de Brasília: uma contradição entre utopia e realidade.** Revista de História da Arte e Arquitetura. Campinas: Programa de Pós-Graduação do Departamento de História. UNICAMP, 2005.

ALVES, L. **Patrimónios e territórios classificados: da conservação à valorização turística.** Revista Turydes: Turismo y Desarrollo, n. 28, 2020.

ASSUNÇÃO, M. A. SORRATINI, J. A. **Cálculo e análise de indicadores de mobilidade urbana: o caso de Uberlândia, MG**. Publicado em: XXVI ANPET, Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. 2012.

AVRAMI, Erica. MASON, Randall. **Heritage Values and Challenges of Conservation Planning**. TEUTONICO, Marie. PALUMBO, Gaetano. **Management Planning for Archeological Sites**. Los Angeles: The Getty Conservation Institute – GCI, 2000.

BARRIENTOS, M. G. G. **Adaptação das Edificações Antigas às Necessidades Atuais**. Dissertação de Mestrado. FAU/PROARQ. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, A. P. **Estudo exploratório da Sintaxe Espacial como ferramenta de alocação de tráfego**. Dissertação de Mestrado. PPGT-UnB, 2006.

BILLINGTON, D. P. **The tower and the bridge: the new art of structural engineering**. Universidade de Princeton, Princeton, 1983.

BISPO, Alba Nélida de Mendonça. **Dos processos de valoração do patrimônio moderno às práticas de conservação em Brasília: o caso do restauro do Palácio do Planalto**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 2014.

BRAGA, A.C. e FALCÃO, F.A.R. **Guia de Urbanismo, Arquitetura e Arte de Brasília.** Fundação Athos Bulcão, 1997.

BRANDI, Cesare. **Teoria do Restauro**. Tradução e revisão técnica do italiano por C. Prats, J.D. Rodrigues, J. Aguiar & N. Proença da edição de 1977, Edições Orion, Amadora, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.379, de 06 de janeiro de 2011**. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação - SNV e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12379.htm.

BRASÍLIA. **Decreto nº 10.829, de 14 de outubro de 1987. Regulamenta o art. 38 da Lei n° 3.751, de 13 de abril de 1960, no que se refere à preservação da concepção urbanística de Brasília. [S. l.]**, 14 out. 1987. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/15139/exec_dec_10829_1987_rep.html. Acesso em 3 ago. 2020.

CARPINTERO, A., **Brasília, patrimônio de quem?** Publicado em: FERNANDES, Edésio & ALFONSÍN, Betânia; (coordenadores). 2010. Revisitando o instituto do tombamento, Belo Horizonte-MG, Editora Fórum. pp. 341.

CARRIERI, R. **Estruturas: a resistência pela forma, à luz da produção contemporânea.** Livro, Universidade de São Paulo. São Paulo: 2007.

CASCO A., **Reinventando a cidade. Um diálogo entre Marco Polo e o Imperador.** Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, n.29, 2001. IPHAN, Brasília.

CASTRO, A. **Notas Sobre as Inovações da Portaria nº 166/2016-IPHAN para a Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília**. Brasília: IPHAN, 2017.

CAVALCANTE, Gustavo Henrique Ferreira. **Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento**. Editora Edgar Blücher Ltda., ISBN: 978 -85-212-1861-6. São Paulo, 2019.

CHEN, W. DUAN, L. **Bridge Engineering Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

CHOAY, A. **Alegoria do Patrimônio**. Tradução Luciano Vieira Machado. São Paulo, Estação Liberdade / Ed. Unesp, 2001.

COMTE SPOONVILLE, André. **Dicionário Filosófico**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

COMTE SPOONVILLE, André. **Pequeno tratado das grandes virtudes**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

COSTA, L. **A Obra de Oscar Niemeyer**, prefácio ao livro de Stamo Papadaki, The Work of Oscar Niemeyer, texto republicado em A. Xavier (org.), Lúcio Costa: Sobre Arquitetura, 1950.

