



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL**

ARTUR COSTA CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DA PONTE DE CONCRETO ARMADO DA AVENIDA
PAULINO ROCHA EM FORTALEZA-CE**

FORTALEZA-CE

2017

ARTUR COSTA CAVALCANTE

AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DA PONTE DE CONCRETO ARMADO DA AVENIDA
PAULINO ROCHA EM FORTALEZA-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do grau
de Engenheiro Civil na Universidade Federal
do Ceará. Área de concentração: Engenharia
Estrutural

Orientadora: Prof.^a Dra. Magnólia Maria
Campêlo Mota.

FORTALEZA-CE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C364a Cavalcante, Artur.
Avaliação e Inspeção da Ponte de Concreto Armado da Avenida Paulino Rocha em Fortaleza-CE / Artur Cavalcante. – 2017.
113 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, , Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Magnólia Maria Campêlo Mota.
1. Inspeções. 2. Aparelhos de apoio. 3. Modelagem em elementos finitos. I. Título.
- CDD
-

ARTUR COSTA CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DA PONTE DE CONCRETO ARMADO DA AVENIDA
PAULINO ROCHA EM FORTALEZA-CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do grau
de Engenheiro Civil na Universidade Federal
do Ceará. Área de concentração: Engenharia
Estrutural

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Magnólia Maria Campêlo Mota (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Professor Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Professor Msc. Hugo Campêlo Mota
Universidade de Fortaleza (Unifor)

“Dedico esse trabalho à Deus que iluminou-me em
toda essa jornada e aos meus amados pais, Abelardo e
Nilde, que nunca me deixam desistir dos meus sonhos.”

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Abelardo e Nilde, que sempre foram dedicados e carinhosos comigo, procurando também apoiar minhas escolhas e sonhos desde meus primeiros passos, passando-me, acima de tudo, coragem e confiança para superar os desafios da vida. A eles, sou extremamente grato.

À Deus, por sempre iluminar-me ao longo dessa longa caminhada.

Ao meu cachorrinho, Apolo, por proporcionar-me o prazer verdadeiro de vivenciar a experiência tão falada de que o cão é o melhor amigo do homem.

À minha orientadora, Profª Dr. Magnólia Maria Campêlo Mota, pela disponibilidade, paciência e excelente orientação.

À Hugo Campêlo Mota, pelo apoio e ensinamentos.

Aos meus amigos de faculdade, Tiago, Matheus Cavalcante, Mateus Campelo, Rafael, Webert, Rosângela, Felipe Oscar, Larissa e Thaís, pelo companheirismo, conversas descontraídas e situações que valeriam ser vivenciadas repetidas vezes.

Aos meus amigos antigos e de infância, Paulo Wagner, Daniel Victor, Thiago, Eduardo, Andréa, Pedro Alexandre, que ajudaram-me nessa caminhada até mesmo sem perceber, pois a diferença está nos pequenos atos.

Aos meus amigos e professores da Casa de Cultura Britânica, pela ótima convivência ao longo dos sete semestres.

Aos meus chefes e amigos, Deniz e Robson, por todo conhecimento prático passado ao longo dos meus estágios e pela excepcional convivência.

“Tudo posso naquele que me fortalece”
(Filipenses 4:13)

RESUMO

A inspeção e avaliação do estado de conservação de uma obra de arte especial visa o prolongamento de sua vida útil, bem como o funcionamento e conforto adequado para seus usuários, haja vista que as mesmas possuem uma importância diária na vida das pessoas. Desse modo, objetivou-se nesse trabalho aplicar os critérios de avaliação descritos na NBR 9452 (2016) e modelagem em elementos finitos, a fim de analisar a condição em que se encontra uma ponte localizada na Avenida Paulinho Rocha em Fortaleza-CE. Primeiramente, realizaram-se duas visitas à ponte, sendo uma com o objetivo de cadastrá-la, no dia 08/04/2017, uma vez que não se teve acesso ao banco de dados da prefeitura, acerca de inspeções anteriores e outra, no dia 29/07/2017, com o intuito de acompanhar a evolução da situação em que a ponte se encontrava. Em ambas as inspeções, pode-se dizer que o estado da ponte não se modificou devido, possivelmente, ao intervalo de tempo ser considerado pequeno para apresentar mudanças significativas. As manifestações patológicas encontradas foram armaduras expostas em elementos da ponte, aparente esmagamento dos aparelhos de apoio, desgaste do paramento de concreto da ponte e algumas fissuras localizadas na superestrutura e no pavimento. Com base na NBR 9452 (2016), classificou-se a ponte em relação aos parâmetros de funcionalidade, estrutural e durabilidade, sendo as notas 4, 4, 3, respectivamente. Valendo citar que a ponte executa sua função, no entanto nesta encontram-se várias manifestações patológicas que são resultado direto de ausência de monitoramento e manutenção periódica, pois a mesma existe a mais de 30 anos e não colapsou nesse período. Com relação a modelagem em elementos finitos, utilizou-se dois softwares para analisar a influência dos aparelhos de apoio relativa aos esforços internos, simulando-se duas situações: uma situação inicial, a qual o aparelho de apoio funciona simplesmente apoiado, e uma situação atual de desgaste do mesmo, a qual este funciona como um engaste, haja vista que o aparelho de neoprene, inicialmente, permite rotações e translações e com o passar do tempo perde essa capacidade. É importante citar que aplicou-se os trens tipo TB-36 e TB-45 para ambas as situações. Ao executar-se os modelos para o TB-36, percebeu-se que o esforço cortante diminuiu ao longo do tempo entre 1,01 % e 267,59 %. Já o esforço cortante para o mesmo trem-tipo, reduziu em alguns pontos da ponte, mas aumentou no pilares intermediários e em pontos próximos a este, sendo esse aumento de 58,72% a 76,64%. Os resultados para o TB-45 também seguiram a mesma lógica, no entanto a sobrecarga ao aplicar esse trem-tipo foi maior. Por fim, concluiu-se que a ponte necessita-se de um reparo em pontos de sua

superestrutura, a fim de melhorar a durabilidade da mesma, e substituir os aparelhos de apoio ou aplicar um reforço estrutural nos apoios intermediários.

Palavras-chave: Inspeções. Aparelhos de apoio. Modelagem em elementos finitos.

ABSTRACT

Inspection and evaluation of the state of conservation of a special work of art aims at extending its useful life, as well as the proper functioning and comfort for its users, since they have a daily importance in the life of the people. In this way, the objective of this work was to apply the evaluation criteria described in NBR 9452 (2016) and finite element modeling, in order to analyze the condition of a bridge located at Avenida Paulinho Rocha in Fortaleza-CE. First, there were two visits to the bridge, one of which was to register it, on 04/08/2017, since there was no access to the city's database, about previous inspections and another one, in the day 07/29/2017, in order to follow the evolution of the situation in which the bridge was. In both inspections, it can be said that the state of the bridge did not change because possibly the time interval was considered small to present significant changes. The pathological manifestations were exposed reinforcements in bridge elements, apparent crushing of the support devices, wear of the concrete face of the bridge and some cracks located in the superstructure and pavement. Based on NBR 9452 (2016), the bridge was classified in terms of functionality, structural and durability, with notes 4, 4, 3, respectively. It is worth mentioning that the bridge performs its function, however in this there are several pathological manifestations that are a direct result of absence of monitoring and periodic maintenance, since it exists for more than 30 years and did not collapse during this period. With regard to finite element modeling, two softwares were used to analyze the influence of the support apparatus relative to the internal stresses, simulating two situations: an initial situation, to which the support apparatus operates simply supported, and a current situation of wear of the same, which acts as a crimping, since the neoprene device initially allows rotations and translations and over time loses that capacity. It is important to mention that trains type TB-36 and TB-45 were applied for both situations. When the models for the TB-36 were executed, it was noticed that the shear stress decreased over time between 1.01% and 267.59%. On the other hand, the cutting effort for the same type train reduced in some points of the bridge, but increased in the intermediate pillars and in points close to this one, being this increase from 58.72% to 76.64%. The results for TB-45 also followed the same logic, however the overhead of applying this type train was greater. Finally, it was concluded that the bridge needs a repair in points of its superstructure, in order to improve the durability of the bridge, and replace the supporting appliances or apply a structural reinforcement in the intermediate supports.

Keywords: Inspections. Support devices. Finite element modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Acidentes x Causas segundo Branco (2013)	14
Figura 2 - Lei de Sitter.....	15
Figura 3 - Localização da ponte em estudo	18
Figura 4 - Cartilha de classe de agressividade ambiental.....	19
Figura 5- Representação das cargas permanentes.....	20
Figura 6 - Representação trem-tipo TB-45	21
Figura 7 - Exemplo de possível patologia por ataque de cloreto.....	27
Figura 8 - Exemplo de patologia por carbonatação	29
Figura 9 - Exemplo de desgaste da laje do tabuleiro da ponte	30
Figura 10 - Exemplo de corrosão e exposição de armadura da ponte.....	32
Figura 11 - Fissura na longarina da ponte	33
Figura 12 - Fissura no pavimento da ponte.....	33
Figura 13- Neoprene aparentemente esmagado	34
Figura 14- Medindo o neoprene	35
Figura 15 - Exemplo de jateamento.....	36
Figura 16 - Exemplo de apicoamento	37
Figura 17 - Exemplo de aplicação de concreto projetado.....	38
Figura 18 - Preenchendo fissuras com poliuretano.....	40
Figura 19 - Exemplo de aplicação de fibra de carbono	42
Figura 20 - Exemplo de aplicação encamisamento	42
Figura 21 - Pilares da ponte em estudo	43
Figura 22 - Longarina da ponte em estudo	44
Figura 23 - Transversina da ponte em estudo	44
Figura 24- Placa de neoprene da ponte em estudo.....	45
Figura 25- Fissurômetro	46
Figura 26 - Vista inferior da ponte em estudo.....	46
Figura 27 - Corte longitudinal da ponte em estudo	47
Figura 28 - Trenas	47
Figura 29 - Seção transversal de 0 a 6,8 metros	64
Figura 30 - Seção transversal de 6,8 a 19,80 metros	65
Figura 31- Modelo simulando pilares apoiados	66
Figura 32 - Modelo simulando pilares engastados.....	66
Figura 33- Posicionamento do trem-tipo para cálculo do cortante	66
Figura 34- Posicionamento do trem-tipo para cálculo do momento fletor	66
Figura 35- Posicionamento trem-tipo para momento fletor negativo máximo no grelha	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Critérios de avaliação de pontes.....	53
Tabela 2 - Fissuras admissíveis	54
Tabela 3- Dados da seção de 0 a 6,8 metros.....	64
Tabela 4 - Dados da seção de 6,8 a 19,80 metros	65
Tabela 5 - Comparativo TB-36 FTOOL - Esforço Cortante.....	67
Tabela 6 - Comparativo TB-36 FTOOL – Momento Fletor.....	68
Tabela 7 - Comparativo TB-45 FTOOL – Esforço Cortante	68
Tabela 8 - Comparativo TB-45 FTOOL – Momento Fletor.....	69
Tabela 9- Comparativo TB-36 Grelha – Esforço Cortante.....	69
Tabela 10 - Comparativo TB-36 Grelha – Momento Fletor	70
Tabela 11- Comparativo TB-45 Grelha – Esforço Cortante	70
Tabela 12 – Comparativo TB-45 Grelha – Momento Fletor.....	70
Tabela 13 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante	99
Tabela 14 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante	99
Tabela 15 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante.....	99
Tabela 16 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor.....	99
Tabela 17 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante	100
Tabela 18 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante.....	100
Tabela 19 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante	100
Tabela 20 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	100
Tabela 21 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor	101
Tabela 22 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor	101
Tabela 23 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor	101
Tabela 24 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	101
Tabela 25 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor.....	101
Tabela 26 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante	102
Tabela 27 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante	102
Tabela 28 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante.....	102
Tabela 29- TB-45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante	102
Tabela 30 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante.....	103
Tabela 31 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante	103
Tabela 32 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor.....	103
Tabela 33 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	103
Tabela 34 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor	103
Tabela 35 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor	104
Tabela 36 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	104
Tabela 37 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor.....	104
Tabela 38 – TB-36 -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante	104
Tabela 39 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante	105

Tabela 40 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante	105
Tabela 41- TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante.....	105
Tabela 42 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante	105
Tabela 43 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante.....	106
Tabela 44 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor	106
Tabela 45 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	106
Tabela 46 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor.....	106
Tabela 47 – TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor.....	107
Tabela 48 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	107
Tabela 49 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor	107
Tabela 50 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo	107
Tabela 51 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo.....	108
Tabela 52 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo	108
Tabela 53 – TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo	108
Tabela 54 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo.....	108
Tabela 55 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo ..	109
Tabela 56 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante.....	109
Tabela 57 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) –Esforço Cortante	109
Tabela 58 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante	109
Tabela 59 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante	110
Tabela 60 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carreagemento Permanente) – Esforço Cortante.....	110
Tabela 61 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante.....	110
Tabela 62 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor	110
Tabela 63 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor111	
Tabela 64 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor.....	111
Tabela 65 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor	111
Tabela 66 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor	111
Tabela 67 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo	112
Tabela 68 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo.....	112
Tabela 69 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo	112
Tabela 70 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo	112
Tabela 71 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo.....	113
Tabela 72 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo...113	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	<i>Problemática.....</i>	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	16
1.3	<i>Justificativa.....</i>	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	<i>Ponte</i>	17
2.2	<i>Manutenção</i>	17
2.3	<i>Inspeção Cadastral</i>	17
2.4	<i>Inspeção rotineira</i>	17
2.5	<i>Cartilha de classe de agressividade do sinduscon.....</i>	18
2.6	<i>Carregamentos utilizados.....</i>	19
2.6.1	<i>Cargas permanentes</i>	19
2.6.2	<i>Cargas móveis.....</i>	20
2.7	<i>Método dos elementos finitos</i>	21
2.8	<i>Programas de análise.....</i>	22
2.8.1	<i>FTOOL</i>	22
2.8.2	<i>Grelha.....</i>	22
2.9	<i>Origens das manifestações patológicas</i>	22
2.9.1	<i>Falhas no projeto.....</i>	23
2.9.2	<i>Materiais inadequados.....</i>	24
2.9.3	<i>Erros na execução</i>	24
2.9.4	<i>Erros na utilização da estrutura (manutenção)</i>	25
2.10	<i>Causas das manifestações patológicas</i>	26
2.10.1	<i>Ataque por cloretos.....</i>	26
2.10.2	<i>Ataque por sulfatos</i>	27
2.10.3	<i>Carbonatação</i>	28
2.11	<i>Manifestações patológicas</i>	29
2.11.1	<i>Desgaste da estrutura de concreto</i>	29
2.11.2	<i>Desagregação do concreto.....</i>	30
2.11.3	<i>Corrosão e exposição de armaduras</i>	31
2.11.4	<i>Fissuração.....</i>	32
2.11.5	<i>Esmagamento do aparelho de neoprene</i>	33
2.12	<i>Recuperação ou reparo.....</i>	35
2.12.1	<i>Lavagem com jateamento de areia e água</i>	35
2.12.2	<i>Apicoamento.....</i>	36
2.12.3	<i>Reparo com concreto projetado.....</i>	37
2.12.4	<i>Polimento.....</i>	38
2.12.5	<i>Injeção de fissuras</i>	39
2.13	<i>Reforço estrutural</i>	40
2.13.1	<i>Fibras de carbono.....</i>	40
2.13.2	<i>Aumento de seção ou encamisamento</i>	42
3	MATERIAIS	43
3.1	<i>Elementos da ponte.....</i>	43
3.1.1	<i>Pilares.....</i>	43
3.1.2	<i>Longarinas</i>	43

3.1.3	<i>Transversinas</i>	44
3.1.4	<i>Placa de neoprene</i>	44
3.2	Fichas de inspeções	45
3.3	Fissurômetro	45
3.4	Softwares	46
3.5	Projeto	46
3.6	Trenas	47
4	MÉTODO	48
4.1	Levantamento da estrutura existente	49
4.2	Inspeção cadastral	49
4.3	Inspeções rotineiras	49
4.4	Definições de cargas atuantes	50
4.4.1	<i>Cargas permanentes</i>	50
4.4.2	<i>Cargas móveis</i>	50
4.5	Modelagem pelo método dos elementos finitos	50
4.5.1	<i>FTOOL</i>	50
4.5.2	<i>Grelha</i>	51
4.6	Critérios de análise visual da estrutura	52
4.6.1	<i>NBR 9254 (2016)</i>	52
4.6.2	<i>NBR 6118 (2014)</i>	54
4.6.2.1	Estado limite de serviço de abertura de fissuras	54
4.7	Análise dos resultados da modelagem	55
4.8	Intervenção na estrutura	55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1.	Análise qualitativa	55
5.1.1.	<i>Inspeção Cadastral</i>	55
5.1.2.	<i>Inspeção Rotineira</i>	57
5.2	Possível origem das manifestações patológicas	57
5.3	Possíveis causas das manifestações patológicas	58
5.4	Terapia e Reparo	58
5.5	Análise quantitativa	60
5.5.1	<i>Dados utilizados</i>	60
5.5.1.1	Características do material.....	60
5.5.1.2	Carregamentos	61
5.5.1.3	Larguras colaborantes	64
5.6.2	<i>FTOOL</i>	67
5.6.3	<i>Grelha</i>	69
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO A	76
	ANEXO B	87
	APÊNDICE A	99

1 INTRODUÇÃO

O fluxo de pessoas ou de atividades, seja em cidades grandes ou pequenas, ocorre diariamente e costumam ser facilitadas por obras ou medidas de mobilidade gerenciadas pelo planejamento dos órgãos públicos.

Essas obras de mobilidade são fomentadas, por exemplo, por necessidades econômicas, haja vista que o trabalhador necessita se deslocar até seu ambiente de trabalho ou a empresa necessita distribuir seu produto fabricado na matriz para as filiais. São razões como essas que justificam a união de dois pontos que são separados fisicamente, utilizando para tal união a construção de uma Obra de Arte Especial como as pontes.

Uma obra de arte especial, além de um projeto bem detalhado e executado com excelência, necessita de manutenções ao longo do tempo, visando evitar manifestações patológicas que levem a um possível colapso.

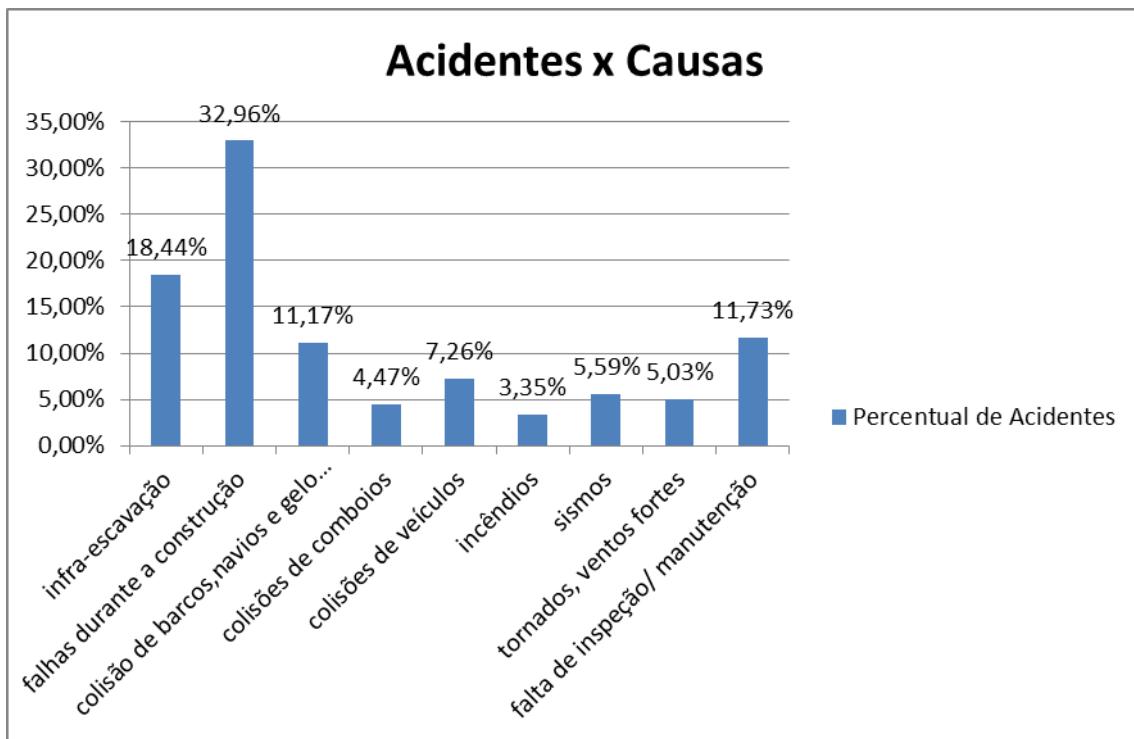
Com o intuito de fazer com que os colapsos sejam evitados e que a estrutura alcance um bom estado de serviço ao longo do tempo e, torna-se necessário inspecionar e analisar o seu estado de utilização em intervalos de tempo constantes. Essas inspeções mencionadas anteriormente, as quais são denominadas de inspeções rotineiras, visam possibilitar a tomada de medidas mitigadoras, a fim de dar uma maior vida útil à estrutura.