COSTA, Lucio. **Relatório do Plano Piloto de Brasília**. In Brasília, Cidade que inventei. 3. Ed. Brasília, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), 2014. 140p.

COSTA, M. S. **Mobilidade Urbana Sustentável: Um Estudo Comparativo e as Bases de um Sistema de Gestão para Brasil e Portugal**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP., 2003.

CUNHA, Claudia dos Reis e. **A atualidade do pensamento de Cesare Brandi.** Resenhas Online, São Paulo, ano 03, n. 032.03, Vitruvius, ago. 2004.

CURTIS, W. J. R. **L' architettura moderna dal 1900**. Editora Phaidon. Oxford, 2006.

D'AYALA D. SPENCE, R. OLIVEIRA, C.S. POMONIS, A. **Earthquake Loss Estimation for Europe's Historic Town Centres**. Earthq Spectra 13(4):773–793. EERI. doi:10.1193/1.1585980. 1997

DE MATTEIS, G. BENCIVENGA, P. ZIZI, M. DEL PRETE, A. **Rischio strutturale di ponti esistenti: considerazioni preliminari sullo scenario in provincia di Caserta.** In Conference: XVIII CONVEGNO ANIDIS - L' Ingegneria Sismica in Italia. Setembro, 2019.

DE MIRANDA, F. **I ponti strallati di grande luce**. Edizioni Scientifiche A. Cremonese. Roma, 1980.

DER/DF. **Relatório técnico - Proposta de recuperação do Viaduto sobre a Galeria dos Estados**. Brasília, 2018.

DISTRITO FEDERAL. **Decreto nº 10.829, de 14 de outubro de 1987**. Regulamenta o art. 38 da Lei nº 3.751, de 13 de abril de 1960, no que se refere à preservação da concepção urbanística de Brasília. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, ano 12, n. 194, 14 out. 1987. Suplemento. Disponível em: http://www.tc.df.gov.br/SINJ/DetalhesDeNorma.aspx?id_norma=15139.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. 159p. (IPR. Publicação, 744). Rio de Janeiro, 2004.
DUARTE, Fábio. **Planejamento Urbano**. Ed. Curitiba: InterSaberes, 2012.

EAMES, M. DIXON, T. HUNT, M. LANNON, S. **Retrofitting cities for tomorrow's world**. John Wiley e Sons. 2018.

FERREIRA, O. L. **Patrimônio cultural e acessibilidade: as intervenções do Programa Monumenta, de 2000 a 2005.** 2011. 321 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação, 2011.

FERREIRA, T. M. VICENTE, R. MENDES, J. A. R. da S. VARUM, H. COSTA, A. **Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: case study of the old city centre in Seixal, Portugal**. In: Bull Earthquake Eng. DOI 10.1007/s10518-013-9447-2. 2013

FIORI, Sibele. **Indicadores urbanos: Avaliação, Adequação e Aplicação em Passo Fundo – RS / BRASIL**. Dissertação de mestrado, UFSC. Florianópolis, 2006.

FONSECA, Roger Pamponet da. **A ponte de Oscar Niemeyer em Brasília: construção, forma e função estrutural**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

FORMISANO, A. e MILANI, G. **Seismic Vulnerability Analysis and Retrofitting of the SS. Rosario Church Bell Tower in Finale Emilia (Modena, Italy)**. In: Built Environment. DOI: 10.3389/fbuil.2019.00070. 2019.

FREIRE, R. A. **Infraestrutura urbana**. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, 2017.

FRISCHTAK, C. R. **O Investimento em Infraestrutura no Brasil: Histórico Recente e Perspectivas**. In: Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 38, n. 2, p. 307-348. 2009.

GALIMI, S. BUZAR, M. A. R. A. PANTOJA, J. C. da. NAILI, L. T. **Conservação do patrimônio moderno através das práticas de retrofit na infraestrutura urbana de Brasília**. 2020

GALIMI, S., CAMANHO C. **Methodology of identification and inspection of pathologies in residential multi-story buildings: a case study**. In: XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto, 2016.

GALIMI, S.; PANTOJA, J.; BUZAR, M.; SANTOS MACHADO, P. R. **Retrofit em obras tombadas de infraestrutura urbana: o caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.** Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 26, p. 140-156, 28 maio 2020.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

GHENO, P. Z. **Indicador de desempenho urbano: metodologia e perspectiva de integração**. Dissertação de Mestrado. Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

GIEDION, S. **Espaço, tempo e arquitetura. O desenvolvimento de uma nova tradição**. Martins Fontes. São Paulo, 2004.

GONÇALVES, J. C. S. DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. In: Ambiente construído, v.6, n.4, p. 51-81, 2006.

HOLANDA, F. **O espaço de exceção**. Brasília: EDUnB, 2002.

ICOMOS. Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios. **Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural**. Paris: UNESCO/ICOMOS, 1972.

INOJOSA, Leonardo da Silveira Pirillo. **O protagonismo da estrutura na concepção da arquitetura moderna brasileira**. Livro em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2019

INOJOSA, Leonardo da Silveira Pirillo. **O Sistema Estrutural na Obra de Oscar Niemeyer.** Dissertação de Mestrado submetida à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Tecnologia. Brasília, 2010.

IPHAN - INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (Brasil). **Cartilha Plano de Ação para Cidades Históricas**. Ago. 2009. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Cartilha%20-%20Planos%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20para%20Cidades%20Hist%C3%B3ricas.pdf

_____. **Lista dos bens tombados**. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Lista%20Bens%20Tombados%20. Acesso em: ago. 2020.

_____. **Patrimônio em transformação: atualidades e permanências na preservação de bens culturais em Brasília** / Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Superintendência do IPHAN no Distrito Federal; organização Sandra Bernardes Ribeiro e Thiago Perpétuo; textos, Ana Elisabete Medeiros et al. - Brasília-DF, 2016. 209 p.

_____. **Portaria nº 166, de 11 de maio de 2016**. Estabelece a complementação e o detalhamento da Portaria nº 314/1992 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF, ano 153, n. 91, 13 maio 2016. Seção 1, p. 31. Disponível em:<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Portaria_n_166_de_11_de_maio_de_2016_.pdf>.

JAPIASSÚ, Pammila. **Método para avaliação de retrofit energético em edificações históricas brasileiras**. 2019.

JOKILEHTO, J. **Considerations on authenticity and integrity in World Heritage context.** In: City & Times, Volume. 2, N. 1, 2006.
JSCE, Working Group on Retrofit Design of Concrete Structure in Specification Revision Committee. **GUIDELINES FOR RETROFIT OF CONCRETE STRUCTURE**. In: Concrete Library, n. 95, September, 1999.

KOHLSDORF, G. KOHLSDORF, M. E. **Ensaio sobre o desempenho morfológico dos lugares**. Brasília: FRBH, 2017. (ISBN: 978-85-64222-09-0)

LACERDA, Norma. **Valores dos bens patrimoniais**. In: LACERDA, Norma; ZANCHETI, Sílvio (Org.). Gestão da conservação urbana: conceitos e métodos. Olinda: CECI, 2012.

LEVY, M. P. **The Arch: Born in the Sewer, Raised to the Heavens**. In: Nexus Network Journal, vól. 8, p. 7-12, 2006.
Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00004-006-0014-x.pdf.

LIRA, F. **Patrimônio cultura e autenticidade: montagem de um sistema de indicadores para seu monitoramento**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010.

LOUETTE, A. **Indicadores de Nações: uma Contribuição ao Diálogo da Sustentabilidade.** 1ª ed. São Paulo, SP, Brasil: WHH – Willis Harman House, 2007.