Existem fatores que levam a uma diminuição da vida útil e, consequentemente, ao colapso da ponte. Segundo Branco (2013), os principais fatores que levam ao colapso em todo o mundo são:

- infra-escavação
- falhas durante a construção
- colisão de barcos, navios e gelo flutuante
- colisões de comboios
- colisões de veículos
- incêndios
- sismos
- tornados, ventos fortes
- falta de inspeção/ manutenção

Branco (2013) em seu estudo listou 179 acidentes que ocorreram em países da Europa, Estados Unidos, Canadá, Índia e Austrália, relacionando-os com suas causas.

Figura 1- Acidentes x Causas segundo Branco (2013)



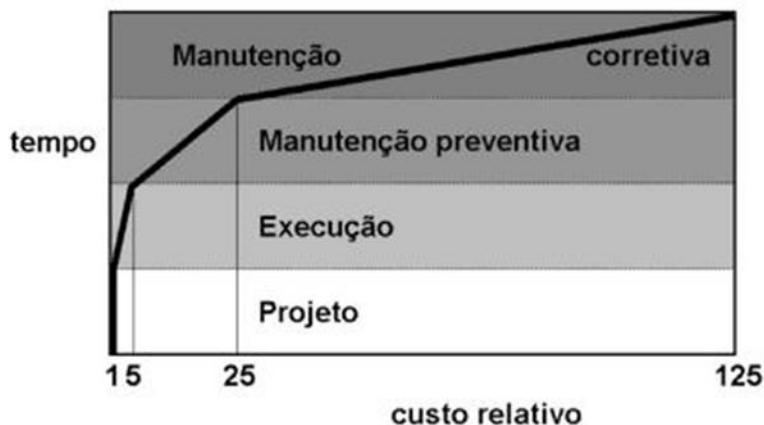
Fonte: Autoria própria

Pode-se extrair do gráfico que a falta de inspeção e manutenção é o terceiro fator que mais causa colapso em pontes no mundo, o que salienta a importância de acompanhar essas estruturas rotineiramente.

A falta de inspeção e manutenção dificulta a visualização da situação em que a ponte se encontra, como também prejudica a análise de como estão se comportando as cargas solicitantes ao longo da estrutura, uma vez que a mesma não está habilitada para suportar esforços acima das solicitações de projeto, as quais podem aumentar ao longo do tempo dependendo das condições dos elementos de apoio da ponte.

Vale citar que a realização de inspeção está relacionada intimamente com a questão econômica, uma vez que constatada a necessidade de intervenção, deve-se agir o quanto antes, pois segundo a lei de Sitter, o custo da intervenção cresce ao longo do tempo em uma progressão geométrica de razão cinco.

Figura 2 - Lei de Sitter



Fonte: Google (2017)

Cada vez mais a preocupação em conservar as obras, sejam elas públicas ou privadas, faz-se necessário. Vale ressaltar que alterações nos elementos de apoio, danos nas armaduras das transversinas e longarinas e mau funcionamento das juntas de dilatação podem prejudicar a estabilidade da ponte e até levá-la a uma futura ruína.

1.1 Problemática

O desgaste das estruturas ao longo do tempo, ocasionado por fatores ambientais e esforços repetitivos, por exemplo, contribuem por causar um envelhecimento na estrutura, o que implica que seus elementos estruturais vão necessitando cada vez mais de manutenções periódicas. A necessidade de se realizar intervenções podem ser constatadas através de inspeções visuais.

Infelizmente a falta de inspeção de pontes no Brasil, segundo o Mendes (2009), é algo recorrente e agravado pela má gestão dos recursos dos órgãos responsáveis por tal ação, ou seja, falta uma melhor organização das informações por parte desses. Atrelado a isso, tem-se a ausência de um plano de ação com medidas para inspeção em períodos constantes e manutenções eficientes por parte dos órgãos responsáveis pelas pontes no país. Isso tudo contribui para a perda da qualidade do serviço oferecida pela estrutura.

Como forma de analisar a importância de realizar inspeções e, consequentemente, manutenções nas pontes, resolveu-se realizar um estudo de caso acerca de uma ponte específica, a qual é a ponte de concreto armado da Avenida Paulino Rocha em Fortaleza-CE, sendo importante também para avaliar seu estado atual, levando-se em consideração conceitos abordados em normas do DNIT e das NBRs que tratam desse assunto.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção irá se apresentar o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é após um levantamento de uma ponte existente, em que não houve manutenção, determinar os esforços internos de seus elementos estruturais e poder diagnosticar seus efeitos relativos à durabilidade e segurança da mesma.

1.2.2 Objetivos específicos

- (a) Verificar as condições dos elementos de apoio da ponte;
- (b) Verificar as aberturas de fissuras ao longo da laje do tabuleiro de acordo com a NBR 6118 (2014);
- (c) Verificar as aberturas de fissuras ao longo das longarinas e transversinas de acordo com a NBR 6118 (2014);
- (d) Verificar os esforços internos dos elementos estruturais da ponte no estado atual;
- (e) Verificar o estado dos elementos da ponte quanto a conservação ao longo do tempo;
- (f) Proposta de intervenção, seja reparo ou reforço estrutural.

1.3 Justificativa

As inspeções podem evitar futuros acidentes envolvendo obras de artes especiais, o que contribuiria por não comprometer atividades locais, como comércio e agricultura, uma vez que ambas necessitam de transporte para seus produtos finais, além de evitar a ocorrência de mortes.

Tendo em vista os impactos que podem ser gerados com um colapso de uma obra de arte especial, irá se realizar um estudo de caso envolvendo a Ponte de Concreto Armado da

Avenida Paulino Rocha, a fim de avaliar o estado de conservação, através de inspeções, e quantificar os efeitos da conversão em relação aos esforços internos, com o auxílio da modelagem, para a vida útil da estrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão apresentados inicialmente alguns conceitos que serão importantes ao longo do trabalho.

2.1 Ponte

Segundo a NBR 6118 (2014) é uma estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo deve ser constituído por canal aquífero, como rio, mar, lago, córrego e outros.

2.2 Manutenção

Segundo Sousa (2011) o conjunto de todas as atividades necessárias para garantir o bom funcionamento da estrutura durante sua vida útil é conhecido como manutenção. Ao se realizar uma manutenção, primeiramente, faz-se inspeções ou vistorias, procedimentos técnicos que resultam em informações da obra no seu estado atual.

2.3 Inspeção Cadastral

Esse tipo de inspeção consiste em efetuar registros de vistoria cadastral, analisar documentos e informes construtivos e anotações adicionais, bem como realizar documento fotográfico.

2.4 Inspeção rotineira

Segundo Sousa (2011) em uma inspeção rotineira, as vistorias são visuais e em tempos regulares, objetivando identificar alguma mudança ou anomalia, e acompanhar o seu desenvolvimento, com relação à Inspeção Cadastral ou Rotineira anterior. As observações são

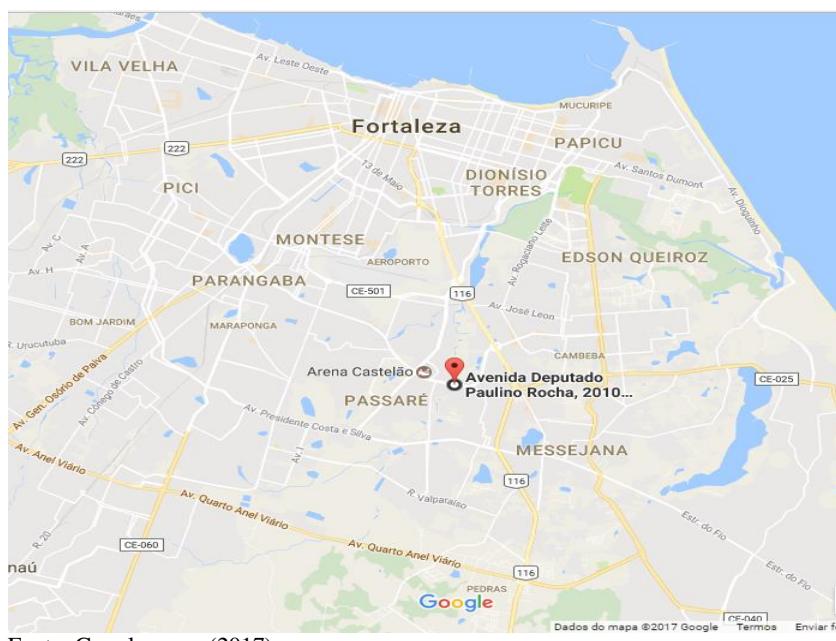
registradas através de material fotográfico e fichas-rotineiras. Caso seja encontrado algum problema que necessite de maior atenção, é então solicitada uma Inspeção Especial.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a inspeção periódica é elemento fundamental na metodologia da manutenção preventiva, pois quando bem executada, é instrumento essencial para a garantia de durabilidade da construção, sendo sua finalidade a de registrar danos e anomalias e de avaliar a importância que os mesmos possam ter do ponto de vista do comportamento e da segurança estrutural.

2.5 Cartilha de classe de agressividade do sinduscon

Antes de se determinar parâmetros como abertura limite de fissura, torna-se necessário definir qual a classe de agressividade ambiental enquadra-se a região em que localiza-se a estrutura.

Figura 3 - Localização da ponte em estudo



A imagem indica onde está localizada a Obra de arte especial e ao comparar-se com a cartilha de classe de agressividade, a qual vem logo em seguida, obtida com base na 2^a Lei de Fick, a qual possibilita determinar a variação na concentração com o tempo, durante o processo de difusão, para qualquer ponto no interior de um sólido, pela determinação da diferença entre o fluxo que entra e o que sai de um elemento de volume. Pode-se concluir que a região enquadra-se em uma localidade com classe de agressividade II.

Figura 4 - Cartilha de classe de agressividade ambiental



Fonte: Site do sinduscon (2017)

2.6 Carregamentos utilizados

2.6.1 Cargas permanentes

Existem várias contribuições de carga em uma obra de arte especial que estão atuando a todo momento durante toda a vida útil da mesma. Pode-se citar as seguintes contribuições:

Carregamentos uniformemente distribuídos:

- Peso próprio (g_1): Como em todas as pontes, utiliza-se o concreto como material na construção, o qual tem peso específico igual a 25 KN/m^3 . Esse carregamento é obtido com o produto da área da seção transversal da ponte pelo peso específico do concreto armado;

- Peso do revestimento asfáltico (g_1): Costuma-se utilizar o peso específico do asfalto igual à 24 Kn/m^3 . Esse carregamento é obtido com o produto da área do revestimento sobre a laje da ponte, adotando-se uma espessura de 7 cm, pelo peso específico do revestimento asfáltico;

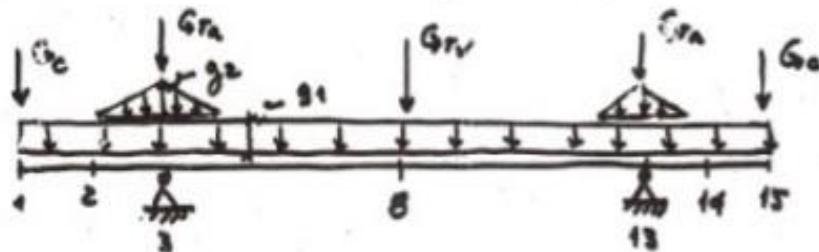
Carregamento triangular:

- Carga devido alargamento da viga principal (g_2): Esse carregamento é obtido através do produto da área de alargamento da viga pelo peso específico do concreto armado;

Cargas pontuais:

- Carga devido o peso da transversina do vão (Gtv): Essa carga pontual é obtida com produto do volume da transversina do vão pelo peso específico do concreto armado;
- Carga devido o peso da transversina do apoio (Gta): Essa carga pontual é obtida com produto do volume da transversina do apoio pelo peso específico do concreto armado;
- Carga devido à cortina, ala, placa de transição, aterro sobre o dente da costina (Gc): Essas cargas são obtidas com produto de um determinado volume por um determinado peso específico, valendo citar que o peso específico da areia adotado é igual à 18 KN/m³.

Figura 5- Representação das cargas permanentes

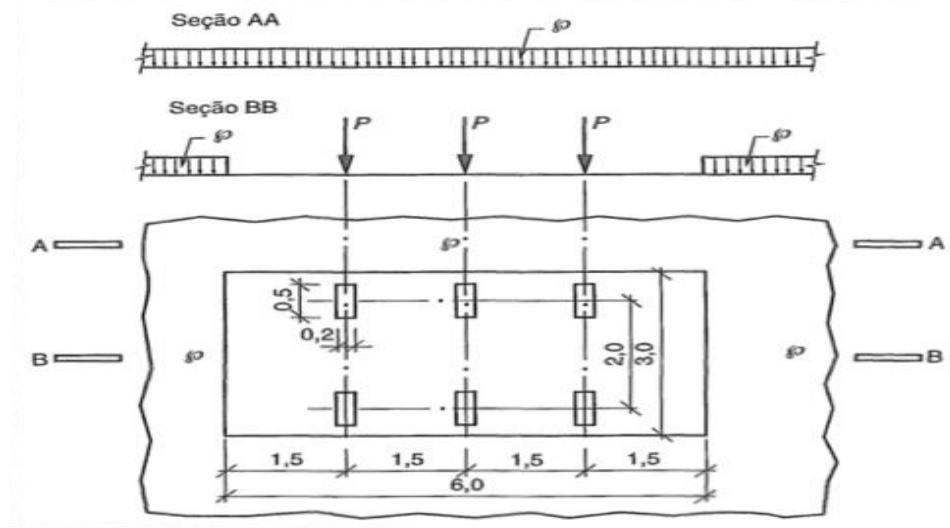


Fonte: Notas de aula do Professor Joaquim Mota (2016)

2.6.2 Cargas móveis

As cargas móveis rodoviárias que serão utilizadas no estudo são o TB-36 e TB-45, as quais são definidas como um veículos tipo de 360 e 450 Kn, respectivamente, possuindo seis rodas, peso (P) igual à 60 e 75 Kn e três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m. Esses trens tipo possuem ainda uma área de ocupação de 18 m², sendo circundado por uma carga uniformemente distribuída constante (p) igual à 5 KN/m². A figura abaixo exemplifica o que foi dito.

Figura 6 - Representação trem-tipo TB-45



Fonte: ABNT NBR 7188 (2013)

2.7 Método dos elementos finitos

O método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas, sejam substituídas por um número limitado de elementos de comportamento bem definido. Essas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados de “elementos finitos” – termo que nomeia o método.

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens – elementos e nós – dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem os comportamentos físicos não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise.

O método pode ser aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, também permite representar diversos cenários e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga. Além disso, variações do Método dos Elementos Finitos viabilizam a análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluídos para casos mais simples de comportamento linear ou outros não lineares, como quando há grandes

deslocamentos ou contato entre partes de uma montagem.

2.8 Programas de análise

Nesta seção serão analisados os programas utilizados nesse trabalho para se analisar a obra de arte especial do estudo de caso.

2.8.1 FTOOL

O ftool é uma ferramenta educacional que se destina ao ensino do comportamento estrutural de pórticos planos, sendo uma das ferramentas mais conhecidas para análise estrutural bidimensional. Com ele é possível montar uma grande variedade de esquemas estruturais e, especificando alguns parâmetros, construir os gráficos de momento fletor, esforço normal e cortante, linha elástica e gráfico de configuração deformada. Vale ressaltar que foi desenvolvido na PUC-RIO.

2.8.2 Grelha

Esse software engloba elementos de pórtico com 12 graus de liberdade e foi desenvolvido para auxiliar a análise de dados durante a elaboração da dissertação de mestrado de Hugo Campelo Mota, no ano de 2016 na COPPE-UFRJ.

2.9 Origens das manifestações patológicas

As origens mais comuns das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado segundo Gonçalves (2015) são:

- a) Falhas na concepção do projeto;
- b) Má qualidade dos materiais;
- c) Erros na execução;
- d) Utilização inadequada e falta de manutenção.

Há ainda as patologias motivadas por agentes externos como: ação da umidade, variação de temperatura, instabilidade do solo, ação excessiva dos ventos. Pode-se citar até

situações mais graves e catastróficas como abalos sísmicos. Esses agentes causam patologias das mais simples às mais graves, e é missão do profissional de Engenharia prever e dimensionar a estrutura, de modo a evitar ao máximo o acontecimento de patologias decorrentes desses fenômenos (TRINDADE, 2015).

Nesta seção serão exemplificados cada origem das manifestações patológicas, mas dará-se ênfase as manifestações decorrentes da falta de manutenção.

2.9.1 Falhas no projeto

Muitas falhas são possíveis de ocorrer durante a fase de concepção da estrutura, podendo se originar durante o estudo preliminar, na elaboração do anteprojeto, ou no projeto executivo. Pode-se citar de acordo com Couto (2007) como problemas resultantes da elaboração do projeto:

- a) Má definição das ações atuantes ou combinação mais desfavorável para a estrutura;
- b) Deficiência na avaliação de resistências do solo, podendo levar, por exemplo, a recalques inesperados ao longo da construção e nos primeiros anos de vida da edificação;
- c) Adoção de peças com espessura de cobrimento e relação água/cimento incompatíveis com tempo e as condições de exposição da estrutura, segundo a NBR 6118 (2014);
- d) Especificação inadequada de materiais;
- e) Dimensionamento que leva a grandes deformações na estrutura, levando ao surgimento de fissuras;
- f) Utilização de juntas estruturais sujeitas à infiltração de água, próximas aos elementos estruturais;
- g) Falta de compatibilização entre os projetos;
- h) Detalhes construtivos impossíveis de serem executados;

Segundo Souza e Ripper (1998), geralmente os empecilhos e o fator custo para curar uma estrutura com danos originários de falhas da concepção do projeto, são proporcionais à antiguidade da falha, ou seja, erros no início da concepção e levados adiante nas outras etapas, tendem á causar um maior prejuízo. Uma falha no estudo preliminar, por

exemplo, leva a uma solução mais trabalhosa e complexa do que uma falha que venha a ocorrer na fase do anteprojeto.

2.9.2 Materiais inadequados

As especificações dos materiais na fase de projeto, deve ser bem controlada , pois a aquisição dos insumos para fabricação do concreto, objetiva-se a garantia das especificações visando que o concreto não seja rejeitado. Vale ressaltar que a caracterização dos materiais componentes do concreto deve estar em conformidade com o que recomenda a NBR 12654 (1992).

No cimento devem ser monitorados seus aspectos físicos, como granulometria, início e fim de pega, resistência à compressão, expansibilidade, calor de hidratação, assim como, também, seus aspectos químicos, como perda ao fogo e resíduo insolúvel, teores de aluminato tricálcio e de álcalis.

Para os agregados faz-se necessária a análise mineralógica e química do material, para detectar a presença de contaminantes reativos no agregado, cujas reações químicas expansivas com os álcalis do cimento podem deteriorar demais o concreto, bem como as características físicas, como granulometria, a qual pode variar as propriedades do concreto nos estados frescos e endurecidos.

A água é um elemento do concreto de grande importância, logo se faz necessária a sua análise antes de sua utilização, pois aspectos como contaminação com cloretos, sulfatos, álcalis, teor do pH, entre outros fatores, podem prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo.

É importante citar também que, como se trata de concreto armado, é imprescindível controlar a armadura, assegurando o patamar de escoamento, o limite de resistência, o alongamento mínimo, as tolerâncias de desbitolamento e dobramento.

2.9.3 Erros na execução

A NBR 14931 (2003) define como execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na sua execução, ou seja, sistema fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto. Falhas construtivas durante a etapa de execução da obra podem causar repercussões danosas ao desempenho da estrutura de

concreto.

A ocorrência dos erros é, basicamente, devido ao processo de produção, que é bastante prejudicado, por muitas vezes refletir os problemas socioeconômicos, que provocam a baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados (SOUZA e RIPPER). Assim como, também, a falta de uma fiscalização eficiente e um fraco comando de equipes, podem, com facilidade, levar a falhas graves em determinadas atividades como, escoramentos, fôrmas, posicionamento e qualidade das armaduras, qualidade do concreto, entre outras (COUTO, 2007).

A NBR 12655 (2015) descreve como etapas de execução do concreto a seguinte sequência:

- a) Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a NBR 12654 (1992);
- b) Estudo de dosagem do concreto;
- c) Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- d) Preparo do concreto.

Importante citar que as etapas acima devem ser realizadas com máximo de cuidado e atenção, pois um erro em qualquer dessas etapas pode gerar enormes prejuízos a estrutura de concreto armado.

Segundo Trindade (2015), um dos fatores que devem ser considerados nesta etapa é a qualidade da mão de obra do quadro de funcionários, uma vez que são comuns ocorrerem erros que geram patologias quando se usa mão de obra desqualificada ou até mesmo mão de obra qualificada, que não esteja ambientada para uma determinada tecnologia, ou ainda usá-la fora de sua área de especialização.