LÜTZKENDORF, T. BALOUKTSI, M. **Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information**. Procedia Environmental Sciences, v. 38, p. 546-553, 2017.

MACDONALD, S. et al. **Conservation of modern architecture**. Ed. Donhead, Shaftesbury, UK, 2007.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

MASCARÓ, J. L. YOSHINAGA, M. **Infraestrutura Urbana**. Editora 4. Porto Alegre, 2005.

MARKER, A. **Manual: Revitalização de áreas degradadas e contaminadas (brownfields) na América Latina**. São Paulo: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade / Secretariado para América do Sul (SAMS), 2013.

MAZARIM, D. M. **Histórico das pontes estaiadas e sua aplicação no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2011.

MEDEIROS, A. E. FERREIRA, O. L. **A Preservação do Conjunto Arquitetônico do antigo HJKO em debate**. Em: Patrimônio em transformação: Atualidades e permanências na preservação de bens culturais em Brasília. Brasília. 2016.

MEDEIROS, V. **Urbis Brasiliae**. Brasília: EDUnB, 2013.

MINISTRY OF URBAN DEVELOPMENT. **The Seismic Retrofitting Guidelines of Buildings in Nepal**. Kathmandu, 2016.

MIRANDA, A. B. **Sistema Urbano de Água e Esgoto: Princípios e Indicadores de Sustentabilidade**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, SP, 2003.
MORACI, F. **Infrastrutture, territori e riforme. Risposte necessarie e strategie future**. In: TECHNE 11, V.11, 2016.

MORAES, V. T. F. QUELHAS, O. L. G. **O desenvolvimento da metodologia e os processos de um "retrofit" arquitetônico**. Brasília: Sistema e gestão. Rio de Janeiro, 2012.

MUMFORD, Lewis. **The city in history: its origins, its transformations, and its prospects**. V. 67. In: Houghton Mifflin Harcourt. Boston, 1961.

MUSMECI, S. **Perché a Potenza**. Quaderno monografico del consorzio per l'area industriale, em "L'opera d'arte di Potenza. Il ponte di Sergio Musmeci", 1974.

NEGREIROS, I. **Retrofit Urbano: uma abordagem para apoio de tomada de decisão.** Livro. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2018.

NERVI, Pier Luigi. **Aesthetics and Technology in Building**. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1965.
NERVI, Pier Luigi. **I problemi dell'architetto**. In: Casabella, V. VI, n.5, pag. 34. 1933.

NERVI, Pier Luigi. **Scienza o Arte del costruire?** Ed. della Bussola. Roma, 1945.

NEWTON, P. W. **Regenerating Cities: Technological and Design Innovation for Australian Suburbs**. In: Building Research & Information, v. 41, n. 5, p. 575-588, out. 2013.

NIENOW, Fabio. NASCIMENTO, Renato. **Uma obra complexa**. In: Diário Catarinense. 2010.

OLIVEIRA, M. **Construída na Linha do Horizonte: Brasília, o Plano Piloto e a Manipulação do Chão.** Brasília: IPHAN, 2017.
PANERAI, Philippe. **Análise Urbana**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

PEIXOTO, Paulo. **O património mundial como fundamento de uma comunidade humana e como recurso das indústrias culturais urbanas**. 2000. Disponível em: www.ces.uc.pt/publicacoes/oficina/ficheiros/155.pdf

PERPÉTUO, T. **Revisitando o Processo de Tombamento de Brasília: uma Contribuição Historiográfica para Novas Interpretações do Objeto Protegido.** Brasília: IPHAN, 2017.

PESSOA, D. F. **A Estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégias para Manutenção.** Dissertação de Mestrado, ENC, UnB. Brasília, 2003.

PEVSNER, et al. **Dizionario di architettura**. Ed. Einaudi. Turim, 1992.
PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. In: Livros Técnicos e Científicos. Editora S/A. Rio de Janeiro, 1979.

PUPPI, I.C. **Estruturação urbana das cidades**. Universidade Federal do Paraná/São Paulo, CETESB. Curitiba, 1988.

QUADRI, Gabriel. **Politicas Ambientais para uma Cidade Sustentável**. In: Eduardo Alva (Editor) Metrópoles (In) Sustentáveis. Relume Dumará. Rio de Janeiro, 1997.

REBELLO, Y. C. P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. Zigurate, 2000, São Paulo.

REIS, C. **Conjunto Urbanístico de Brasília: da Preservação e Outros Demônios**. Brasília: IPHAN, 2017.

RELATÓRIO TÉCNICO – Dept. ENC/UnB 001. Brasília, 26.02.2018.
RELATÓRIO TÉCNICO – NOVACAP - Grupo de trabalho conforme Decreto n. 38.841 de 06.02.2018. Brasília, 2018.

RIBAS, O. BEZERRA, M.C. **Políticas de preservação e desenvolvimento urbano no brasil: dicotomias e similaridades conceituais**. In: Desafios conceituais da preservação urbana no Brasil. OCULUM ENSAIOS 15. Campinas, 2012.

RIBAS, O. BEZERRA, M.C. **Sobre as lógicas que fundamentam a promoção do desenvolvimento urbano e a preservação do patrimônio histórico cultural**. Brasília: Instituto dos Arquitetos do Brasil, 2005.

RIBEIRO, C., LIRA, F. **Autenticidade, Integridade e Significância Cultural. In: Plano de Gestão da Conservação Urbana: Conceitos e Métodos** / Norma Lacerda e Sílvio Mendes Zancheti / Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada, 2012.

RIEGL, Aloïs. **Le culte moderne des monuments. Son essence et sa genèse**. Tradução Daniel Wieczorek. Paris, Seuil, 1984.

ROLNIK, Raquel. **O que é cidade?** Editora Brasiliense S.A. São Paulo, 1988.

ROMERO, M. A. **Frentes do urbano para a construção de indicadores de sustentabilidade intra-urbana.** In: PARANOÁ: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo / Revista do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da FAU – UnB. Ano 6, n. 4, Brasília: FAU / UnB. 2007.

RUSKIN, J. **The seven lamps of architecture.** Londres: J.M Dent &Sons Ltd., 1921.

SÁNCHEZ, J M. M. **Evolução da Forma Estrutural** – Notas de Aula, 2010.

SANDSTRÖM, S. **Green infrastructure planning in urban Sweden.** In Planning Practice and Research, Vol. 17, pp. 373-385. 2002.
SANTOS, M. **Da Totalidade ao Lugar**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
SCHLEE, A. **O Mall dos Brasileiros**. Brasília: IPHAN, 2017.

SILVA, E. G. **Os Palácios Originais de Brasília**. Livro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2012.

SILVA, G. J. A. ROMERO, M. A. B. **O urbanismo sustentável no Brasil: a revisão de conceitos urbanos para o séc. XXI.** In: Revista Arquitextos, ano 11, fev. 2011.
SILVA, G. J. A. FARIAS, S. F. ROMERO, M. A. B. **Urbanismo Sustentável: A construção de indicadores para avaliação da qualidade do espaço urbano no Distrito Federal, Brasil.** Livro. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SOUZA, T. C. de. **Retrofit e a revitalização de centros urbanos: estudo de caso: reabilitação do Ed. Tupis.** Monografia de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2011.

STUCCHI, F. R., 2006. **Pontes e grandes estruturas (Notas de aula).** Departamento de estruturas e fundações, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

SUSSEKIND, José Carlos. **Curso de análise estrutural**. Volume I. Editora Globo, 6ª edição, Porto Alegre, 1987.

TONIAS, D. E. ZHAO, J. J. **Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges**. Ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2007.