2.9.4 Erros na utilização da estrutura (manutenção)

Com a finalização das etapas de concepção e execução da estrutura, ainda que com o sucesso desejado e sem ou reduzidas margens de chances de ocorrências de danos patológicos, poderão ainda ocorrer manifestações patológicas devido ao errôneo manuseio.

Após a liberação da obra para o usuário, este poderá causar danos na estrutura, seja por desleixo ou ignorância. O uso da estrutura deve ser visto de maneira análoga a qualquer equipamento mecânico ou elétrico, ou seja, deve-se usá-la respeitando o projeto e

realizando as manutenções necessárias indicadas pelos responsáveis técnicos.

Segundo Souza e Ripper (1998), a ausência de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, origina-se no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de destinação de verbas para manutenção pode ocasionar o aparecimento de problemas estruturais de maior gravidade, implicando em grandes gastos e, dependendo da situação, pode levar até mesmo a demolição da estrutura.

Em especial, quando se fala em concreto, deve-se dar atenção para produtos que venham a causar corrosão do mesmo e das armaduras de aço, assim como para os valores de sobrecargas permitidos nos elementos estruturais. Vale citar, como uma das manifestações resultantes de uma utilização inadequada de obras de arte especial, o surgimento de fissuras no pavimento e nos elementos estruturais, motivadas por uma sobrecarga provocada pela passagem de veículos pesados que não deveriam estar circulando naquele determinado trecho.

2.10 Causas das manifestações patológicas

Nesta seção serão abordadas possíveis causas para manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.

2.10.1 Ataque por cloreto

Segundo Zamberlan (2013), a presença de cloreto no concreto pode gerar inúmeros danos à estrutura. Esses componentes podem ser encontrados em agregados extraídos de regiões que no passado foram marinhas, na água do mar, em aditivos aceleradores de pega (CaCl_2), poluentes industriais ou a partir de produtos usados na limpeza que, tenham na constituição o ácido muriático. A ação dos mesmos pode acarretar a corrosão das armaduras de forma muito agressiva. Vale citar que existem alguns parâmetros que influenciam a penetração deste agente no concreto, tais como a estrutura porosa do material, composição química, relação água /cimento, fissuração do concreto e PH do concreto.

Os íons cloreto são um dos agentes mais nocivos para a corrosão das barras de aço, pois têm a capacidade de despassivar as armaduras mesmo em PH extremamente elevado. Os cloreto penetram nos poros do concreto semi-preenchidos com água e reagem com as hidroxilas, depassivando a superfície do aço e iniciando a corrosão.

Importante ressaltar que as reações que ocorrem durante a hidratação são exotérmicas, ou seja, ocorre a liberação de calor. Diante disto, esta quantidade que é liberada

de calor poderá causar danos quando peças de grandes dimensões forem concretadas, pelo fator de que no início da hidratação não há troca positiva de calor com o exterior, o que leva a um aquecimento e expansão da massa. Após isso ocorre o esfriamento da massa, gerando um gradiente térmico no qual pode gerar fissuração interna do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figura 7 - Exemplo de possível patologia por ataque de cloreto



Fonte: Autoria própria

2.10.2 Ataque por sulfatos

Os sulfatos também são compostos bastante ofensivos às estruturas de concreto armado, pois atacam as estruturas mais comumente reagindo com o aluminato tricálcico do cimento hidratado, conhecido como C3A e com o hidróxido de cálcio, e tem origem desde o momento em que a pasta do concreto é misturada, sendo que, enquanto a pasta não está rígida, há uma absorção dos esforços resultantes do aumento de volume, de maneira que não surjam danos.

Os sulfatos mais comuns são os de cálcio, magnésio, potássio, sódio e possuem geralmente fonte água do mar, solo, águas subterrâneas, aguas poluídas por dejetos industriais, esgotos e chuva ácida.

Muitas vezes, devido a altas temperaturas na concretagem, pode-se acontecer de não formar-se o composto chamado de etringita na fase do concreto fresco, o que pode ser um problema, pois esse composto pode se formar na fase de concreto endurecido, motivado pela umidade presente no ambiente, contribuindo para o surgimento de fissuras na estrutura.

2.10.3 Carbonatação

É sabido que processo de carbonatação, geralmente é o responsável por iniciar o processo de corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado.

Este fenômeno é comum em regiões urbanas, as quais possuem um tráfego de veículos moderado ou grande, uma vez que durante a combustão gerada no motor dos automóveis é liberado para o ambiente o gás carbônico (CO_2), o qual penetra no concreto através dos poros.

A penetração do CO_2 contribui para uma redução do PH da pasta de cimento do concreto que geralmente tem valores entre 12 e 14, o mesmo possui alta alcalinidade devido principalmente ao hidróxido de cálcio que é produto resultante das reações de hidratação do cimento. Este produto juntamente com os hidróxidos ferrosos da armadura conferem uma proteção à mesma, formando uma capa passivadora.

Como consequência ocorre uma diminuição na porosidade do concreto, em razão de que o produto formado CaCO_3 possui volume maior do que o hidróxido de cálcio.

Segundo Souza e Ripper (1998), se a carbonatação atingisse apenas a camada superficial, sem ultrapassar o cobrimento, este processo seria favorável ao elemento estrutural, pois como já dito, haveria uma diminuição da porosidade e um aumento da resistência mecânica. Despassivada, o processo ao alcançar as armaduras de aço leva as mesmas à corrosão, desde que haja a presença de água e oxigênio, comprometendo seriamente a durabilidade.

Conforme Cascudo (1997), a despassivação da armadura devido à carbonatação, deixa esta extremamente vulnerável à corrosão e praticamente totalmente exposta à atmosfera sem qualquer proteção.

Figura 8 - Exemplo de patologia por carbonatação



Fonte: <http://oengenheirocivil.com/carbonatacao-parte-2> (2017)

2.11 Manifestações patológicas

Nessa seção serão apresentadas algumas manifestações patológicas recorrentes em estruturas de concreto armado.

2.11.1 Desgaste da estrutura de concreto

O desgaste da superfície do concreto ocorre por abrasão, erosão, e cavitação. De acordo com Silva (2011), a abrasão consiste no desprendimento do material superficial devido ao arraste, fricção ou atrito causado pela passagem de pessoas, veículos, ou até mesmo por partículas carregadas pelo vento. Tendo ocorrência com maior frequência em lugares de intensa circulação de pessoas e grande tráfego. A magnitude da perda das partículas varia de acordo com fatores como: baixa resistência do concreto, exsudação excessiva, cura inadequada e até mesmo ao ataque químico de agentes agressores.

Trindade (2015), diz que a erosão se dá pelo movimento de fluídos ar ou água, os quais agem sobre a superfície do concreto de modo a desgasta-la devido à colisão que esta sofre das partículas em suspensão. Em geral, ocorre em pilares de pontes, canais de irrigação, tubulações e vertedouros.

A cavitação consiste na formação de bolhas de vapor quando a água está em alta velocidade na ordem de 12m/s. Estas bolhas entram em regiões de maior pressão implodem e

se impactam, deixando um aspecto corroído na superfície e um efeito mais nocivo quanto maior for o número de bolhas e menores forem. Quando uma região sofre este processo, o problema se agrava devido à mesma se tornar mais propensa a sofrer novamente a cavitação, de modo que o desgaste tenha uma tendência de aumentar cada vez mais caso não for reparado (SOUZA E RIPPER, 1998). Com a repetição deste fenômeno nas estruturas de concreto, tendem a aparecer muitas escarificações nas mesmas.

Figura 9 - Exemplo de desgaste da laje do tabuleiro da ponte



Fonte: Autoria própria

2.11.2 Desagregação do concreto

Consiste na desintegração do concreto, com este perdendo sua propriedade de aglomerante. Souza e Ripper (1998) entendem a desagregação do concreto, como a separação física do mesmo em fatias, de modo que a estrutura acaba por perder a capacidade resistente a esforços na região desagregada.

Cánovas (1988) afirma que os componentes do concreto perdem sua coesão, reduzindo显著mente a resistência mecânica.

Segundo Trindade (2015), vários são os fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação que consiste na perda de resistência e mudança de cor do

concreto, que ocorre quando o mesmo se encontra na presença de fogo e começa a se desintegrar em uma temperatura próxima à 600° C.

2.11.3 Corrosão e exposição de armaduras

A corrosão dos aços tem sido umas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, trazendo grandes danos e prejuízos. Devido a isso, deve-se entender este processo por completo para impedir sua ocorrência, ou ao restaurar elementos estruturais atacados, evitar que depois de curados, não sofram novamente esta anomalia.

Souza e Ripper (1998) caracterizam a corrosão das armaduras como sendo a deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras. Sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto.

Marcelli (2007) afirma que a corrosão da armadura consiste em um processo eletroquímico, que pode ter sua eficiência aumentada por alguns fatores como: agentes agressivos externos e internos, que foram adicionados ao concreto, ou ainda que foram gerados pelo ambiente. Para a corrosão ocorrer de fato, é preciso da presença dos elementos: presença de oxigênio e umidade, e o estabelecimento de uma célula eletroquímica.

Conforme Fusco (2008), ocorrem duas reações, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, o ferro fica carregado positivamente de modo que ocorre a dissolução dos íons Fe⁺⁺, que passam para a solução. Na solução anódica, o Ferro irá atuar como eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo anodo passam à solução, formando-se desta maneira o circuito elétrico, não havendo consumo do ferro no cátodo.

Segundo Souza e Ripper (1998), formado o efeito pilha, a corrosão terá inicio pela corrente elétrica que se dirige do ânodo para o cátodo, através da solução aquosa e do cátodo para o ânodo por meio da diferença de potencial.

Figura 10 - Exemplo de corrosão e exposição de armadura da ponte



Fonte: Autoria própria

2.11.4 Fissuração

As fissuras geralmente consistem nas manifestações patológicas que mais chamam atenção dos leigos, devido ao aspecto anti-estético que trazem, juntamente com a sensação de insegurança. Podem ter origem nas causas intrínsecas e extrínsecas, ou na combinação de duas ou mais.

Segundo Cánovas (1988), são patologias que além do próprio risco que trazem para a segurança da estrutura, também acabam por ser uma porta aberta para a ocorrência de corrosões das armaduras, já que acabam por desproteger o aço.

Figura 11 - Fissura na longarina da ponte



Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Fissura no pavimento da ponte



Fonte: Autoria própria

2.11.5 Esmagamento do aparelho de neoprene

Os aparelhos de apoio de Neoprene possuem uma grande capacidade de sobreviver à falta de manutenção em relação aos demais materiais utilizados com o mesmo fim. Contudo, nenhum aparelho é perfeito, devendo este ser substituído com o passar do tempo.

Estes aparelhos de apoio costumam ter de 3 a 4 centímetros de altura, devendo-se observar se existe uma redução nessa altura, haja vista que pode se tratar de uma compressão elevada no neoprene, gerando uma perda na capacidade de serviço.

Segundo Machado e Sartorti (2010), essa manifestação patológica pode ser resultado de fatores como:

- i. Assentamento irregular, provocando uma sobrecarga adicional
- ii. localizada;
- iii. Deslocamentos, rotações e cargas em serviço muito superiores aos estimados;
- iv. Agressividade não prevista do meio ambiente;
- vi. Ataque por produtos químicos;
- vii. Baixa expectativa de vida útil;
- viii. Mal assentamento no berço,

Figura 13- Neoprene aparentemente esmagado



Fonte: Autoria própria

Figura 14- Medindo o neoprene



Fonte: Autoria própria

2.12 Recuperação ou reparo

Pode ser definido como uma intervenção realizada na estrutura de concreto armado que não tenha finalidade aumentar a capacidade portante da estrutura e sim reconstituição das características geométricas, resistência e desempenhos originais.

Nesta seção veremos alguns passos para reparos em estruturas de concreto armado.

2.12.1 Lavagem com jateamento de areia e água

Esta técnica serve para remover as camadas superficiais que apresentem uma grande deterioração, a partir de jatos de areia ou de água, ou ainda uma mistura dos dois. O equipamento utilizado consiste em máquinas de jato ligada á um compressor. Quando a areia é utilizada, esta não deve conter matéria orgânica ou qualquer outro tipo de material e deve também apresentar uma granulometria adequada para que não ocorra o entupimento na mangueira. Quando usa-se a água, esta deve se apresentar uma temperatura ambiente, objetivando a remoção de camadas deterioradas para que futuramente sejam aplicados os materiais para a recuperação do elemento estrutural. Em caso de superfícies muito gordurosas, a água pode ser aquecida com adição de materiais removedores que sejam biodegradáveis. Tanto jatos de areia como de água podem ser usados simultaneamente ou um após o outro

para garantir uma maior eficiência do processo (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figura 15 - Exemplo de jateamento



Fonte:[http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3788-diferentes-tipos-de-areia-para-jateamento/\(2017\)](http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3788-diferentes-tipos-de-areia-para-jateamento/(2017))

2.12.2 Apicoamento

Trindade (2015) diz que o apicoamento não é uma técnica em si de recuperação de estruturas, haja vista que este deve ser estudado por se tratar de um processo que antecede grande parte dos métodos empregados para recuperar elementos estruturais. Consiste no processo da retirada de uma fina camada de concreto da superfície da estrutura, deixando a mesma rugosa, com objetivo de proporcionar boa aderência para uma futura camada colocada sobre esta que viria para aumentar a espessura do cobrimento.

Este tipo de procedimento é utilizado para remoção da camada externa do concreto que será complementada com o material de recuperação, segundo Souza e Ripper (1998) a espessura de retirada nesse método não ultrapassa 10 mm.

No apicoamento pode-se utilizar talhadeira e marreta leve, ou mecanicamente com o uso de martelos pneumáticos ou elétricos e ponteiros com a extremidade em forma de picador. A escolha do equipamento deve-se levar em conta a profundidade da camada a ser retirada e o tamanho da área, optando pela processo mecânico se as duas medidas forem grandes.

Figura 16 - Exemplo de apicoamento



Fonte:<http://sercpintonline.blogspot.com.br> (2017)

2.12.3 Reparo com concreto projetado

Esta técnica de reparo com concreto projetado consiste em se conduzir concreto ou argamassa sob pressão contínua, através de uma mangueira ou mangote, projetando-o em alta velocidade sobre a base, ou seja, acima de 120 m/s (SOUZA e RIPPER, 1998). A força do jato comprime o material, sem necessidade de vibradores, deixando-o bem aderido à superfície projetada, podendo o locar a ser reparado estar em qualquer posição (horizontal, vertical ou inclinada).

O método é uma alternativa ao uso de concreto convencional, e pode ser de bom uso quando se trata de grandes áreas de reparo. Uma das grandes vantagens do concreto projetado é a não-necessidade do preparo de formas. Entretanto, seu alto custo e a grande perda de material no processo (por reflexão) faz com que este não valha a pena para pequenas áreas.

Existem dois métodos de emprego do concreto projetado: via seca e via úmida. O processo por via seca, a norma NBR 14026 (1997) caracteriza como “processo no qual somente os agregados podem se apresentar úmidos e a maior parte da água é adicionada no mangote ou no bico de projeção”. Ou seja, a mistura dos agregados e do cimento é feita à seco, e posteriormente no bico projetor é adicionado água pelo operador através de uma abertura.

O processo por via úmida, a norma NBR 14026 (1997) caracteriza como

“Processo no qual todos os ingredientes, incluindo a água, são misturados antes de serem introduzidos no equipamento de projeção”. Ou seja, a mistura de água, cimento, agregados e aditivos se dá na própria câmara. Por esse processo fica mais fácil o controle da quantidade de água na mistura, não dependendo da habilidade técnica do operador no caso da via seca.

Independente do processo a ser utilizado, é fundamental a limpeza total da superfície. Esta não pode conter nenhuma irregularidade que possa comprometer a aderência do material a ser projetado.

Figura 17 - Exemplo de aplicação de concreto projetado



Fonte:[http://engenhariaconcreta.com/concreto-projetado-conheca-as-principais-caracteristicas/\(2017\)](http://engenhariaconcreta.com/concreto-projetado-conheca-as-principais-caracteristicas/(2017))

2.12.4 Polimento

O Polimento do concreto armado é uma técnica utilizada quando a superfície da estrutura estiver demasiadamente áspera. Aspereza que pode prover de execução com baixa qualidade de formas muito desgastadas, de erro em dosagens do concreto, vibração ineficiente e também do desgaste natural que a estrutura sofre pelo seu uso natural (TRINDADE, 2015).

A execução dessa etapa na recuperação objetiva-se diminuir a aspereza da superfície, deixando a textura da mesma o mais lisa possível, evitando que partículas se desagreguem da estrutura com o passar do tempo.

Para o uso destes equipamentos, em especial das máquinas de polir pesadas, a

mão de obra deve possuir conhecimento sobre a tecnologia usada para preservar a segurança do usuário e também a manutenção do equipamento. Além disto, soma-se a poluição que ocorre devido à formação de pó, que se inalado pode trazer danos nocivos á saúde de quem está executando o procedimento e demais pessoas que estiverem próximas (SOUZA E RIPPER, 1998).

2.12.5 Injeção de fissuras

Conforme Cánovas (1988), a injeção consiste em um método reparador de fissuras, que objetiva o preenchimento da mesma com material adequado de modo a reparar ao máximo a patologia. Deve-se atentar para o tipo de fissura á ser curada, uma vez que existem fissuras mortas e vivas. A diferença entre estas pode se atestada pela utilização de um selo de gesso e seu respectivo monitoramento periódico.

As fissuras mortas são aquelas que não aumentam ou tem um aumento insignificante com o passar do tempo, não apresentam restrições quanto ao uso desta técnica. As fissuras vivas consistem naquelas em que suas dimensões variam durante o passar do tempo ou até mesmo diante de variações da temperatura, sendo assim para estas não é indicado que seja adotada a técnica de injeção, pois o concreto irá se romper de qualquer maneira em outro ponto ou no mesmo lugar. Na maioria das vezes que este método é aplicado, usam-se resinas epóxi, material no qual apresenta boa aderência, baixa viscosidade, boa resistência e que não sofre retração (TRINDADE, 2015).

Para essa técnica, tem-se utilizado também o poliuretano, o qual é um polímero que compreende uma cadeia de unidades orgânicas utilizado em espumas rígidas e flexíveis que, ao entrar em contato com a umidade presente na superfície da fissura, aumentam de tamanho, impedindo que a umidade penetre e ajudando a solidarizar a estrutura novamente.

Figura 18 - Preenchendo fissuras com poliuretano



Fonte: <http://treinotecengenharia.com.br/tecnologias-sistemasdeinjecao/>(2017)

2.13 Reforço estrutural

Serviços que requerem sempre a prévia elaboração de trabalhos de cálculo estrutural, sejam estes serviços derivados da necessidade de alteração na funcionalidade da estrutura ou como consequência de danificação sofrida pela estrutura, caso em que o reforço estará inserido no trabalho de recuperação. Visa-se realizar reforço estrutural pelos seguintes motivos:

- regeneração da capacidade portante, a qual foi diminuída em virtude de desgaste ou deterioração;
- correção de falhas de projeto ou execução;
- aumento da capacidade portante para permitir modificação do uso da estrutura;
- modificação da concepção estrutural por necessidade arquitetônica ou estrutural.

2.13.1 Fibras de carbono

As fibras de carbono são obtidas a partir do tratamento térmico (carbonização) de fibras de polímeros orgânicos em elevadas temperaturas. As fibras de carbono são uma das soluções mais indicadas atualmente para reforço de estruturas de concreto armado devido ao alto desempenho diante do esforço mecânico e devido à uma considerável redução das dimensões dos elementos usados para recuperar a patologia.

Algumas das vantagens que este método traz são:

- Boa resistência e rigidez mesmo em altas temperaturas.
- Apresenta boa resistência diante do ataque de ácidos, base, solventes e diante da

presença de umidade.

- Ótima relação custo benefício diante de outros materiais utilizados como reforço.
- Leveza do material, sendo que é a técnica que menos necessita de esforço humano para ser executada. É mais prática inclusive que as chapas de aço coladas.

As fibras de carbono consistem em uma técnica extremamente versátil de reforço estrutural. Segundo Higuero (2010), essas podem ser usadas em diversas estruturas e fabricadas nas mais variadas formas.

a) Reforço à Flexão:

Para reforçar vigas e lajes submetidas à flexão, recomenda-se usar lâminas retas e em alguns casos o tecido. Para uma boa eficiência é preciso que a resina que une as lâminas à superfície de concreto seja bem aplicada, para que o reforço haja na zona de tração sem descolar. Esta resina irá transmitir o esforço cortante de um material para o outro.

b) Reforço por confinamento:

Para reforçar elementos submetidos à compressão simples ou composta, como em pilares por exemplo, a simples colagem das lâminas não é indicada, pois são muito esbeltas e poderiam acabar sofrendo flambagem. Devido a isto, o indicado é usar os tecidos de fibra de carbono devido à sua facilidade de se moldarem a diferentes formas geométricas. Com estes tecidos pode-se colocar várias camadas de modo a confinar o elemento estrutural, para que a partir do momento em que a estrutura começar a se comprimir, pela Lei de Poisson a mesma tende a se dilatar transversalmente. Neste momento o reforço começa a trabalhar para impedir esta dilatação transversal.

c) Reforço ao cortante

O reforço ao cortante consiste na colagem de laminas de carbono na região transversal do elemento estrutural.

Figura 19 - Exemplo de aplicação de fibra de carbono



Fonte:<http://techniques.com.br/>(2017)

2.13.2 Aumento de seção ou encamisamento

A técnica de reforço com aumento de seção, também chamada encamisamento, consiste em envolver a seção existente com concreto novo e a armadura necessária para o reparo. É uma técnica bastante utilizada por ter preço mais acessível dos materiais e mão de obra, podendo ser realizada, também, com concreto projetado. A principal desvantagem é a interferência arquitetônica do aumento da seção dos elementos reforçados, além de, em alguns casos, o tempo prolongado para que a estrutura possa ser liberada para serviço.

Figura 20 - Exemplo de aplicação encamisamento



Fonte: Autoria própria

3 MATERIAIS

Nesta seção serão apresentados os materiais utilizados ao longo da produção do trabalho.

3.1 Elementos da ponte

Os elementos estruturais e de apoio que compõe a ponte serão ilustrados e discriminados nessa seção.

3.1.1 Pilares

São elementos estruturais dispostos na vertical e usados normalmente para receber os esforços perpendiculares ao plano da estrutura, a fim de transferi-los para outros elementos, como as fundações.

Figura 21 - Pilares da ponte em estudo



Fonte: Autoria própria

3.1.2 Longarinas

São vigas longitudinais sobre as quais assentam o tabuleiro de uma ponte.

Figura 22 - Longarina da ponte em estudo



Fonte: Autoria própria

3.1.3 Transversinas

São vigas transversais cuja função é ligar vigas principais, podendo também servir de apoio para lajes.

Figura 23 - Transversina da ponte em estudo



Fonte: Autoria própria

3.1.4 Placa de neoprene

A necessidade do uso de placas de apoio de neoprene ocorre porque quando duas peças estruturais se apoiam uma sobre a outra, elas podem girar (rotação) ou deslizar (translação) uma em relação à outra. Estes movimentos de rotação e translação nem sempre podem ser absorvidos por alguma das duas peças, sendo necessário, para isso, um elemento

intermediário entre elas, que é a placa de apoio.

Os aparelhos ou placas de apoio de neoprene são desenvolvidos de forma a transferir esforços para o apoio de uma estrutura, respeitando as condições de estabilidade e movimentação previstas em seu projeto. Seu uso mais comum é para o apoio de superestruturas de pontes e viadutos, onde o uso dos aparelhos entre vigas e pilares possibilita a movimentação natural existente entre estes dois elementos, absorvendo os esforços horizontais e de rotações e transmitindo aos pilares os esforços verticais.

Figura 24- Placa de neoprene da ponte em estudo



Fonte: Autoria própria

3.2 Fichas de inspeções

Para a avaliação do estado de conservação qualitativo da ponte, utilizou-se as fichas presentes na NBR 9452 (2016), tanto para inspeção cadastral como rotineiras. Ambas as fichas encontram-se em anexo.

3.3 Fissurômetro

É o instrumento utilizado para medição ou avaliação do progresso de uma fissura ou rachadura.

Figura 25- Fissurômetro



Fonte: Autoria própria

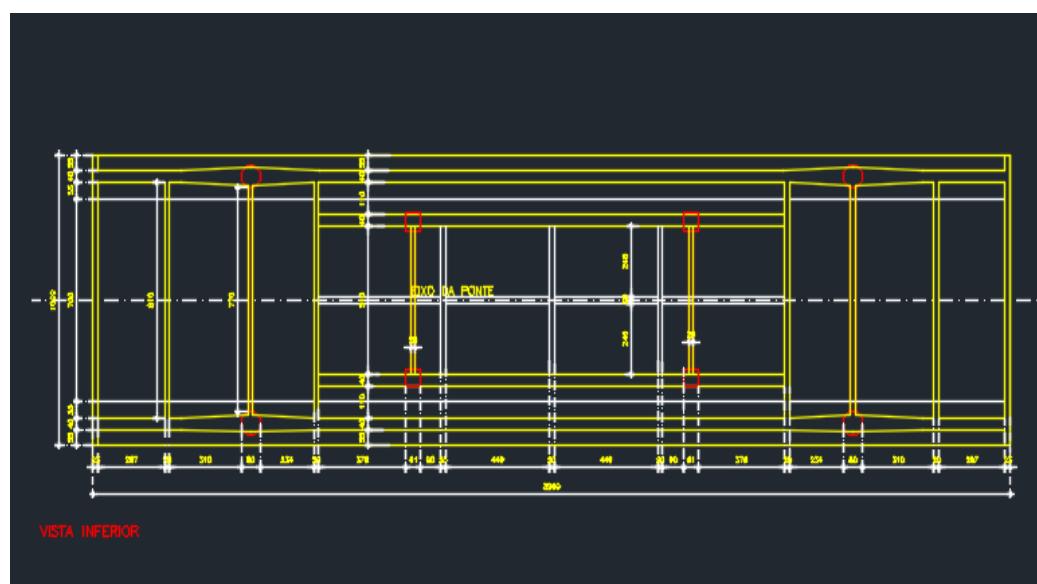
3.4 Softwares

Nesse trabalho serão utilizados dois softwares que funcionam com base no método dos elementos finitos, sendo o FTOOL e o Grelha.

3.5 Projeto

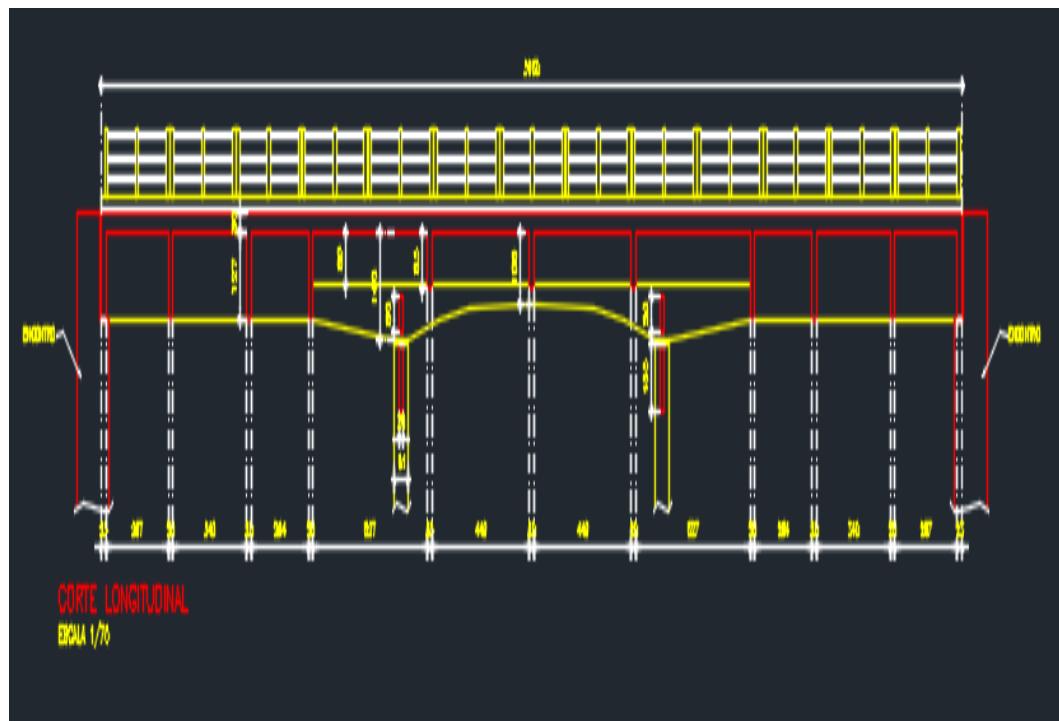
A ponte em estudo foi projetada por volta de 1972 e seu respectivo projeto será utilizado como fonte de extração de informações importantes para a modelagem.

Figura 26 - Vista inferior da ponte em estudo



Fonte: Projeto da ponte sobre rio Cocó da Avenida Paulino Rocha (2010)

Figura 27 - Corte longitudinal da ponte em estudo



Fonte: Projeto da ponte sobre rio Cocó da Avenida Paulino Rocha (2010)

3.6 Trenas

Para se realizar o levantamento das dimensões da estrutura, utilizou-se duas trenas.

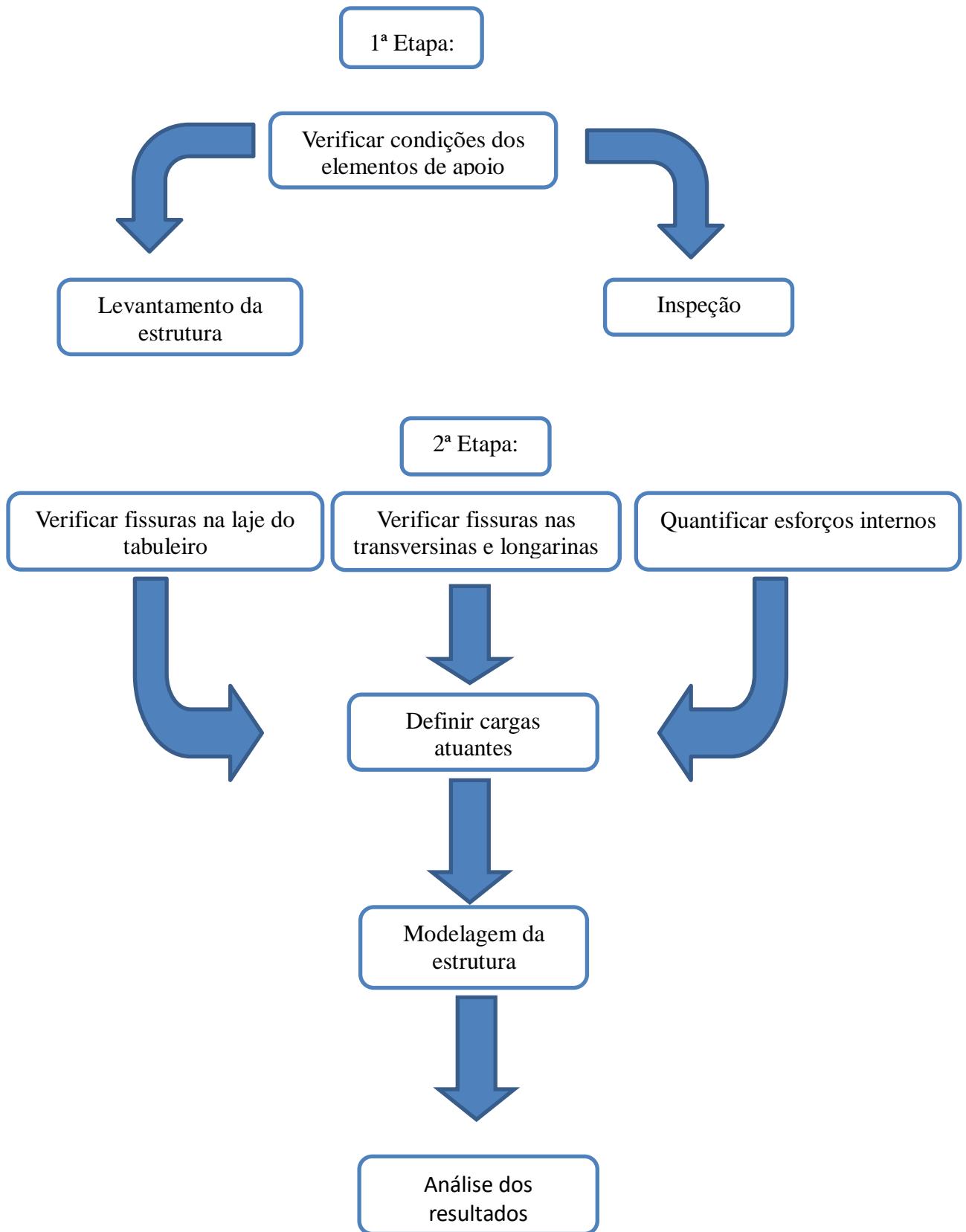
Figura 28 - Trenas



Fonte: Autoria própria

4 MÉTODO

Nesta seção será apresentada a sequência a ser levada em consideração para obtenção de resultados futuros.





4.1 Levantamento da estrutura existente

Fazer uma vistoria local da ponte, objeto de estudo, com o intuito de coletar informações sobre: dimensões dos elementos estruturais que a compõe, aparelhos de apoio existentes, guarda-corpo e juntas de dilatação presentes. Além disso, foram feitas análises das dimensões obtidas de plantas, a fim de atestar se as dimensões colhidas em campo iam ao encontro com as informações do projeto.

4.2 Inspeção cadastral

Realizar inspeções significa visitar a obra em estudo com o intuito de avaliar e colher informações acerca da situação atual. Por isso, deve-se realizar uma inspeção inicial, a qual denominou-se inspeção cadastral, segundo o capítulo de revisão bibliográfica, a fim de examinar visualmente a superfície dos elementos de concreto da estrutura, como laje, vigamento principal e mesoestrutura, e de outros componentes, como juntas, aparelhos de apoio, guarda-corpos, pavimentação e revestimentos, objetivando-se conhecer a ponte em estudo e a partir daí, pode acompanhar suas mudanças ao longo do tempo relativas as falhas ou manifestações patológicas da estrutura.

As inspeções seguirão a ficha de inspeção cadastral, a qual encontra-se no Anexo 1, elaborada e seguindo critérios com base na NBR 9452 (2016).

4.3 Inspeções rotineiras

Como foi mencionado acima, o acompanhamento ao longo do tempo da ponte será realizado por meio de inspeções rotineiras, as quais devem ser realizadas num intervalo de tempo de no máximo um ano segundo a NBR 9472 (2016). Serão realizadas duas inspeções rotineiras ao todo, devido ao horizonte de tempo necessário para finalizar o trabalho.

Essas inspeções seguirão a ficha de inspeção rotineira, a qual encontra-se no apêndice B, elaborada e seguindo critérios com base da NBR 9452 (2016).

4.4 Definições de cargas atuantes

Para se estudar o comportamento de uma ponte em serviço, precisa-se quantificar os cargas permanentes dos elementos da ponte e as cargas móveis relativas ao tráfego de veículos.

4.4.1 Cargas permanentes

Serão levadas em consideração apenas as cargas referentes ao peso próprio da estrutura, as quais são o peso próprio da estrutura de concreto, peso próprio do revestimento asfáltico e peso próprio do guarda-corpo. Valendo citar que essas cargas atuantes são carregamentos distribuídos e atuam ao longo de toda a ponte.

4.4.2 Cargas móveis

Sabe-se que o trem tipo referente a carga móvel utilizada para dimensionar no tempo que a mesma foi projetada não foi o que está como padrão na NBR 7188 (2013). Tendo-se isso em vista, irá-se executar modelos com ambos os trens tipos, sendo esses o TB-36 e o TB-45.

4.5 Modelagem pelo método dos elementos finitos

Irá se modelar a ponte em dois softwares que utilizam o princípio do método dos elementos finitos, a fim de calcular os esforços internos que estão solicitando a estrutura. Valendo ressaltar que em ambos softwares, as respectivas análises devem obedecer o estado limite último (ELU) presente na NBR 6118 (2014).

4.5.1 FTOOL

Nesse software irá se executar quatro modelos, sendo duas referentes à situação de

projeto e outros duas referentes à situação atual da ponte.

Modelos referentes ao projeto:

- Modelo 1: Irá-se utilizar o TB-36 como trem tipo atuante na ponte, bem como o peso próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, utilizando os apoios com vínculos simplesmente apoiados.

- Modelo 2: Irá-se utilizar o TB-36 como trem tipo atuante na ponte, bem como o peso próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, utilizando os apoios com vínculos engastados.

Modelos referentes à situação atual:

- Modelo 1: Irá-se utilizar o TB-45 como trem tipo atuante na ponte, bem como o peso próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, utilizando os apoios com vínculos simplesmente apoiados.

- Modelo 2: Irá-se utilizar o TB-45 como trem tipo atuante na ponte, bem como o peso próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, utilizando os apoios com vínculos engastados.

4.5.2 Grelha

Nesse software será rodado quatro modelos, utilizando restrições semelhantes, sendo duas referentes à situação de projeto e outras duas referentes à situação atual.

Modelos referentes à situação de projeto:

- Modelo 1: Irá se utilizar o TB-36, bem como os pesos próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, com restrições do tipo 1 1 1 1 1 0 para apoios.

- Modelo 2: Irá se utilizar o TB-36, bem como os pesos próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, com restrições do tipo 1 1 1 1 1 1 para apoios.

Modelos referentes à situação atual:

- Modelo 1: Irá se utilizar o TB-45, bem como os pesos próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, com restrições do tipo 1 1 1 1 1 0 para apoios.

- Modelo 2: Irá se utilizar o TB-45, bem como os pesos próprios dos elementos citados na seção 2.4.1, com restrições do tipo 1 1 1 1 1 para apoios.

4.6 Critérios de análise visual da estrutura

Além de uma análise número acerca dos esforços internos atuantes na obra de arte especial, também será realizado análises visuais pautadas em duas NBR que estão em vigor.

4.6.1 NBR 9254 (2016)

Essa norma possui uma metodologia e critérios que serão utilizados para avaliar o estado atual de conservação da ponte. A metodologia pauta-se em notas, as quais tem por objetivo atribuir uma avaliação da condição da ponte em análise, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação segue o estabelecido na tabela abaixo, a qual encontra-se na Tabela 1 da NBR 9452 (2016) que correlaciona essas notas com a condição da obra de arte especial e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 1- Critérios de avaliação de pontes

Nota de Condição	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias. Apresentando defeitos irrelevantes e isolados	a OAE apresentam segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	a OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: NBR 9452 (2016)

4.6.2 NBR 6118 (2014)

Essa norma possui parâmetros que dizem respeito a um dos estados que devem ser obedecidos quanto ao projeto de uma estrutura de concreto armado, sendo esse o estado limite estado limite de serviço (ELS).

4.6.2.1 Estado limite de serviço de abertura de fissuras

ELS é o estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados na norma, o que confere uma segurança a estrutura de concreto armado.

A tabela abaixo, a qual encontra-se na NBR 6118 (2014), mostra os limites admissíveis de abertura de fissuras de diferentes tipos de concreto submetidos a diferentes classes de agressividade ambiental.

Tabela 2 - Fissuras admissíveis

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS -W Wk <= 0,4 mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS -W Wk <= 0,3 mm	
	CAA IV	ELS-W Wk <= 0,2 mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W Wk <= 0,2 mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-Da	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS - Da	Combinação frequente
a	A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com ap = 50 mm (Figura 3.1)		
NOTAS			
1	As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2		
2	Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens		
3	No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.		

Fonte: NBR 6118 (2014)

Como a região onde encontra-se a ponte está inserida na classe de agressividade 2, sendo a mesma projetada em concreto armado, conclui-se que o limite para abertura de fissuras não pode exceder 0,3 mm.

4.7 Análise dos resultados da modelagem

Após calculados os esforços, irá utilizar dos mesmos para procurar saber como a ponte está se comportando em relação aos seus esforços internos, sendo esses o momento fletor e o cortante próximo ao apoio devido ao peso próprio e ao veículo. Irá-se analisar também o deslocamento no meio do vão, uma vez que trata-se de outra variável importante na análise. É importante frisar que os resultados gerados, tanto no FTOOL como no Grelha, serão comparados entre si, o que possibilitará concluir acerca do estado atual de conservação da obra de arte especial em estudo.

4.8 Intervenção na estrutura

Após realizar-se as inspeções e fazer-se as análises dos resultados obtidos da modelagem em elementos finitos, visa-se aplicar uma proposta de intervenção, uma vez que as inspeções permitem inferir-se acerca de uma proposta de reparo e a modelagem analisará como estão se comportando os esforços, a fim de validar essa solução de reparo ou permitir a aplicação concomitante de um solução de reforço para a obra se arte especial em estudo, com o intuito de dar um melhor desempenho em serviço e prolongar sua vida útil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa a seção serão apresentados os resultados obtidos tanto da vistoria realizada segundo a NBR 9452, sendo essa uma análise qualitativa, como também da modelagem em softwares, o que se constitui em uma análise quantitativa dos esforços internos.

5.1 Análise qualitativa

Nessa análise utilizou-se a metodologia empregada conforme rege a NBR 9452 (2016).

5.1.1 Inspeção Cadastral

Essa vistoria, a qual foi realizada em 08/04/2017, teve por objetivo fazer um reconhecimento inicial da obra de arte especial, uma vez que não se conseguiu informações junto da SEINF (Secretaria de Infraestrutura do Município de Fortaleza) acerca do cadastro e

acompanhamento da ponte ao longo do tempo. Embora não se tenha obtido tais informações, pode-se apurar que a ponte sofreu um alargamento de sua sessão transversal, como mostrado no anexo A, durante o período posterior a 2010, o qual antecedeu a copa do mundo em 2014, tendo a mesma, provavelmente, sofrido um processo de intervenção com relação a recuperação/ reparo de sua estrutura.