TORROJA, M. E. **Razón y Ser de los Tipos Estructurales**. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid, Spain, 1957.

TRINIDADE, Carlos Jorge da Silva Rente. **Análise estática e dinâmica geometricamente não linear de estruturas atirantadas**. Dissertação (Mestrado). Porto: Universidade do Porto, 1994.

UEDA, T. SHIMOMURA, T. **Guidelines for Retrofit of Concrete Structure – Draft**. JSCE, 1999.

UNESCO. **Operational Guidelines for the implementation of the World Heritage Convention**. Paris: World Heritage Centre. 2005.

VALE, M. S. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações: segundo o conceito da qualidade e sobre ótica do Retrofit**. UFRJ/FAU. Rio de Janeiro, 2006.

VALERIANO ALVES, R. **Notas de aula de Pontes I**. Departamento de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

VALERIANO ALVES, R. **Pontes**. In: Oficina de Textos - 1ª Edição. ISBN: 9786586235173. 2021.

VAN UFFELEN, C. **Masterpieces: Bridge Architecture + Design.** Ed. Braun. ISBN 978-3-03768-025-4. 2009.

VARUM, H. S. A. **Avaliação, reparação e reforço sísmico de edifícios existentes.** Livro, Universidade de Aveiro, Secção Autónoma de Engenharia Civil. 2003

VASCONCELOS, A. C. **Pontes Brasileiras. Viadutos e Passarelas notáveis.** Editora Pini Ltda. São Paulo, 1993.

VÁZQUEZ RAMOS, F. G. **La actitud creativa en Mies van der Rohe: tesis sobre las interpretaciones del pasado en la modernidad**. Livro em Arquitetura – Escola Técnica Superior de Arquitetura de Madrid, Universidade Politécnica de Madrid, Madrid, 1993.

VERONES, S. RINALDI, A. REBECCHI, S. ***Retrofit e rigenerazione urbana – Il progetto EPOurban***. In: Edicom. Monfalcone, 2014.

VITÓRIO, J. A. P. **Um Estudo Comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos**. Livro, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Porto, 2013.

VITÓRIO, J. A. P. **Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos Rodoviários**. In: Seminário Pernambucano de Estruturas de Fundações. Recife, 2014.

ZANCHETI, S., LAPA, T. **Conservação Integrada: Evolução Conceitual. In: Plano de Gestão da Conservação Urbana: Conceitos e Métodos** / Norma Lacerda e Sílvio Mendes Zancheti / Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada, 2012.

ZANON B., VERONES S. **Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools**. In: Land Use Policy, vol. 32, pp. 343-355. 2013.

ZMITROWICZ, W. **Infraestrutura urbana**. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo, 1997.

FICHA DAS FOTOGRAFIAS – Capa / Contracapa / Introdução / Capítulos

CAPA – p.1

GOLDEN GATE BRIDGE, San Francisco, California. 1933. Eng. Joseph Strauss. Fonte: http://www.projectrich.com/gallery - Autor: Rich Niewiroski Jr.

CONTRACAPA – p. 416

GOLDEN GATE BRIDGE, San Francisco, California. 1933. Eng. Joseph Strauss. Autor: Joseph Barrientos.

INTRODUÇÃO – p. 22

PONTE PRINCIPESSA ISABELLA, Turim, Itália. 1876 – 1880. Arq. Ernesto Ghiotti. Foto: Atlante di Torino.

CAPÍTULO 1 – PONTES E VIADUTOS – p. 28

HONG KONG – ZHUHAI – MACAU BRIDGE, Pearl River Bay, China. 2018. ARUP. Foto: Evocation Images/Shutterstock

CAPÍTULO 2 – RETROFIT DA INFRAESTRUTURA URBANA: PRÁTICAS ARQ. – p. 90

PONT DU GARD[20], Nîmes, França. 50 d.C., arq. desconhecido. Foto: pontdugard.fr

CAPÍTULO 3 – ÍNDICE DE REQUALIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA URBANA – p. 127

GOLDEN GATE BRIDGE, San Francisco, California. 1933. Eng. Joseph Strauss. Foto: San Francisco Examiner Editorial, March 24, 1925.