Como previsto por norma e documentado em anexo, começou-se por localizar a ponte na região em que a mesma situa-se e caracterizando algumas medidas, como comprimento total, largura útil e largura, as quais foram medidas em campo e comparadas com as medidas de projeto. Valendo citar que ambas as medidas deram iguais e que o projeto encontra-se em anexo, bem como as tabelas utilizadas para classificar a obra de arte especial.

Classificou-se a ponte também quanto ao sistema construtivo que é o concreto armado, o qual é utilizado em larga escala no Brasil tanto para construções verticais como horizontais, como também natureza da transposição, material, seção tipo transversal e longitudinal e mesoestrutura. Todas essas informações encontram-se nas fichas em anexo, bem como informações particulares da obra de arte especial e da pista de tráfego.

Após essas etapas iniciais, teve-se que registrar as anomalias encontradas ao longo da estrutura. As manifestações patológicas encontradas foram fissuras nas longarinas, aparente esmagamento dos elementos de apoio, além de entupimento dos drenos, o que dificultava a saída da água e desgastou toda a estrutura do tabuleiro, e inúmeros pontos de armadura exposta. Encontrou-se também fissuras ao longo do pavimento asfáltico. É importante citar também que a obra de arte especial não possui uma placa de indicação como previsto na NBR 7188 (2013) e que seus encontros encontram-se sujos necessitando de um reajuste.

Também inseriu-se as seções transversal e longitudinal, bem como a planta baixa da ponte e um detalhe.

Por fim, classificou-se a ponte quanto os parâmetros de durabilidade, estrutural e funcional utilizando a tabela 1 da NBR 9452 (2016). No parâmetro estrutural classificou-se como 4, haja vista que a ponte possui armaduras expostas, fissuras e esmagamento dos elementos de apoio, embora pareça não comprometer a segurança estrutural. Já no parâmetro funcional classificou-se como também 4, pois a obra de arte especial, apesar de possuir alguns danos, não causa desconforto ou insegurança ao usuário, ela continua a cumprir a sua função diariamente. Com relação à Durabilidade classificou-se como 3, pois a ponte apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil em região de moderada a alta agressividade ambiental.

5.1.2 Inspeção Rotineira

Essa vistoria foi realizada no dia 29/07/2017, a qual teve o intuito de observar a evolução das anomalias da ponte ao longo do tempo. Inicialmente, realizou-se o mesmo protocolo da vistoria cadastral ao classificar a ponte, uma vez que é uma exigência da norma.

Com relação às manifestações patológicas, encontraram-se as mesmas sem nenhuma ou pouca evolução devido ao fato de intervalo de tempo entre as inspeções ter sido pequeno.

Ao final dessa inspeção, também classificou-se a obra de arte especial quanto aos parâmetros da NBR 9452 (2016) e obteve-se as mesmas classificações da inspeção cadastral, sendo 4 para o parâmetro estrutural, 4 para o funcional e 3 para a durabilidade. Valendo citar que não ocorreu variação pelo curto intervalo de tempo entre as inspeções e também pelo possível fato do fluxo de veículos ser praticamente constante naquela região ao longo do dia, uma vez que a região da Paulino Rocha trata-se de um corredor de atividades e via de acesso para muitas pessoas que vêm de bairros como parangaba, montese e mondubim dirigirem-se para trabalho ou faculdade.

5.2 Possível origem das manifestações patológicas

Tendo em vista que a obra de arte especial foi construída em 1972 e apesar de seu aspecto de desgaste, encontra-se segura segundo as inspeções realizadas conforme a NBR 9452 (2016), o que leva a conclusão de que a concepção na época do projeto foi bem feita, assim como o projeto em si e a execução. Os materiais, apesar as manifestações patológicas, também foram adequados, pois suportaram bem as solicitações impostas e a agressividade do meio ambiente.

Dentre as origens de manifestações patológicas, restou apenas a falta de manutenção, pois a ponte aparenta não ter sofrido intervenção ao longo de sua presente vida, uma vez que seu neoprene que deveria ter de 3 a 4 centímetros de altura, está tendo menos de 1 centímetro, o que prejudica a resistência da estrutura as solicitações impostas.

As longarinas apresentam algumas fissuras e inúmeros pontos de armaduras expostas, os quais anteriormente deveriam ser fissuras que evoluíram com o passar do tempo . As transversinas estão em um estado ainda pior, pois encontra-se o deterioramento do concreto que reveste as armaduras, tendo o cobrimento já sido inteiramente penetrado e sua respectiva armadura corroído, o que pode diminuir a capacidade resistente da ponte em um

curto ou longo prazo. O paramento da laje da do tabuleiro encontra-se desgastado e com aparência de estar corrugado, pelo fato da água não estar podendo escoar, uma vez que os drenos estão entupidos e não existir mais o funil por onde a água passa, ou seja, intervenções ao longo do tempo foram necessárias e foram negligenciadas pelo órgão fiscalizador.

5.3 Possíveis causas das manifestações patológicas

Como abordado na sessão de revisão bibliográfica, algumas das causas para as manifestações patológicas da ponte, ou seja, fatores que contribuíram para o agravamento de uma realidade de falta de manutenção, foram justamente ligados as condições de agressividade ambiental.

Segundo a cartilha de agressividade do Sinduscon, a região onde encontra-se a ponte está classificada como uma classe de agressividade ambiental 2, ou seja, uma região de ataque moderado quanto aos cloretos. No entanto, deve-se ter cuidado com esse fator ambiental, pois o cloreto é extremamente danoso a estrutura de concreto armado, haja vista que penetra pelo poros e forma uma ddp que propicia a formação de uma pilha eletrolítica que corroí a armadura de aço, aumentando seu diâmetro e expulsando o concreto, causando fissuras nos elementos estruturais.

Outros fatores que podem ter contribuído para o agravamento do estado de conservação da ponte são a carbonatação e o ataque por sulfatos. Esses dois estão intimamente ligados com o fato da ponte localizar-se em uma região de alto tráfego em uma área urbana, pois gases como anidrido carbônico (CO_2) e sulfatos (SO_2 e SO_3) são liberados a todo momento, podendo esses penetrar nos poros do concreto, contribuindo por destruir a reserva alcalina do concreto, diminuindo o PH favorável para a conservação da armadura de aço, o qual é igual a 13, favorecendo uma corrosão das barras de aço, aumentando seu diâmetro devido a formação de compostos de FeOH_2 , Fe_2OH_3 e FeO_2 e Fe_2O_3 , os quais formam a ferrugem, expulsando o concreto, causando fissuras e, consequentemente, expondo a armadura.

5.4 Terapia e Reparo

As medidas terapêuticas a serem tomadas segundo a avaliação da NBR 9452 (2016) visam a reestabelecer as dimensões geométricas dos elementos estruturais em deterioramento, reestabelecendo a resistência para suportar as solicitações diárias.

Nas regiões das transversinas e longarinas, as quais encontram-se com armaduras expostas, deve-se apicolar o concreto até chegar na armadura, a fim de executar uma limpeza na armadura e retirar o concreto envelhecido. Essa limpeza da armadura pode ser executada com jateamento de água e areia, visando retirar o acúmulo de ferrugem na superfície das barras de aço e permitir que a mesma trabalhe sem empecilhos. Após a limpeza, deve-se aplicar uma proteção por barreiras nas barras de aço, a fim de dificultar um desgaste futuro ocasionado pelos compostos CO₂, SO₂, SO₃ e que possuam cloreto em sua constituição.

Por fim, deve-se utilizar a tecnologia do concreto projetado para repor o concreto que foi retirado, utilizando formas para que as dimensões anteriores sejam obedecidas inteiramente e dando o acabamento necessário.

Com relação às fissuras das longarinas (Anexo A), deve-se injetar poliuretano, a fim de solidarizar as fissuras e impedir que as mesmas aumentem sua abertura, pois o esse polímero ao encontrar em contato com a água expande, preenchendo os espaços. Vale citar que as fissuras não foram quantificadas suas aberturas segundo a NBR 6118 (2014), devido a dificuldades de logística e segurança da região, mas aparentemente perceber que as fissuras existentes são maiores que a permitida por norma, devendo essas serem tratadas o mais rápido possível.

O paramento da superestrutura deve sofrer um polimento manual, objetivando deixar a superfície mais lisa e com acabamento melhor, melhorando o aspecto visual, o que leva a pensar que a superfície encontra-se bem conservada.

Os aparelhos de apoio de neoprene fretado devem ser substituídos por novos, uma vez que sua altura encontra-se reduzida por mais da metade, o que prejudica a transmissão dos esforços da superestrutura para a mesoestrutura.

Tanto os drenos como os encontros (Anexo A) devem passar por uma limpeza, uma vez que os drenos estão entupidos e precisam ser repostos os funis que nele existiam e os encontros estão completamente obstruídos por lixos jogados pela população, o qual prejudica sua integridade física. Devendo também ser realizado uma reconstituição nos encontros.

No pavimento asfáltico deve-se fresar o revestimento por completo e observar se as juntas que encontra-se abaixo dele estão trabalhando de maneira adequada, devendo, se necessário, realizar uma limpeza e manutenção dessas juntas, a fim de se evitar possíveis futuras fissuras no pavimento. Por fim, deve-se asfaltar novamente o trecho, respeitando espessuras consideráveis do pavimento asfáltico.

Vale citar que essas medidas foram apenas de reparo. Para se tomar uma medida que aumente a capacidade portante da estrutura, deve-se realizar análises em softwares de

elementos finitos para se justificar esse tipo de intervenção.

5.5 Análise quantitativa

Nessa análise visou-se modelar a ponte em estudo utilizando dois softwares executáveis que utilizam o MEF (Método dos Elementos Finitos), variando as condições de apoio da obra de arte especial, visando-se avaliar as mudanças relativas ao desgaste do neoprene ao longo do tempo em relação aos esforços internos da estrutura. Fez-se também a análise variando os trens-tipos, utilizando o do período de projeto, que é o TB-36 e o atual segundo a NBR 7188 (2013) que é o TB-45.

5.5.1 Dados utilizados

Para que esse modelos pudessem ser executados, necessitou-se inserir em ambos os programas informações importantes como módulo de elasticidade do concreto, coeficiente de Poisson do material e módulo cisalhante , além dos carregamentos utilizados e larguras colaborantes de cada trecho da ponte, uma vez que a inércia do trecho depende da determinação dessa largura.

5.5.1.1 Características do material

As características necessárias para execução foram calculadas da seguinte forma:

Resistência a compressão do concreto (Fck)

O valor da resistência a compressão foi retirado do projeto da obra de arte especial, sendo esse igual a 30 MPa.

Módulo de elasticidade secante (Es)

Esse valor foi encontrado utilizando a fórmula presente na NBR 6118 (2014), a qual encontra-se abaixo.

$$Es = 5600 * \left((Fck)^{\frac{1}{2}} \right) * \alpha_i * \left(0,8 + 0,2 * \left(\frac{Fck}{80} \right) \right)$$

E_s -> Módulo de elasticidade secante (MPa)

F_{ck} -> Resistência a compressão do concreto (MPa)

α_i -> Coeficiente que depende do agregado do concreto, sendo $\alpha_i = 1$, pois utiliza-se a gnaisse

$$E = 5600 * \left((30)^{\frac{1}{2}} \right) * 1 * (0,8 + 0,2 * \left(\frac{30}{80} \right))$$

$$E = 26838,41 \text{ MPa}$$

Módulo cisalhante do material (G)

O valor do módulo cisalhante do material foi encontrado utilizando uma fórmula adquirida dos conhecimentos acerca da resistência dos materiais.

$$G = \frac{E_s}{2 * (1 + \gamma)}$$

G -> Módulo cisalhante do material (MPa)

E_s -> Módulo de elasticidade secante do material (MPa)

γ -> Coeficiente de Poisson, sendo esse igual a 0,2, pois é o adotado por literatura para o concreto.

$$G = \frac{26838,41}{2 * (1 + 0,2)}$$

$$G = 11182,67 \text{ MPa}$$

5.5.1.2 Carregamentos

As cargas atuantes que foram consideradas para análise dos modelos encontram-se abaixo.

Peso Próprio do tabuleiro (Kn/m)

É sabido da literatura que o peso por metro cúbico do concreto armado (Kn/m^3) é igual a 25. Então, extraiu-se das plantas o valor da largura da pista, que é igual a 8,25 metros, e a altura igual a 30 centímetros. Vale citar que considerou-se apenas a metade da largura, uma vez que analisa até o meio da obra de arte especial devido a simetria da estrutura.

$$Pp = 25 * \left(\frac{L}{2}\right) * H$$

Pp -> Peso próprio do concreto (Kn/m)

L -> Largura da pista (m)

H -> Altura do tabuleiro (m)

$$Pp = 25 * \left(\frac{8,25}{2}\right) * 0,30$$

$$Pp = 30,94 \text{ Kn/m}$$

Peso próprio do revestimento asfáltico (Kn/m)

Tem-se também na literatura que o peso por metro cúbico do revestimento asfáltico (Kn/m^3) é igual a 24. Então, extraiu-se das plantas o valor da largura da pista, que é igual a 8,25 metros, e a altura igual a 7 centímetros. Vale citar que considerou-se apenas a metade da largura, uma vez que analisa até o meio da obra de arte especial devido a simetria da estrutura.

$$Pr = 24 * \left(\frac{L}{2}\right) * H$$

Pr -> Peso próprio do revestimento asfáltico (Kn/m)

L -> Largura da pista (m)

H -> Altura do revestimento (m)

$$Pr = 24 * \left(\frac{8,25}{2}\right) * 0,07$$

$$Pr = 6,93 \text{ Kn/m}$$

Peso do guarda corpo (Kn/m)

Para contabilizar o peso do guarda corpo presente na ponte, resolveu-se calcular o peso de um montante e, em seguida, multiplicar pelo número de montantes e dividir pelo comprimento longitudinal do tabuleiro. Valendo ressaltar que o ferro presente no guarda-corpo possui um peso irrelevante em relação ao do concreto armado.

$$Pm = 25 * Lm * Cm * Hm$$

Pm -> Peso próprio do montante (Kn)

Lm -> Largura em planta do montante (m). Esse é igual a 0,2 metros.

Cm -> Comprimento em planta do montante (m). Esse é igual a 0,2 metros.

Hm -> Altura do montante (m). Esse é igual a 1 metro.

$$Pm = 25 * 0,2 * 0,2 * 1$$

$$Pm = 1 \text{ Kn}$$

Se o peso de um montante equivale a 1 Kn e o número total de montante é igual a 39, pode-se concluir que todos os montantes pesam 39 Kn. Para transformar essa carga em carregamento distribuído, dividiu-se pelo comprimento longitudinal da ponte, que é igual à 39,6 metros. Então, concluiu-se que o carregamento resultante do guarda corpo equivale a 0,98 Kn/m.

Carregamento total (Kn/m)

Obteve-se somando as contribuições de todas as cargas atuantes.

$$Ct = Pp + Pr + Pm$$

Ct -> Carregamento total (Kn/m)

$$Ct = 30,94 + 6,93 + 0,98$$

$$Ct = 38,85 \text{ Kn/m}$$

5.5.1.3 Larguras colaborantes

Para que fosse possível executar e obter os resultados para análise teve-se que definir uma largura colaborante, a fim de calcular-se a inercia. Como a seção transversal da ponte varia, definiu-se duas larguras colaborantes.

Largura colaborante até 6,8 metros

Figura 29 - Seção transversal de 0 a 6,8 metros



Fonte: Autoria própria

Utilizando o comando massprop do AutoCad, extraiu-se características da largura colaborante.

Tabela 3- Dados da seção de 0 a 6,8 metros

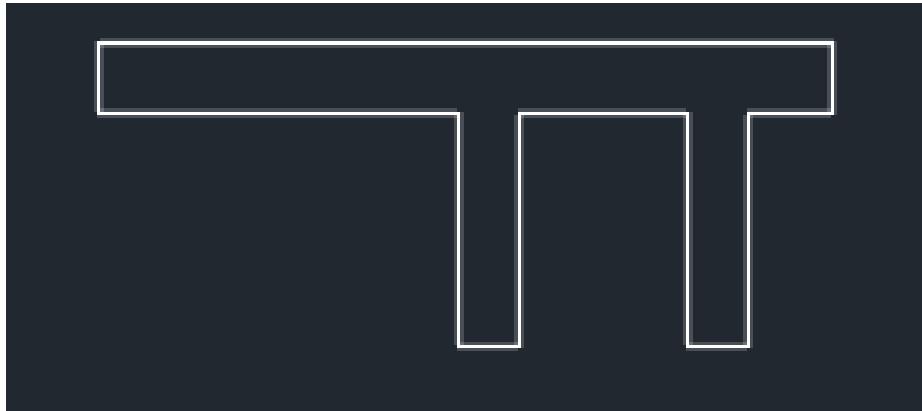
Área (m ²)	2,08
I _{xx} (m ⁴)	0,412
I _{yy} (m ⁴)	4,115
I _{zz} (m ⁴)	4,527

Fonte: Autoria própria

É válido ressaltar que essas características são válidas para todos os pontos discretizados presentes entre o ponto inicial até 6,8 metros da ponte, uma vez que como a viga é simétrica também se vale para os pontos diametralmente opostos da obra de arte especial.

Largura colaborante de 6,8 a 19,80 metros

Figura 30 - Seção transversal de 6,8 a 19,80 metros



Fonte: Autoria própria

Utilizando o comando massprop do AutoCad, extraiu-se características da largura colaborante.

Tabela 4 - Dados da seção de 6,8 a 19,80 metros

Área (m ²)	2,72
I _{xx} (m ⁴)	0,792
I _{yy} (m ⁴)	4,154
I _{zz} (m ⁴)	4,946

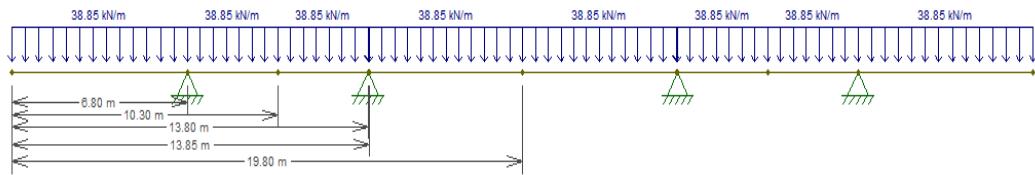
Fonte: Autoria própria

É válido ressaltar que essas características são válidas para todos os pontos discretizados presentes entre 6,8 até 19,80 metros da ponte, uma vez que como a viga é simétrica também se vale para os pontos diametralmente opostos da obra de arte especial.

Modelos

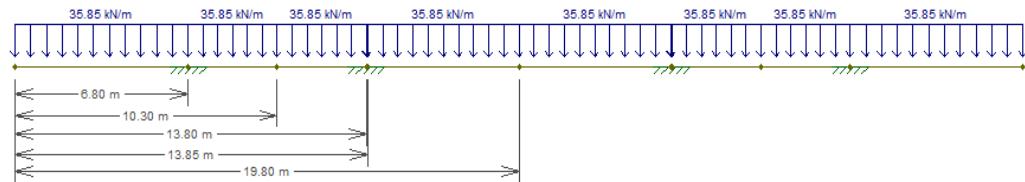
As figuras abaixo exemplificam-se os modelos inseridos no software e os pontos que serão avaliados quanto aos esforços internos.

Figura 31- Modelo simulando pilares apoiados



Fonte: FTOOL

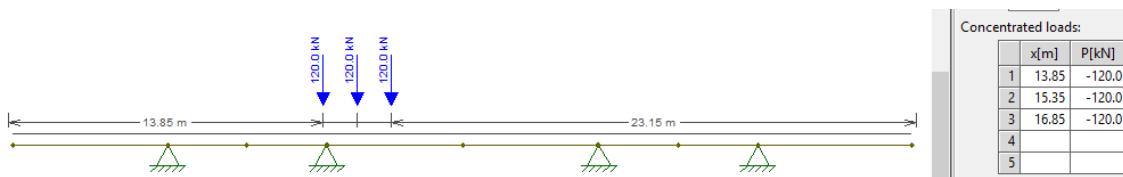
Figura 32 - Modelo simulando pilares engastados



Fonte: FTOOL

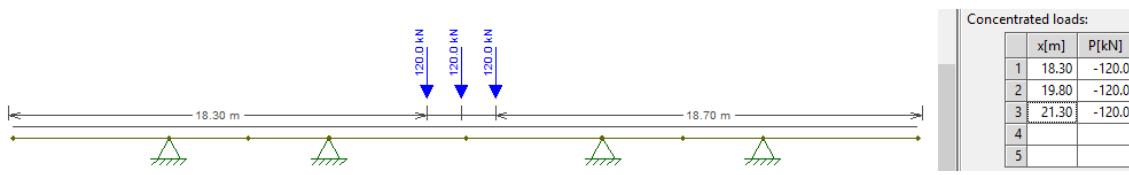
Além de alterar as condições de apoio, variou-se o trem-tipo, posicionando os nos pontos que os esforços são máximos, conforme a linha de influência gerada no FTOOL, tanto para o próprio FTOOL como para o Grelha.