CAPITULO 4 – MODELOS ESTRUTURAIS E ARQUITETÔNICOS – p. 136

ARCO OLÍMPICO, Turim, Itália. 2006. Camerana&Partners. Foto: HDA Paris

CAPÍTULO 4.1 - VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS, Brasília – DF – p. 139

VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS, Brasília, Brasil. 2018. Arq. Lucio Costa / Eng. Bruno Contarini. Foto: Stefano Galimi

CAPÍTULO 4.4 - TREVO DE TRIAGEM NORTE (TTN), Brasília – DF, Brasil – p. 217

TREVO de TRIAGEM NORTE, Brasília, Brasil. 2019. Foto: DER/DF

[20] Em 1985, a UNESCO inclui este excecional monumento francês na lista dos patrimónios da humanidade. Do alto dos seus **2000 anos de existência**, a Pont du Gard domina orgulhosamente o vale sinuoso do Gardon. Ícone incontestado da civilização romana, ela atravessa os séculos sem sofrer grandes danos. <http://pontdugard.com/pt/pont-du-gard/historia-de-uma-ponte-notavel>

CAPÍTULO 4.6 – PONTE SAN GIORGIO, Génova, Itália – p. 311

PONTE SAN GIORGIO, Génova, Itália. 2020. Arq. Renzo Piano. Foto: Renzo Piano Building Workshop

CAPÍTULO 6 – EPÍLOGO – p. 389

GATESHEAD MILLENNIUM BRIDGE, Newcastle, UK. 2002. Arq. Keith Brownlie. Foto: Modulo.net

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – p. 394

NANPU BRIDGE, Shangai, China. 1991. Shanghai Municipal Engineering Design Institute and the Tongji Architectural Design and Research Institute. Foto: Yee Kim.

ÍNDICE REMISSÍVO

A

Ambiental, 18, 223
Apoio, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 210, 350
Arquitetura, 3, 4, 35, 398, 399, 400, 402, 403, 404, 408, 409, 410, 412

B

Brasília, 3, 4, 18, 39, 40, 97, 98, 104, 106, 124, 126, 137, 139, 141, 142, 143, 174, 175, 181, 182, 185, 186, 188, 197, 199, 200, 219, 221, 222, 224, 226, 227, 228, 229, 230, 234, 235, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258, 266, 267, 268, 271, 272, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 290, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 302, 303, 305, 306, 308, 310, 345, 386, 393, 394, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 413

C

Cidades, 98, 404
Conservação do Patrimônio Moderno, 3

E

Estrutura, 38, 387, 408
Estrutural, 35, 36, 37, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 259, 308, 310, 378, 379, 386, 387, 393, 404, 408, 410

G

Galeria dos Estados, 98, 137, 139, 143, 144, 145, 146, 156, 159, 166, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 188, 190, 191, 197, 198, 199, 200, 202, 204, 205, 206, 208, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 307, 323, 345, 386, 387, 388, 393, 394, 401, 403
Génova, 99, 106, 137, 140, 313, 314, 316, 317, 318, 320, 323, 324, 325, 326, 329, 334, 344, 374, 375, 379, 381, 393, 395, 414