Figura 33- Posicionamento do trem-tipo para cálculo do cortante



Fonte: FTOOL

Figura 34- Posicionamento do trem-tipo para cálculo do momento fletor



Fonte: FTOOL

As posições acima foram válidas tanto para o TB-36 como para o TB-45.

Vale citar que no grelha necessitou-se aplicar o um posicionamento específico

para o trem-tipo, a fim de obter o momento fletor negativo máximo em alguns pontos.

Figura 35- Posicionamento trem-tipo para momento fletor negativo máximo no grelha



Fonte: FTOOL

5.6.2 FTOOL

Executou-se o FTOOL utilizando os carregamentos calculados na seção (colocar número da seção) para avaliar a situação dos esforços internos, variando-se as condições de apoio da obra de arte especial e o trem-tipo da época de projeto, TB-36, e o atual da NBR vigente 7188 (2013), TB-45, a fim de se constatar se ocorreram modificações no valor dos esforços.

Tanto para o TB-36 como para o TB-45 calculou-se os esforços para a situação com somente o trem-tipo passando sobre a estrutura da ponte e a situação do carregamento permanente agindo sobre a obra de arte especial, aplicando-se em seguida o princípio da superposição dos efeitos para se calcular o esforços internos resultantes. As tabelas com os esforços detalhados até chegar na superposição encontram-se no Apêndice A.

Comparativo esforços internos TB-36 apoiado e engastado

Tabela 5 - Comparativo TB-36 FTOOL - Esforço Cortante

Comparativo TB-36 -> FTOOL - Esforço Cortante				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn) Apoiado	Valor (Kn) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	286,5	240	-16,23
3	10,3	-95,4	-5,3	-94,44
4	13,8	581,3	549,4	-5,49
5	13,85	554,1	548,5	-1,01
6	19,8	127,1	-116,7	-191,82

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 - Comparativo TB-36 FTOOL – Momento Fletor

Comparativo TB- 36->FTOOL - Momento Fletor				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m) Apoiado	Valor (Kn.m) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	-2806,2	-2736,9	-2,47
3	10,3	-1009,1	237,4	-123,53
4	13,8	-615,6	-1026,1	66,68
5	13,85	-592,7	-1002,7	69,17
6	19,8	1008,1	597,6	-40,72

Fonte: Autoria própria

Ao confrontar-se os valores de esforços internos, pode-se perceber que, na situação inicial, o aparelho de neoprene comporta-se como simplesmente apoiado e com o passar do tempo, o mesmo perde a capacidade de absorver os movimentos de translação e rotação a que o apoio é submetido, configurando-se como um engaste, pois não permite esses movimentos.

Pode-se perceber que o esforço cortante reduz ao longo do tempo, devido, justamente, a mudança de configuração do apoio, o que implica em uma redução de sobrecarga. No entanto, o momento fletor, embora diminua em alguns pontos e mantenha-se nos apoios mais extremos, modifica-se nos apoios intermediários e próximos a estes, sendo esses aumentos significativos, podendo levar a estrutura a colapso futuro se medida alguma não for tomada.

Comparativo esforços internos TB-45 apoiado e engastado

Tabela 7 - Comparativo TB-45 FTOOL – Esforço Cortante

Comparativo TB- 45->FTOOL - Esforço Cortante				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn) Apoiado	Valor (Kn) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	264,2	264,2	0,00
3	10,3	-63,2	-5,8	-90,82
4	13,8	-319,9	-278,9	-12,82
5	13,85	-780,2	-612,4	-21,51
6	19,8	216	145,9	-32,45

Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Comparativo TB-45 FTOOL – Momento Fletor

Comparativo TB- 45 -> FTOOL - Momento Fletor				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m) Apoiado	Valor (Kn.m) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	-3283,2	-3283,2	0,00
3	10,3	-1487,1	285,3	-119,18
4	13,8	-691,8	-1211,3	75,09
5	13,85	-698,4	-1183,7	69,49
6	19,8	1385,4	711,2	-48,66

Fonte: Autoria própria

Pode-se perceber que os esforços internos reduziram também com aplicação do TB-45 em determinados pontos, embora os percentuais sejam um pouco menores em relação ao TB-36. Contudo, o momento fletor continua a aumentar nos pilares intermediários em percentuais maiores, o que configura uma maior sobrecarga sobre estes, o que implica dizer que as pontes dimensionadas após a última atualização da NBR 7188 suportam esforços maiores.

5.6.3 Grelha

Executou-se também o Grelha para avaliar a situação dos esforços utilizando o trem-tipo TB-36 e o TB-45, a fim de se constatar se ocorreram modificações no valor dos esforços internos. As tabelas com os esforços detalhados até chegar na superposição encontram-se no Apêndice A.

Comparativo esforços internos TB-36 apoiado e engastado

Tabela 9- Comparativo TB-36 Grelha – Esforço Cortante

Comparativo TB- 36 -> Grelha - Esforço Cortante				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m) Apoiado	Valor (Kn.m) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	295,439	264,18	-10,58
3	10,3	-77,443	-6,885	-91,11
4	13,8	610,868	580,86	-4,91
5	13,85	608,926	578,917	-4,93
6	19,8	90,686	-151,985	-267,59

Fonte: Autoria própria

Tabela 10 - Comparativo TB-36 Grelha – Momento Fletor

Comparativo TB- 36->Grelha - Momento Fletor				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m) Apoiado	Valor (Kn.m) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	-2806,212	-2806,212	0,00
3	10,3	-1081,039	118,977	-111,01
4	13,8	-596,303	-1053,307	76,64
5	13,85	-575,696	-913,724	58,72
6	19,8	1047,997	664,97	-36,55

Fonte: Autoria própria

Assim como no FTOOL, observa-se uma redução do esforço cortante em toda extensão da ponte e uma aumento do momento fletor na seção dos apoios intermediários e em uma seção distante 0,5 metros dos mesmos.

Comparativo esforços internos TB-45 apoiado e engastado

Tabela 11- Comparativo TB-45 Grelha – Esforço Cortante

Comparativo TB- 45-> Grelha - Esforço Cortante				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn) Apoiado	Valor (Kn) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	264,18	264,18	0,00
3	10,3	-53,167	-6,885	-87,05
4	13,8	-360,673	-289,899	-19,62
5	13,85	-689,812	-538,878	-21,88
6	19,8	39,089	32,808	-16,07

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Comparativo TB-45 Grelha – Momento Fletor

Comparativo TB- 45-> Grelha - Momento Fletor				
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m) Apoiado	Valor (Kn.m) Engastado	Alteração (%)
1	0	0	0	0,00
2	6,8	-3283,212	-3283,212	0,00
3	10,3	-1270,534	118,977	-109,36
4	13,8	-689,423	-1063,705	54,29
5	13,85	-666,566	-1040,849	56,15
6	19,8	1134,877	760,595	-32,98

Fonte: Autoria própria

Como visto no FTOOL, o momento fletor aumentou apenas na seção dos apoios intermediários e na seção próxima destes apoios, embora esse aumento tenha sido menor que na situação do TB-36, podendo ser explicado pelo fato do Grelha ser um software 3D, o qual possui matrizes de rigidez diferentes das empregadas no FTOOL. O esforço cortante reduziu

em todos os pontos da superestrutura da ponte com a mudança de apoiado para engastado.

Observando os resultados gerados em ambos os softwares pode-se concluir que a ponte necessita apenas de um reparo imediato, assim como uma intervenção com relação a substituição dos elementos de apoio, uma vez que esses são fundamentais na transmissão dos esforços para fundação. Pode se empregar também um reforço nos pilares mais solicitados, no caso os intermediários, no entanto essa alternativa é mais onerosa e requer toda uma mobilização de profissionais altamente especializados.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Pode-se concluir que a origem das manifestações patológicas relativas à ponte de concreto armado da Avenida Paulino Rocha foram decorrentes de falta de acompanhamento e manutenção ao longo do tempo, uma vez que essa ponte foi construída por volta de 1972 e encontra-se executando sua função perfeitamente e contribuindo para que muitas pessoas desloquem-se para seus respectivos destinos ao longo do dia.

Com relação à causa das manifestações patológicas apresentadas pela obra de arte especial, tem-se a ideia que a região onde a mesma encontra-se é classe de agressividade ambiental II quanto ao ataque por cloretos e bastante movimentada em todos os dias da semana, o que caracteriza-se por uma liberação intensa de anidrido carbônico (CO₂) e gases contendo enxofre em sua composição, sendo esses SO₂ e SO₃. Esses compostos mencionados anteriormente podem ter contribuído por uma fissuração da estrutura em determinados pontos de armadura exposta, urgindo-se de ensaios, os quais podem ser realizados em trabalhos futuros, para comprovar essa tese.

Vale citar que devido a logística e segurança não conseguiu-se medir as aberturas de fissuras, uma vez que necessitava-se de andaimes e os pontos que no passado, com certeza, foram fissuras, encontram-se como armaduras expostas.

Ao se fazer a análise nos softwares com relação aos esforços internos atuantes a estrutura, percebeu-se que ao simular a condição inicial dos aparelhos de apoio como simplesmente apoiado e comparando com a situação atual de desgaste do mesmo, sendo essa de engastamento, os esforços de cortante reduzem em percentuais de 1,01% a 191,82% no FTOOL e de 10,58% a 267,59% no Grelha para o trem-tipo TB-36. Em relação ao momento fletor, essas reduções ocorrem apenas nos pontos localizados a 10,3 metros e 19,80 metros da extremidade da ponte, uma vez que os pontos localizados na extremidade e 6,8 metros da extremidade não variam com relação ao momento. Já com relação aos pontos distantes 13,80 metros e 13,85 metros ocorreu uma aumento do momento fletor de 66,68% a 69,17% no FTOOL e 58,72% a 76,64% no Grelha para o TB-36.

Importante citar que a mesma análise para o trem-tipo TB-45 resultou nas mesmas conclusões para o TB-36, fazendo a ressalva que o aumento do momento fletor nos apoios intermediários da obra de arte especial é ainda maior, o que urge que intervenções sejam tomadas com o intuito de preservar essa estrutura em condições admissíveis de funcionamento por longos anos. Dentre essas intervenções, destaca-se a substituição dos aparelhos de apoio como forma de retornar a ponte a sua situação inicial de projeto com relação a absorção dos

esforços solicitantes e um reforços estrutural utilizando fibras de carbono ou encamisamento nos pilares intermediários.

REFERÊNCIAS

- SOUZA, I. M. R.** **Estruturação de um Sistema para Cadastro de Pontes Rodoviárias.** 2011. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- MENDES, P. T. C.** **Contribuições para um Modelo de Gestão de Pontes de Concreto Aplicado à Rede de Rodovias Brasileiras.** 2009. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.** **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **DNIT 010:** Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **DNIT 122:** Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 9452:** Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7118:** Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.
- CÁNOVAS, M. F.** **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.
- CASCUDO, Oswaldo.** **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia: Editora UFG, 1997. 237 p.
- SOUZA, V. C.; RIPPER, T.** **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 255 p.
- ZAMBERLAN, F.** **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa maria, 2013.
- TRINDADE,D. S.** **Patologia em estruturas de concreto armado.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.
- ZUCHI,F. L.** **Técnicas para o reforço de elementos estruturais.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

Sousa, I. M. R. **Estruturação de um sistema para cadastro de pontes rodoviárias.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

BRANCO, H.A.P. **Colapsos de pontes: Lições aprendidas.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa , 2013.

MOTTI, L. **Vistoria de pontes e viadutos em concreto: Procedimentos técnicos.** 2007. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Tuiuti do Paraná. Tuiuti , 2007.

FUSCO, Pericles. **Técnica de armar as estruturas de concreto.** São Paulo: Pini. 392p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil:** causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.

HIGUERO V. A. **Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados com fibras de vidrio, carbono y aramida.** Universidad politécnica de Madrid. Madrid, 2010.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções.** In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2007, 3, 2007, Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.

GONÇALVES, E.A.B. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** Universidade do Rio de Janeiro/ Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2015.

MACHADO, R.N.; SARTORTI, A.L. **Pontes: Patologias em Aparelhos de Apoio.** In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS 2010, Córdoba, Argentina.

CAMPOS, A.M.R. **Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza-CE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.

ANEXO A

Tabela A.1 – Modelo de ficha de inspeção cadastral

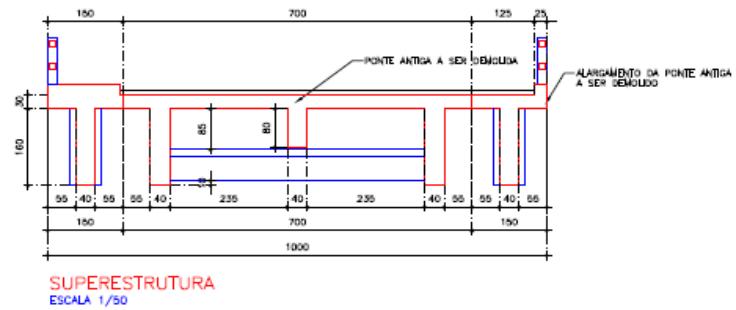
Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2017	OAE Código: Não aplicável
Jurisdição (Orgão, Concessão ou outro): Seinf	Data da inspeção: 08/04
Parte I – Cadastro	
A - Identificação e localização	
Via ou município: Fortaleza	Sentido: Castelão – Oliveira Paiva
Obra: Ponte sobre o Rio Cocó na CE	Localização (km ou endereço): Av. Paulino Rocha
Ano da construção: 1972	Projetista: Hugo A. Mota
Trem-tipo: TB-36	Construtor: Informação desconhecida
B - Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 39,62	Largura total (m): 10,0
	Largura útil (m): 7,72
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A.5): 1
Seção tipo: Seção transversal em grelha apoiadas em vigas de concreto armado	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 2	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 4 linhas de apoio com 2 pilares por linha
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 2	Infraestrutura (ver Tabela A.2): -
Características particulares	
Número de vãos: 3	Comprimento do vão típico (m): 6,30
Número de apoios: 4	Comprimento do maior vão (m): 11,40
Número de pilares por apoio: 2	Altura dos pilares (m): 5 a 6 metros
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 4. Neonorene	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): inexistente
Encontros: Muro de alvenaria de pedra argamassada	
Outras peculiaridades (exemplos: existência de dentes Gerber, no caso de seção celular registrar se há acesso):	
C - Características funcionais	
Características plani-altimétricas	
Região plana	

Tabela A.1 (continuação)

Características da pista	
Número de faixas: 2	Largura da faixa (m): 2,36
Acostamento: inexistente	Largura do acostamento (m): inexistente
Refúgios: inexistente	Largura do refúgio (m): -
Passeio: somente em uma das laterais	Largura do passeio (m): 1,20
Barreira rígida: inexistente	Guarda-corpo: em ambas as laterais
Pavimento (asfáltico, concreto): asfáltico	Drenos:
Pingadeiras:	
Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): Não aplicável	Gabarito navegável da ponte (m): Não aplicável
Tráfego	
Frequencia de passagem de carga especial: -	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: Deterioração do paramento de concreto com inúmeros pontos de armadura exposta	
Mesoestrutura: Os pilares encontram-se em bom estado de conservação	
Infraestrutura: Não foi analisado	
Aparelhos de apoio: Aparente esmagamento do aparelho de apoio do neoprene fretado	
Juntas de dilatação: inexistente	
Encontros: -	
Outros elementos:	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: Fissuras ao longo de toda extensão transversal na ponte	
Acostamento, refúgio e passeios: Encontra-se em boas condições	
Drenagem: Drenos entupidos e não desempenhando sua função	
Guarda - corpos: Encontram-se em bom estado de conservação	
Barreira de concreto /Defensa metálica: inexistência dos elementos	
C - Outros elementos	
Taludes: não aplicável	
Iluminação: não aplicável	
Sinalização: Ausência de placa indicando a nomeação da ponte Segundo a NBR 7188 (2013)	

Tabela A.1 (continuação)

Gabaritos: -	
Proteção de pilares: -	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
* Fissuras – Aplicar poliuterano;	
* Armadura exposta – Aplicoamento, Jateamento de água e areia, Aplicar proteção por barreiras, Aplicar concreto Projetado;	
* Paramento – Aplicar polimento;	
* Dreno – Limpar e repor o funil;	
* Encontros – Limpar e reajustar.	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 4
Durabilidade: 3	
Justificativas:	
Estrutural – Classificou-se como 4, pois apesar de a ponte possuir armaduras expostas, fissuras e esmagamento dos elementos de apoio, parece não comprometer a segurança estrutural.	
Funcional – Classificou-se como 4, pois a obra de arte especial, apesar de possuir alguns danos, não causa desconforto ou insegurança ao usuário.	
Durabilidade – Classificou-se como 3, pois a ponte apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil em região de moderada a alta agressividade ambiental.	
Croquis	
Planta do tabuleiro	
<p>VISTA INFERIOR</p>	
Corte longitudinal	
<p>CORTE LONGITUDINAL ESCALA 1/75</p>	
Corte transversal	



Detalhes adicionais

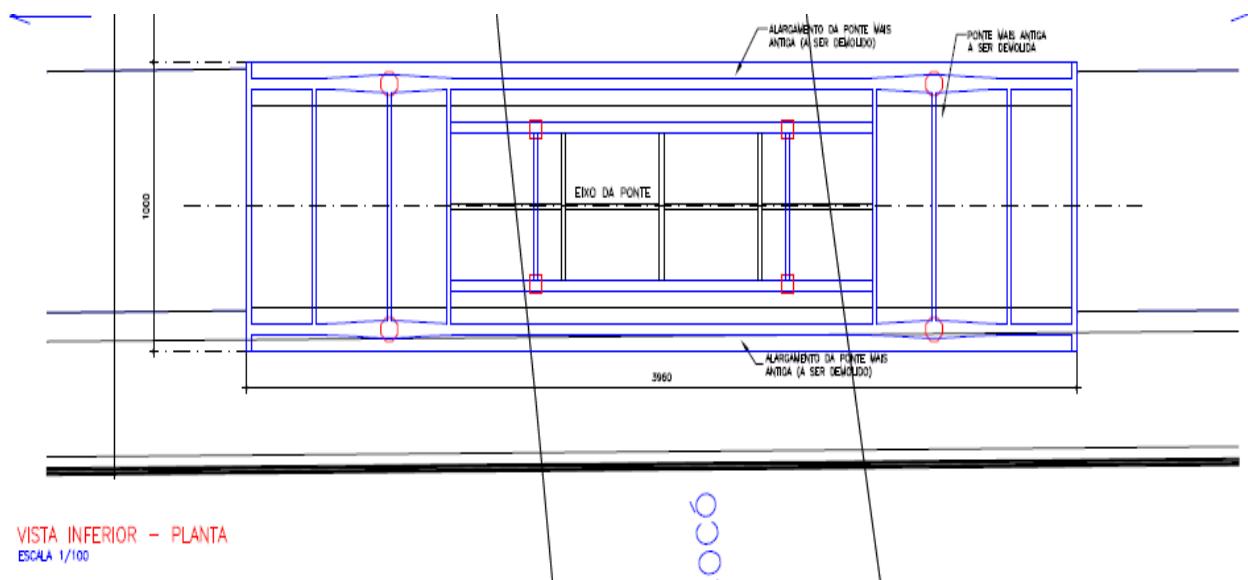
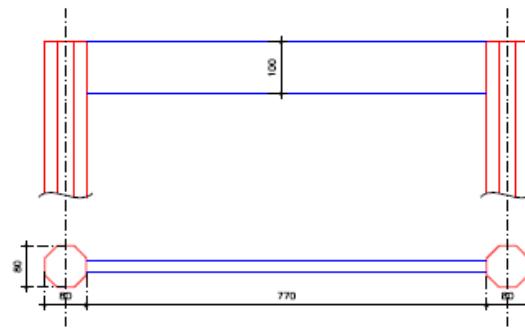


Tabela A.1 (continuação)

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)

Figura 1 – Armadura exposta da transversina e fissuras na longarina



Figura 2 – Fissuras na longarina



Figura 3 – Esmagamento do elemento de apoio



Figura 4 – Fissuras no pavimento



Figura 5 – Armadura exposta da transversina



Figura 6 – Guarda-corpo em boas condições



Figura 7 – Armadura exposta na laje do tabuleiro



Figura 8 – Pilares em boas condições



Figure 9 – Ausência ou entupimento dos drenos da ponte



Figura 10 – Encontro sujo e modificado



Figura 12 – Ausência de placa de indicação da ponte



Tabela B.1 – Modelo de ficha de inspeção rotineira

Inspeção rotineira (ano): 2017	OAE Código:
Jurisdição (Orgão, Concessão ou outros): Seinf	Data da inspeção: 29/07/2017
PARTE I – Informações gerais	
A - Identificação e localização	
Via ou município: Fortaleza	Sentido: Castelão – Oliveira Paiva
Obra:	Localização (km ou endereço): Av. Paulino Rocha
B - Histórico das inspeções	
Inicial: 29/07/2017	Última rotineira: 29/07/2017
Especial:	
C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento	
Reparos: sem registros	
Alargamento: Alargamento da seção transversal da ponte devido a duplicação do trecho em que a mesma encontra-se.	
Reforços: sem registros	
PARTE II - Registro de manifestações patológicas	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: Deterioração do paramento de concreto com inúmeros pontos de armadura exposta	
Mesoestrutura: Os pilares encontram-se em bom estado de conservação	
Infraestrutura: não foi analisado	
Aparelhos de apoio: Aparente esmagamento do aparelho de apoio do neoprene fretado	
Juntas de dilatação: inexistente	

Tabela B.1 (continuação)

Encontros: encontram-se bastante obstruídos pela sujeira local	
Outros elementos:	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: Fissuras ao longo de toda extensão transversal na ponte	
Acostamento e refúgio: Encontra-se em boas condições	
Drenagem: Drenos entupidos e não desempenhando sua função	
Guarda-corpos: Encontram-se em bom estado de conservação	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: inexistência dos elementos	
C - Outros elementos	
Taludes: não aplicável	
Iluminação: não aplicável	
Sinalização: Ausência de placa indicando a nomeação da ponte Segundo a NBR 7188 (2013)	
Gabaritos: não aplicável	
Proteção de pilares: não aplicável	
D - Informação complementares	
Região plana	
E - Recomendações de terapia	
* Fissuras – Aplicar poliuterano; * Armadura exposta – Aplicoamento, Jateamento de água e areia, Aplicar proteção por barreiras, Aplicar concreto Projetoado; * Paramento – Aplicar polimento; * Dreno – Limpar e repor o funil; * Encontros – Limpar e reajustar.	
PARTE III – Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 4
Durabilidade: 3	
Justificativas	
Estrutural – Classificou-se como 4, pois apesar de a ponte possuir armaduras expostas, fissuras e esmagamento dos elementos de apoio, parece não comprometer a segurança estrutural.	
Funcional – Classificou-se como 4, pois a obra de arte especial, apesar de possuir alguns danos, não causa desconforto ou insegurança ao usuário.	
Durabilidade – Classificou-se como 3, pois a ponte apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil em região de moderada a alta agressividade ambiental.	

Tabela B.1 (continuação)

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)

Figura 1 – Esmagamento do neoprene



Figura 2 – Armadura exposta na transversina do apoio extremo



Figura 3 – Armadura exposta na longarina



Figura 4 – Armadura exposta na laje do tabuleiro



Figura 5 – Desgaste e armadura exposta na laje do tabuleiro



Figura 6 – Armadura exposta na viga próxima ao encontro



Figura 7 – Passeio em boas condições



Figura 8 – Fissuras no pavimento



ANEXO B

ANEST3D
MANUAL DE UTILIZAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo, facilitar a utilização do programa ANEST3D.EXE, uma versão que engloba elementos de pórtico com 12 graus de liberdade ao programa ANEST. Ele foi desenvolvido para auxiliar a análise de dados durante a elaboração da dissertação de mestrado de Hugo Campêlo Mota, no Ano de 2016 na COPPE-UFRJ.

ANEST3D.EXE é um programa escrito em linguagem estruturada Fortran e aproveita a estrutura já utilizada pelo programa ANEST, também desenvolvido COPPE-UFRJ.

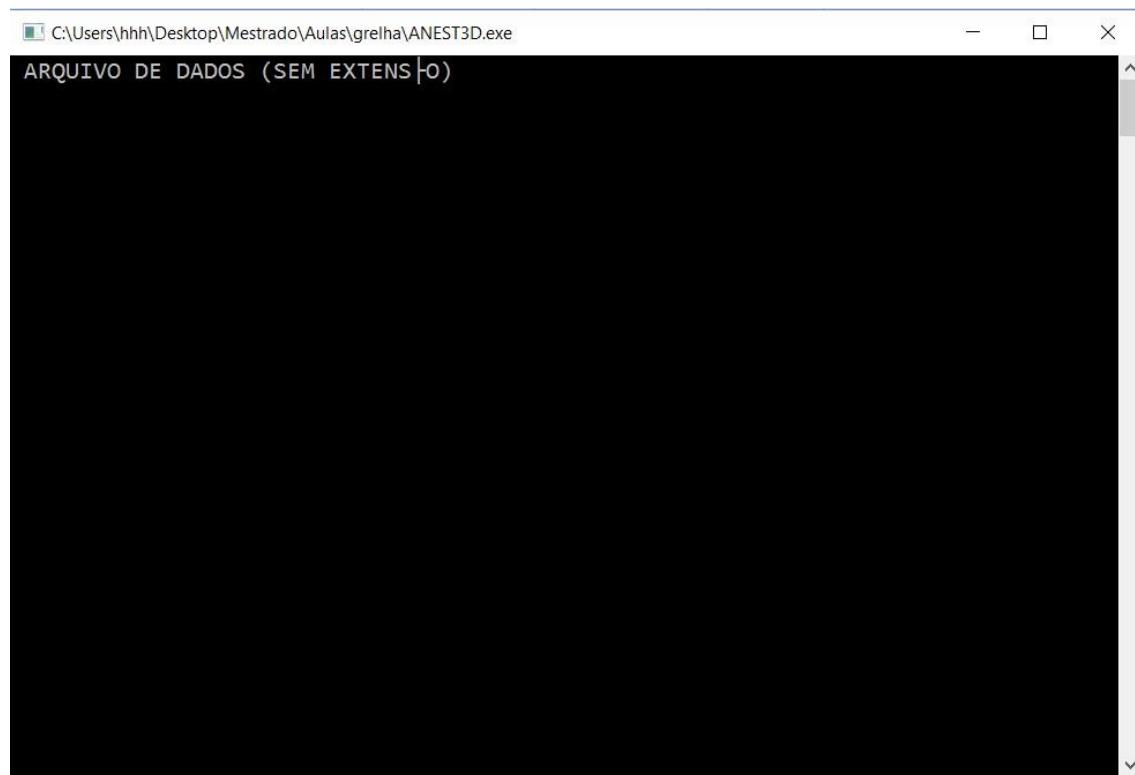
2. CONFIGURAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO

A utilização do programa na forma executável, necessita apenas que o computador possua um sistema operacional **windows 7, 8 ou versões mais modernas** do mesmo.

Muita vezes se faz necessário a compilação do arquivo fonte para que se possa alterar o programa original. Para tanto, se faz necessário que o **compilador fortran esteja instalado** no computador, bem como um ambiente para manipulação do código, se recomenda a utilização do Visual Studio 2010 ou versões mais modernas.

3. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA EXECUTÁVEL

O funcionamento do programa deve seguir a sequência lógica descrita abaixo: Ao se iniciar o executável ANEST3D.EXE a seguinte tela deverá aparecer.

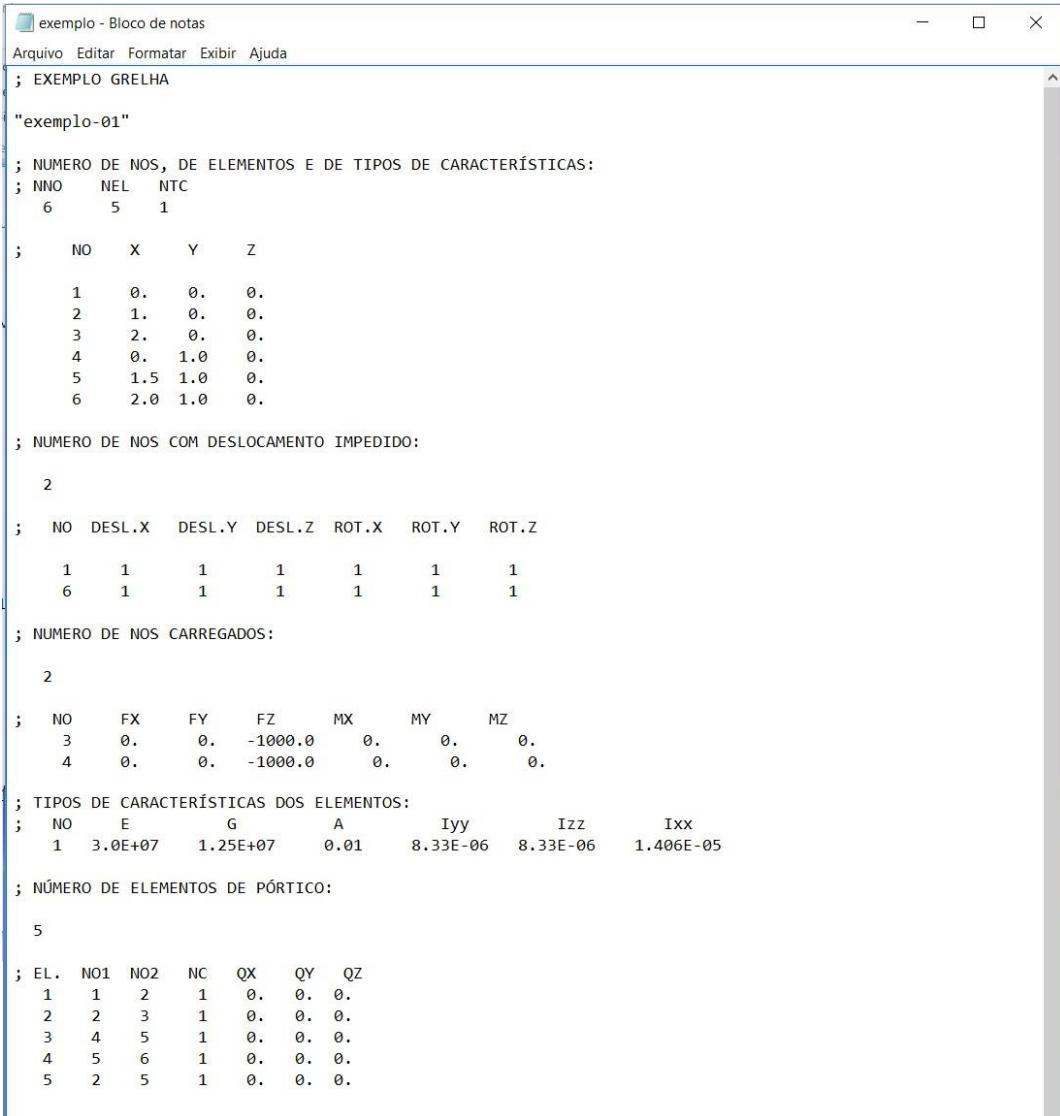


Deve-se digitar o **nome do arquivo de entrada sem nenhuma extensão**. Este arquivo também **deve estar localizado na mesma pasta do arquivo executável**. Depois que se digita o nome do arquivo, e os dados de entrada estiverem corretos, a tela fechará e o arquivo de saída será gerado na mesma pasta com a extensão .SAI

Dica: Para criar um arquivo sem extensão você deve habilitar esta opção no seu sistema operacional ou escrever o nome entre aspas ‘nome’.

4. O ARQUIVO DE ENTRADA

O arquivo de entrada é o local onde está contido todos os dados de entrada necessários para a solução do problema, ele deve estar nomeado sem extensão e possui a forma mostrada no exemplo abaixo.



```

; exemplo - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
; EXEMPLO GRELHA
"exemplo-01"

; NUMERO DE NOS, DE ELEMENTOS E DE TIPOS DE CARACTERÍSTICAS:
; NNO      NEL      NTC
    6        5        1

;     NO      X       Y       Z

    1      0.      0.      0.
    2      1.      0.      0.
    3      2.      0.      0.
    4      0.      1.0     0.
    5      1.5     1.0     0.
    6      2.0     1.0     0.

; NUMERO DE NOS COM DESLOCAMENTO IMPEDIDO:

    2

;     NO      DESL.X     DESL.Y     DESL.Z     ROT.X     ROT.Y     ROT.Z

    1      1          1          1          1          1          1
    6      1          1          1          1          1          1

; NUMERO DE NOS CARREGADOS:

    2

;     NO      FX       FY       FZ       MX       MY       MZ
    3      0.      0.      -1000.0     0.      0.      0.
    4      0.      0.      -1000.0     0.      0.      0.

; TIPOS DE CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS:
;     NO      E       G       A       Iyy       Izz       Ixx
    1      3.0E+07   1.25E+07   0.01     8.33E-06   8.33E-06   1.406E-05

; NÚMERO DE ELEMENTOS DE PÓRTICO:

    5

; EL.      NO1      NO2      NC      QX      QY      QZ
    1      1          2          1          0.      0.      0.
    2      2          3          1          0.      0.      0.
    3      4          5          1          0.      0.      0.
    4      5          6          1          0.      0.      0.
    5      2          5          1          0.      0.      0.

```

As linhas que são iniciadas com “;” são completamente desconsideradas pelo programa e são utilizadas apenas para facilitar a organização dos dados de entrada.

A primeira linha lida pelo programa é o título do arquivo no caso “ exemplo-01”. A segunda linha são dados iniciais do problema que são:

NNO- Número total de nós do problema

NEL- Número total de elementos do problema

NTC-Número total de caractéristicas

Segue a leitura das coordenadas dos nós já utilizando o valor de entrada NNO para saber quantos nós serão lidos. Os dados de leitura dos nós são os descritos abaixo.

NO- Número do nó

X- coordenda referente ao eixo x global no nó

Y- coordenda referente ao eixo y global no nó

Z- coordenda referente ao eixo z global no nó

Na sequência é lido a quantidade de nós com deslocamento impedido, ou seja nós que possuem algum grau de liberdade restrinido.

NNV- Número de nós com grau de liberdade restrinido (Vínculos)

Para cada nó restrinido deve-se indicar qual grau de liberdade está restrinido utilizando o número 1 e qual está livre utilizando o número 0.

NO- Número do nó

Desl.X- Grau de liberdade referente ao deslocamento ao longo do **eixo x global**

Desl.Y- Grau de liberdade referente ao deslocamento ao longo do **eixo y global**

Desl.Z- Grau de liberdade referente ao deslocamento ao longo do **eixo z global**

ROT.X- Grau de liberdade referente a rotação em torno do **eixo x global**

ROT.Y- Grau de liberdade referente a rotação em torno do **eixo y global**

ROT.Z- Grau de liberdade referente a rotação em torno do **eixo z global**

Lê-se agora, os dados referentes aos carregamentos nodais:

NO- Número do nó

FX- Componente da força nodal ao longo do **eixo x global** FY-

Componente da força nodal ao longo do **eixo y global** FZ-

Componente da força nodal ao longo do **eixo z global**

MX- Componente do momento nodal ao longo do **eixo x global**

MY- Componente do momento nodal ao longo do **eixo y global**

MZ- Componente do momento nodal ao longo do **eixo z global**

Observação: As forças podem utilizar qualquer sistema de unidades, porém o mesmo deve ser adotado para as características das seções, dos materiais e carregamentos.

Em sequência o programa lê as características da seção e do material dos elementos:

NO- Número do nó

E- Módulo de elasticidade do material

G- Módulo de elasticidade transversal do elemento

Lembrando que G é o módulo de cisalhamento e Y é o coeficiente de Poisson.

A- Área da seção transversal

Iyy- Inércia a rotação da seção em torno do **eixo y local**

Izz- Inércia a rotação da seção em torno do **eixo z local**

Ixx- Inércia a **torção** da seção em torno do **eixo x local**

Na sequência, se lê o número de elementos de pórtico para o problema:

NELP- Número total de elementos de pórtico

Se fez necessário diferenciar NELP de NEL para futuras implementações de elementos de treliça.

É lido agora os dados referentes aos elementos:

EL- Número do elemento

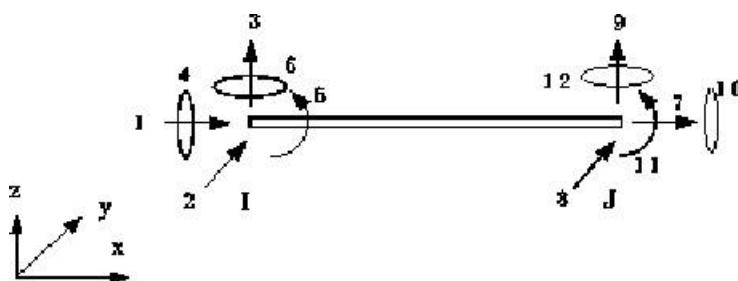
NO1- Número do nó i NO2-

Número do nó j

O eixo x local é definido automaticamente como a direção entre os nós i-j

O eixo y local é definido automaticamente como a única direção perpendicular ao eixo x local e z global.

O eixo z local é definido automaticamente como a única direção perpendicular ao eixo x local e y local.



NC- Número da característica do elemento

QX- Carregamento distribuído uniformemente ao longo do elemento **no eixo x local**

QY- Carregamento distribuído uniformemente ao longo do elemento **no eixo y local**

QZ- Carregamento distribuído uniformemente ao longo do elemento **no eixo z local**

5. O ARQUIVO DE SAÍDA

O arquivo de saída além de possuir os esforços e reações ele também possui todos os dados de entrada. Isso para facilitar a utilização do programa e ajudar a encontrar possíveis falhas no arquivo de entrada.

Como o ANEST3D escreve no arquivo de saída logo após ler cada linha de entrada, se pode verificar o arquivo de saída mesmo que o programa não tenha funcionado corretamente. Deve-se portanto, fazer uma **leitura cuidadosa do arquivo de saída**, para garantir que o problema tenha sido lido corretamente pelo programa.

exemplo.sai - Bloco de notas							
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda							
exemplo-01							
ANÁLISE ESTÁTICA LINEAR DE ESTRUTURAS DE BARRAS NO ESPAÇO							
PONTOS NODAIS:							
NÓ	X	Y	Z				
1	0.0000	0.0000	0.0000				
2	1.0000	0.0000	0.0000				
3	2.0000	0.0000	0.0000				
4	0.0000	1.0000	0.0000				
5	1.5000	1.0000	0.0000				
6	2.0000	1.0000	0.0000				
VÍNCULOS:							
NÓ	DESL.X	DESL.Y	DESL.Z	ROT.X	ROT.Y	ROT.Z	
1	1	1	1	1	1	1	
6	1	1	1	1	1	1	
FORÇAS NODAIS:							
NÓ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	
3	0.00000	0.00000	-1000.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
4	0.00000	0.00000	-1000.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS:							
CARACT.	E	A	G	Iyy	Izz	Ixx	
1	0.300E+08	0.125E+08	0.100E-01	0.833E-05	0.833E-05	0.141E-04	
ELEMENTOS DE PÓRTICO:							
ELEM.	NÓ1	NÓ2	CARACT	QX	QY	QZ	
1	1	2	1	0.00000	0.00000	0.00000	
2	2	3	1	0.00000	0.00000	0.00000	
3	4	5	1	0.00000	0.00000	0.00000	
4	5	6	1	0.00000	0.00000	0.00000	
5	2	5	1	0.00000	0.00000	0.00000	
DESLOCAMENTOS:							
NÓ	DESL.X	DESL.Y	DESL.Z	ROT.X	ROT.Y	ROT.Z	
1	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	
2	0.000000000	0.000000000	-1.347328827	0.836638665	2.205195933	0.000000000	
3	0.000000000	0.000000000	-4.886391640	0.836638665	4.205996254	0.000000000	
4	0.000000000	0.000000000	-8.524130790	0.338725042	-6.770117719	0.000000000	
5	0.000000000	0.000000000	-0.619854572	0.338725042	-2.268316998	0.000000000	
6	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	
DESLOCAMENTOS NAS LIBERAÇÕES LOCAIS:							
ELEM.	DESLOC.	VALOR					
ESFORÇOS NO ELEMENTOS DE PÓRTICO:							
ELEM.	NÓ	NX	QY	QZ	Mxx	Myy	Mzz
1	1	0.000	0.000	733.899	-147.039	-918.028	0.000
	2	0.000	0.000	-733.899	147.039	184.129	0.000
2	2	0.000	0.000	1000.000	-0.000	-1000.000	0.000
	3	0.000	0.000	-1000.000	0.000	0.000	0.000
3	4	0.000	0.000	-1000.000	0.000	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	1000.000	0.000	1500.000	0.000
4	5	0.000	0.000	-1266.101	119.062	-817.180	0.000
	6	0.000	0.000	1266.101	-119.062	1450.230	0.000
5	2	0.000	0.000	-266.101	663.979	496.384	0.000
	5	0.000	0.000	266.101	-663.979	-198.874	0.000
ESFORÇOS NO ELEMENTOS DE TRELIÇA: (TRAÇÃO +)							
ELEM.	N						
REAÇÕES DE APOIO:							
NÓ	RX	RY	RZ	MX	MY	MZ	
1	0.000	0.000	733.899	-147.039	-918.028	0.000	
6	0.000	0.000	1266.101	-119.062	1450.230	0.000	

Após a verificação do arquivo de entrada, segue a análise da estrutura. Primeiramente é mostrado os deslocamentos obtidos para cada nó:

NO- Número do nó

Desl.X- Deslocamento do nó em relação ao **eixo x global**

Desl.Y- Deslocamento do nó em relação ao **eixo y global**

Desl.Z- Deslocamento do nó em relação ao **eixo z global**

ROT.X- Rotação do nó em torno do **eixo x global**

ROT.Y- Rotação do nó em torno do **eixo y global**

ROT.Z- Rotação do nó em torno do **eixo z global**

Na sequência é mostrado os deslocamentos nas liberações locais, nesta versão do ANEST3D não foi implementado as liberações locais, portanto, esta parte não deve possuir valores.