I

Implantação, 130, 131, 133, 134, 136, 235, 241, 245, 308, 309, 310, 381, 384, 385, 386, 387, 393
Indicador, 116, 118, 119, 122, 123, 124, 127, 128, 403
Índice, 3, 18, 91, 112, 116, 130, 131, 133, 136, 137, 140, 212, 213, 214, 307, 377, 379, 385, 387, 393
Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana, 3, 18, 91, 130, 131, 133, 136, 137, 140, 212, 213, 214, 307, 377, 379, 385, 393
ÍNDICE REMISSÍVO, 415
Infraestrutura, 3, 18, 91, 130, 131, 133, 136, 137, 140, 212, 213, 214, 307, 370, 377, 379, 385, 393, 402, 403, 406, 412
Infraestrutura urbana, 402, 412
Instalações, 130, 131, 133, 134, 136, 308, 310, 379, 384, 386, 387, 393
IRU, 3, 18, 130, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 140, 197, 212, 214, 215, 216, 218, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 377, 378, 379, 380, 381, 384, 385, 386, 388, 393

O

Obra, 18, 35, 41, 48, 61, 100, 101, 118, 119, 121, 122, 123, 127, 131, 132, 133, 134, 234, 240, 247, 249, 252, 279, 282, 286, 299, 303, 305, 385, 393, 400, 404
Obra de Arte Especial, 18, 35, 41, 48, 61, 100, 101, 118, 119, 121, 122, 123, 127, 131, 132, 133, 134, 279, 282, 385, 393

P

Patrimônio Moderno, 3, 130
Pilar, 72, 74, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 177, 185, 189, 190, 191, 192, 337, 356
Plano Piloto, 97, 142, 226, 228, 245, 394, 400, 408
Ponte, 31, 33, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 53, 55, 78, 80, 137, 139, 140, 222, 228, 233, 257, 258, 272, 278, 279, 285, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 326, 329, 330, 331, 335, 336, 338, 344, 350, 351, 357, 360, 366, 368, 373, 374, 375, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 393, 394
Ponte Morandi, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 322, 323, 326, 368, 373, 374, 375, 377, 378, 379, 381, 384, 386, 394
Ponte San Giorgio, 137, 140, 317, 324, 326, 329, 330, 331, 335, 336, 338, 344, 350, 351, 357, 360, 366, 377, 379, 380, 381, 382, 383, 385, 386, 387, 388, 389, 393, 394
Projeto, 86, 183, 184, 224, 259, 282, 372, 381, 382, 394, 397, 408

R

Retrofit, 3, 103, 174, 181, 189, 190, 191, 192, 198, 199, 200, 203, 205, 206, 207, 208, 222, 254, 265, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 281, 375, 377, 403, 405, 407, 410, 411, 412
Retrofit Urbano, 3, 103, 407
Rodoviário, 142

S

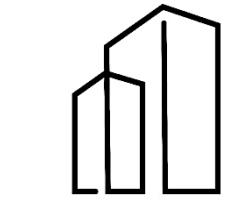
San Giorgio, 99, 137, 140, 317, 324, 325, 326, 329, 330, 331, 333, 335, 336, 338, 344, 350, 351, 357, 360, 366, 377, 379, 380, 381, 382, 383, 385, 386, 387, 388, 389, 393, 394
Sistema estrutural, 43

T

Trevo de Triagem Norte, 18, 99, 137, 139, 220, 221, 222, 223, 224, 226, 227, 228, 229, 233, 235, 236, 237, 240, 242, 246, 249, 257, 271, 303, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 345, 386, 387, 388, 389, 393, 394

V

Viaduto, 38, 39, 40, 42, 51, 98, 137, 139, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 166, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 189, 190, 191, 192, 196, 197, 198, 199, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 307, 314, 317, 323, 334, 345, 368, 369, 371, 372, 374, 377, 386, 387, 388, 389, 393, 394, 401, 403
Viaduto sobre a Galeria dos Estados, 98, 137, 139, 143, 144, 145, 146, 166, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 184, 185, 188, 190, 191, 197, 198, 199, 202, 204, 205, 208, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 307, 323, 345, 386, 387, 388, 393, 394, 401, 403


LabRAC
Laboratório de Reabilitação
do Ambiente Construído


faunb


Universidade de Brasília



ISBN: 978-65-976539-0-4