Em seguida, se mostra os esforços nos elementos:

ELEM- Número do elemento

NÓ – Número do nó i

- Número do no j

\Nx – Tensão de compressão/tração no elementos no nó i

- Tensão de compressão/tração no elementos no nó j

\Qy – Esforço cortante em relação ao **eixo y local** no elementos no nó i

- Esforço cortante em relação ao **eixo y local** no elementos no nó j

\Qz – Esforço cortante em relação ao **eixo z local** no elementos no nó i

- Esforço cortante em relação ao **eixo z local** no elementos no nó j

Mxx – Momento torçor do elemento no nó i

- Momento torçor do elemento no nó j

Myy – Momento fletor em relação ao **eixo y local** do elemento no nó i

- Momento fletor em relação ao **eixo y local** do elemento no nó j

Mzz – Momento fletor em relação ao **eixo z local** do elemento no nó i

- Momento fletor em relação ao **eixo z local** do elemento no nó j

Mais uma vez se apresenta um texto prevendo uma futura implementação referente a elementos de treliça.

Por fim é mostrado as reações nos apoios:

NO- Número do nó

RX- Reação do nó vinculado em relação **ao eixo x**

global RY- Reação do nó vinculado em relação **ao eixo y**

global RZ- Reação do nó vinculado em relação **ao eixo z**

global MX- Reação do nó vinculado em torno

ao eixo x global MY- Reação do nó vinculado em

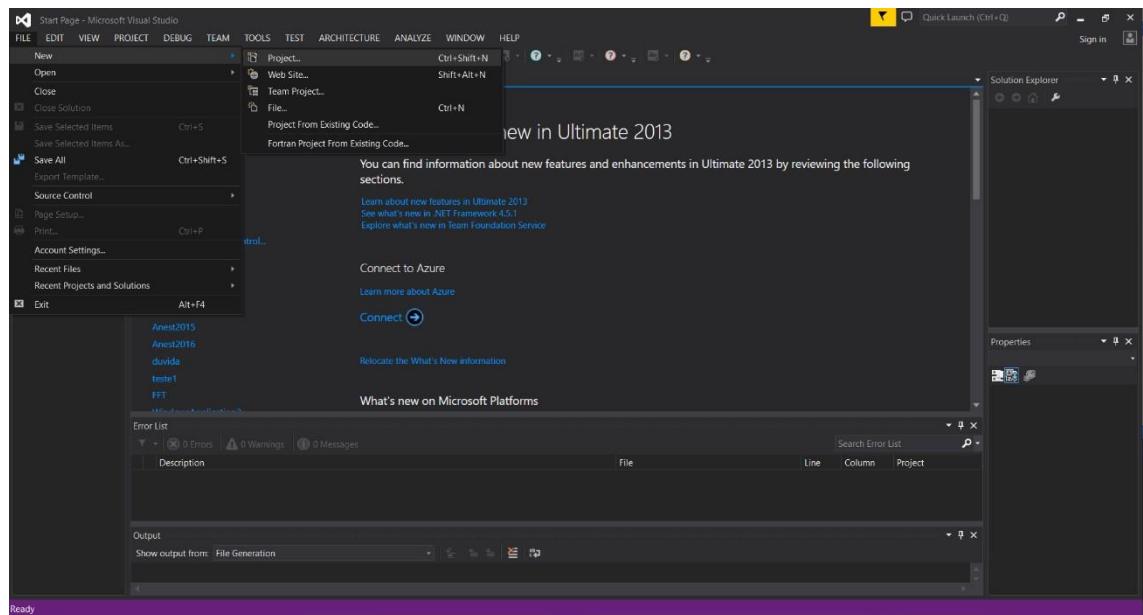
torno ao eixo y global MZ- Reação do nó vinculado

em torno ao eixo z global

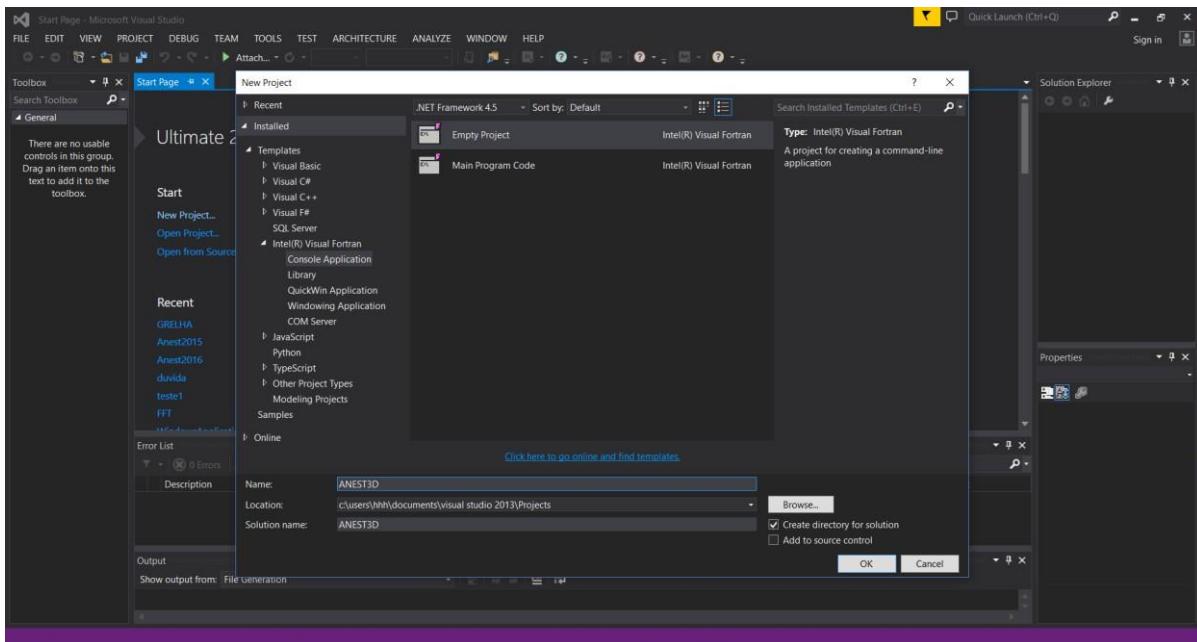
6. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA COM COMPILADOR

A utilização do código do programa através de um compilador é necessário quando se deseja fazer novas implementações. Abaixo será mostrado um passo a passo com a utilização do Visual Studio.

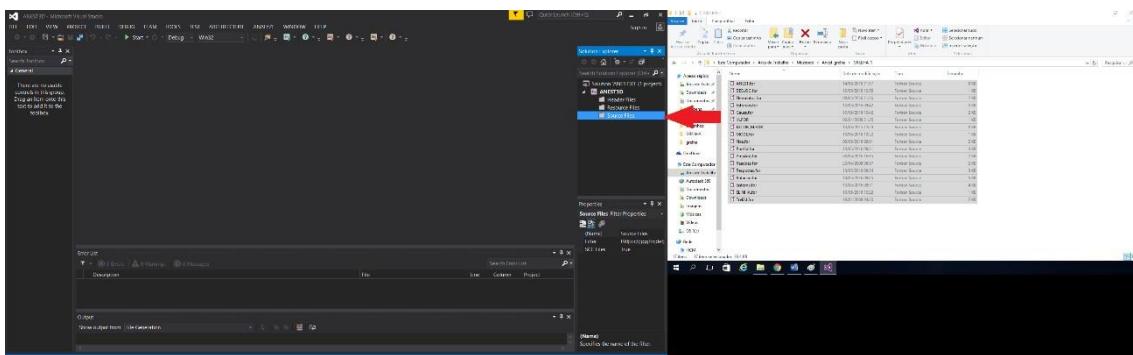
- 1- Instale o Visual Studio e o compilador Fortran em seu computador
- 2- Abra o Visual Studio e Crie um novo projeto (FILE>>NEW>>PROJECT)



- 3- Se o seu compilador estiver corretamente instalado aparecerá a opção Visual Fortran na janela mais a esquerda. Escolha esta opção depois escolha um arquivo em branco (Empty project), altere o nome para qualquer um de sua escolha e de um OK.

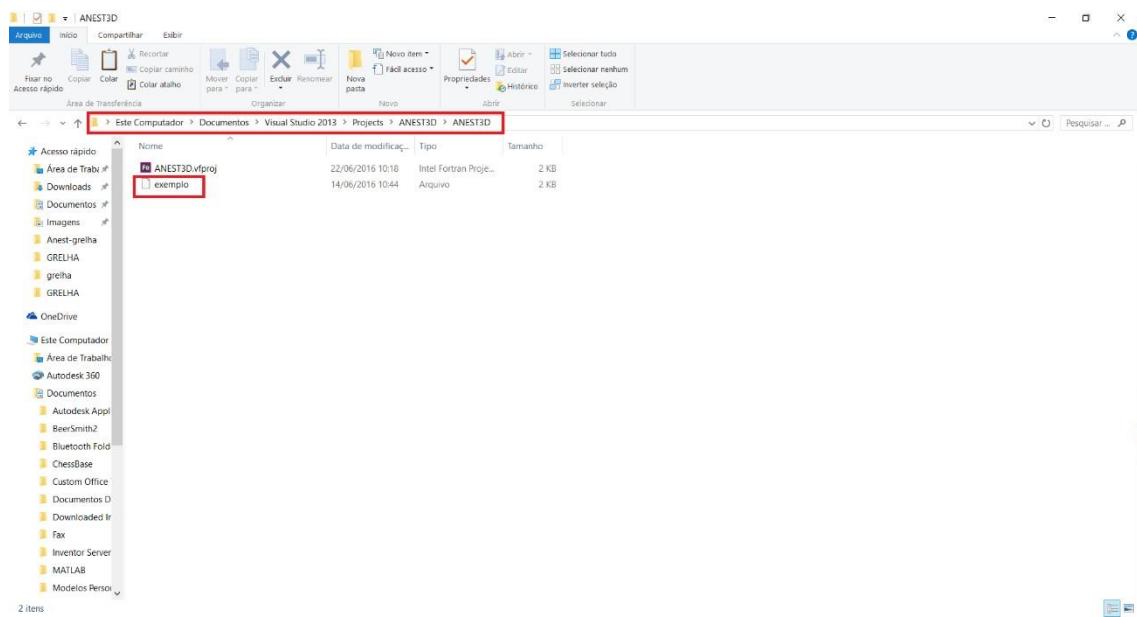


- 4- Uma vez que o novo projeto foi criado, se deve pegar todos os arquivos de código e arrastar até a pasta source files e soltar, assim eles serão adicionados ao seu projeto.



- 5- Clique na rotina Anest para visualizar o código e verificar que ele foi adicionado corretamente.

6- Adicione um arquivo de entrada exemplo na pasta do seu projeto



7- Compile o código com o botão start e use o programa como descrito na utilização do programa com o arquivo executável.

Deve-se lembrar que o programa procura o arquivo de entrada na sua propria pasta, portanto ele deve estar na mesma pasta em que o arquivo executável é gerado. De uma maneira geral ele fica situado na mesma pasta onde está a pasta DEBUG, mas isso pode variar de acordo com as suas configurações.

APÊNDICE A

TB-36 - FTOOL

Cortante

Tabela 13 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Trem-Tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	55,1
3	10,3	0
4	13,8	350,1
5	13,85	322,9
6	19,8	127,1

Fonte: FTOOL

Tabela 14 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	231,4
3	10,3	-95,4
4	13,8	231,2
5	13,85	231,2
6	19,8	0

Fonte: FTOOL

Tabela 15 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	286,5
3	10,3	-95,4
4	13,8	581,3
5	13,85	554,1
6	19,8	127,1

Fonte: FTOOL

Tabela 16 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-1908
3	10,3	-682,8
4	13,8	-385,3
5	13,85	-374
6	19,8	539,1

Fonte: FTOOL

Tabela 17 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	360
3	10,3	0
4	13,8	336,1
5	13,85	335,2
6	19,8	-116,7

Fonte: FTOOL

Tabela 18 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	-120
3	10,3	-5,3
4	13,8	213,3
5	13,85	213,3
6	19,8	0

Fonte: FTOOL

Tabela 19 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	240
3	10,3	-5,3
4	13,8	549,4
5	13,85	548,5
6	19,8	-116,7

Fonte: FTOOL

Momento fletor

Tabela 20 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,2
3	10,3	-326,3
4	13,8	-230,3
5	13,85	-218,7
6	19,8	469

Fonte: FTOOL

Tabela 21 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2806,2
3	10,3	-1009,1
4	13,8	-615,6
5	13,85	-592,7
6	19,8	1008,1

Fonte: FTOOL

Tabela 22 – TB-36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> FTOOL (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2806,2
3	10,3	-1009,1
4	13,8	-615,6
5	13,85	-592,7
6	19,8	1008,1

Fonte: FTOOL

Tabela 23 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-1908
3	10,3	167,2
4	13,8	-595,9
5	13,85	-583,2
6	19,8	382,5

Fonte: FTOOL

Tabela 24 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-828,9
3	10,3	70,2
4	13,8	-430,2
5	13,85	-419,5
6	19,8	215,1

Fonte: FTOOL

Tabela 25 – TB-36 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> FTOOL (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2736,9
3	10,3	237,4
4	13,8	-1026,1
5	13,85	-1002,7
6	19,8	597,6

Fonte: FTOOL

TB-45 - FTOOL

Cortante

Tabela 26 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	-158,6
4	13,8	-551,1
5	13,85	-549
6	19,8	216

Fonte: FTOOL

Tabela 27 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,2
3	10,3	95,4
4	13,8	231,2
5	13,85	-231,2
6	19,8	0

Fonte: FTOOL

Tabela 28 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,2
3	10,3	-63,2
4	13,8	-319,9
5	13,85	-780,2
6	19,8	216

Fonte: FTOOL

Tabela 29- TB-45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	0
4	13,8	-420,1
5	13,85	-381,2
6	19,8	145,9

Fonte: FTOOL

Tabela 30 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,2
3	10,3	-5,8
4	13,8	141,2
5	13,85	-231,2
6	19,8	0

Fonte: FTOOL

Tabela 31 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,2
3	10,3	-5,8
4	13,8	-278,9
5	13,85	-612,4
6	19,8	145,9

Fonte: FTOOL

Momento fletor

Tabela 32 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2385
3	10,3	-1160,8
4	13,8	-922,1
5	13,85	-917,1
6	19,8	916,4

Fonte: FTOOL

Tabela 33 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,2
3	10,3	-326,3
4	13,8	230,3
5	13,85	218,7
6	19,8	469

Fonte: FTOOL

Tabela 34 – TB-45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor

TB - 45 Apoiado -> FTOOL (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-3283,2
3	10,3	-1487,1
4	13,8	-691,8
5	13,85	-698,4
6	19,8	1385,4

Fonte: FTOOL

Tabela 35 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2385
3	10,3	209,2
4	13,8	-745,1
5	13,85	-729,1
6	19,8	478,1

Fonte: FTOOL

Tabela 36 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,2
3	10,3	76,1
4	13,8	-466,2
5	13,85	-454,6
6	19,8	233,1

Fonte: FTOOL

Tabela 37 – TB-45 Engastado -> FTOOL (Superposição) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> FTOOL (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-3283,2
3	10,3	285,3
4	13,8	-1211,3
5	13,85	-1183,7
6	19,8	711,2

Fonte: FTOOL

TB-36 - Grelha

Cortante

Tabela 38 – TB-36 -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Trem-Tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	31,259
3	10,3	31,259
4	13,8	323,541
5	13,85	323,541
6	19,8	36,459

Fonte: Grelha

Tabela 39 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-108,702
4	13,8	287,327
5	13,85	285,385
6	19,8	54,227

Fonte: Grelha

Tabela 40 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	295,439
3	10,3	-77,443
4	13,8	610,868
5	13,85	608,926
6	19,8	90,686

Fonte: Grelha

Tabela 41- TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	0
4	13,8	335,191
5	13,85	335,191
6	19,8	-24,809

Fonte: Grelha

Tabela 42 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-6,885
4	13,8	245,669
5	13,85	243,726
6	19,8	-127,176

Fonte: Grelha

Tabela 43 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 36 Engastado -> Grelha (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-6,885
4	13,8	580,86
5	13,85	578,917
6	19,8	-151,985

Fonte: Grelha

Momento fletor

Tabela 44 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	-186,238
4	13,8	-372,476
5	13,85	-363,476
6	19,8	572,524

Fonte: Grelha

Tabela 45 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	-323,063
4	13,8	-223,827
5	13,85	-212,22
6	19,8	475,473

Fonte: Grelha

Tabela 46 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	-509,301
4	13,8	-596,303
5	13,85	-575,696
6	19,8	1047,997

Fonte: Grelha

Tabela 47 – TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	0
4	13,8	-517,5
5	13,85	-508,5
6	19,8	382,5

Fonte: Grelha

Tabela 48 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha

Tabela 49 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor

TB - 36 Engastado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-934,33
5	13,85	-913,724
6	19,8	664,97

Fonte: Grelha

Momento fletor negativo

Tabela 50 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-1908
3	10,3	-757,976
4	13,8	392,047
5	13,85	389,898
6	19,8	134,148

Fonte: Grelha

Tabela 51 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	-323,063
4	13,8	-223,827
5	13,85	-212,22
6	19,8	475,473

Fonte: Grelha

Tabela 52 – TB-36 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Apoiado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2806,212
3	10,3	-1081,039
4	13,8	168,22
5	13,85	177,678
6	19,8	609,621

Fonte: Grelha

Tabela 53 – TB-36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-1908
3	10,3	0
4	13,8	0
5	13,85	0
6	19,8	0

Fonte: Grelha

Tabela 54 – TB-36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha

Tabela 55 – TB-36 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo

TB - 36 Engastado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2806,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha

TB-45 – GrelhaCortante

Tabela 56 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	0,000
3	10,3	39,074
4	13,8	-404,427
5	13,85	-404,427
6	19,8	45,573

Fonte: Grelha

Tabela 57 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) –Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-92,241
4	13,8	43,754
5	13,85	-285,385
6	19,8	-6,484

Fonte: Grelha

Tabela 58 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-53,167
4	13,8	-360,673
5	13,85	-689,812
6	19,8	39,089

Fonte: Grelha

Tabela 59 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	0
4	13,8	-418,989
5	13,85	-418,989
6	19,8	31,011

Fonte: Grelha

Tabela 60 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carreagamento Permanente) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-6,885
4	13,8	129,09
5	13,85	-119,889
6	19,8	1,797

Fonte: Grelha

Tabela 61 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Esforço Cortante

TB - 45 Engastado -> Grelha (Superposição) - Esforço Cortante		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn)
1	0	0
2	6,8	264,18
3	10,3	-6,885
4	13,8	-289,899
5	13,85	-538,878
6	19,8	32,808

Fonte: Grelha

Momento fletor

Tabela 62 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	-232,798
4	13,8	-465,596
5	13,85	-454,346
6	19,8	659,404

Fonte: Grelha

Tabela 63 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	-323,063
4	13,8	-223,827
5	13,85	-212,22
6	19,8	475,473

Fonte: Grelha

Tabela 64 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	0
3	10,3	0
4	13,8	-646,875
5	13,85	-635,625
6	19,8	478,125

Fonte: Grelha

Tabela 65 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha

Tabela 66 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor

TB - 45 Engastado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-1063,705
5	13,85	-1040,849
6	19,8	760,595

Fonte: Grelha

Momento fletor negativo

Tabela 67 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2385
3	10,3	-947,471
4	13,8	490,059
5	13,85	487,373
6	19,8	167,686

Fonte: Grelha

Tabela 68 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	-323,063
4	13,8	-223,827
5	13,85	-212,22
6	19,8	475,473

Fonte: Grelha

Tabela 69 – TB-45 Apoiado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Apoiado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-3283,212
3	10,3	-1270,534
4	13,8	266,232
5	13,85	275,153
6	19,8	643,159

Fonte: Grelha

Tabela 70 – TB-45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Engastado -> Grelha (Trem-tipo) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-2385
3	10,3	0
4	13,8	0
5	13,85	0
6	19,8	0

Fonte: Grelha

Tabela 71 – TB-45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Engastado -> Grelha (Carregamento Permanente) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-898,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha

Tabela 72 – TB-45 Engastado -> Grelha (Superposição) – Momento Fletor Negativo

TB - 45 Engastado -> Grelha (Superposição) - Momento Fletor Negativo		
Pontos	Coordenada (m)	Valor (Kn.m)
1	0	0
2	6,8	-3283,212
3	10,3	118,977
4	13,8	-416,83
5	13,85	-405,224
6	19,8	282,47

Fonte: Grelha