

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE
CASO: PONTE NO CÓRREGO DO LAJE**

**JOÃO GOMES MIRANDA DE JESUS
WALQUÍRIA MATEUS PINHEIRO LEMOS**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**JOÃO GOMES MIRANDA DE JESUS
WALQUÍRIA MATEUS PINHEIRO LEMOS**

**RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE
CASO: PONTE NO CÓRREGO DO LAJE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: José Nelson Vieira da Rocha.

Caratinga/MG

2016

**JOÃO GOMES MIRANDA DE JESUS
WALQUIRIA MATEUS PINHEIRO LEMOS**

**RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE
CASO: PONTE NO CÓRREGO DO LAJE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA
EM CARATINGA, 12 DE DEZEMBRO DE 2016**

Prof. João Moreira Moreira de Oliveira Júnior, (DOCTUM/MG)
Coordenador do Curso

Prof. José Nelson Vieira da Rocha, (DOCTUM/MG)
Orientador

Prof. Sérgio Alves dos Reis, (DOCTUM/MG)
Examinador

Prof. Claudemir Máximo de Souza, (DOCTUM/MG)
Examinador

Dedicatória para meu pai Antônio Firmino e minha esposa e filho Sirlene parecida e Gabriel Antônio Miranda

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por todas as bênçãos especiais que tem concedido a mim desde de sempre. A toda minha família e amigos por todo apoio por toda força para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus , a minha esposa ,família, amigos que adquiri durante o curso que me ajudaram nesta caminhada traçada na minha vida, e ao professores que puderam compartilhar seus conhecimentos, para que eu me torne um bom profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo por essa oportunidade. Agradeço de forma especial a minha família meus pais Valéria e Wallace por tudo, aos meus irmãos, a minha sobrinha, ao meu amado noivo, aos meus avós tios e primos.

Agradeço também em especial, ao meu tio Darci e ao meu avô Darcy que não estão mais entre nós mais estão sempre no meu coração e torceram muito para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meu amigos, professores da faculdades e o orientador deste Tcc, por ter compartilhado todo conhecimento durante esses anos de graduação.

Emfim agradeço a todos aqueles de que algum modo torceram e contribuíram para que este trabalho fosse possível, para que eu alcançasse o tão sonhado objetivo de me formar.

A todos meu muito obrigada!!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”

(CHARLES CHAPLIN)

JESUS, JOÃO GOMES MIRANDA LEMOS, WALQUÍRIA MATEUS PINHEIRO. **RECUPE-
RAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE CASO: PONTE
NO CÓRREGO DO LAJE.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de En-
genharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM,
Caratinga, 2016.

RESUMO

Pontes são estruturas destinadas a permitir a transposição de veículos e de pessoas sobre obstáculos. Devido ao ambiente em que essas estruturas estão inseridas, e ao fato de que de modo geral essas são dimensionadas há décadas, e por não passarem por avaliações e manutenções periódicas preventivas, essas estão sujeitas a ocorrência de patologias que podem prejudicar a resistência, e o correto funcionamento dessas estruturas. Sabe-se que existe um grande número de pontes de médio e pequeno porte com problemas patológicos importantes que motivam a pesquisa e estudo sobre esse assunto. O presente trabalho tem como objetivo evidenciar técnicas de recuperação em estruturas de concreto, utilizando como objeto de estudo uma ponte localizada no córrego do Laje, Distrito de Santa Luzia, na Cidade de Caratinga/Minas Gerais, que teve seu tráfego interrompido devido a problemas patológicos que afetaram sua estrutura. Sendo assim através desta pesquisa procurou-se fazer a identificação das melhores técnicas que podem ser utilizadas no intuito de restabelecer a resistência desta ponte para que esta possa atender satisfatoriamente as exigências de carga que transitam sobre ela. Diante desta realidade buscou-se avaliar o estado de conservação desta ponte analisando os índices patológicos apresentados e a melhor técnica de recuperação para este caso. Utilizando como método, estudo de caso aliado a um levantamento de revisões bibliográficas sobre o tema em questão. Por fim concluiu-se que a incidência da água em contato direto com um dos apoios da ponte levou a degradação do mesmo, onde se verificou que existe a necessidade de recuperação deste apoio, dimensionamento da viga e laje do tabuleiro, assim como reforço na fundação.

Palavras-chave: RECUPERAÇÃO. PONTE. PATOLOGIA.

JESUS, JOÃO GOMES MIRANDA LEMOS, WALQUÍRIA MATEUS PINHEIRO. **RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE CASO: PONTE NO CÓRREGO DO LAJE.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

Bridges are structures designed to permit transposition of vehicles and people about obstacles. Due to the environment in which these structures are inserted, and to the fact that in general way these are dimensioned for decades, and because they don't undergo evaluations and maintenance periodic preventive, they are under the incidence of pathologies that can impair resistance, and correct functioning of these structures. It is known that there are a large number of medium and small sized bridges with important pathological problems that motivate research and study on this subject. The objective of this work is to demonstrate recovery techniques in concrete structures, using as a study object a bridge located in the Laje Stream, Santa Luzia District, in the city of Caratinga / Minas Gerais, which had its traffic interrupted due to pathological problems which afflicted its structure. Thus, through this research, we tried to identify the best techniques that can be used in order to restore the resistance of this bridge device so that it can satisfactorily meet the load requirements that pass through it. In view of this reality we sought to evaluate the conservation status of this bridge by analyzing the pathological indexes presented and the best recovery technique for this case. Using as a method, a case study together with a survey of bibliographical references on the subject in question. Finally, it was concluded that the incidence of water in direct contact with one of the support of the bridge led to the degradation, where it was verified that there is a need for recovery of this support, replacement and dimensioning device Of the beam and slab devices of the tray, as well as reinforcement in the foundation.

Key-words: Recovery.Bridges.Pathologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Exemplos de Pontes e Viadutos (Debs e Takeya (2003))	18
Figura 2	– Elementos Constituintes de pontes (Adaptado de Manson (1977))	19
Figura 3	– - Elementos Constituintes da seção transversal da Superestrutura (Debs e Takeya (2003))	20
Figura 4	– Elementos Constituintes da Seção longitudinal das pontes Debs e Takeya (2003))	20
Figura 5	– Hipóteses para restabelecimento de estruturas com desempenho insatisfatório(Souza e Ripper, 1998))	22
Figura 6	– Causas Intrínsecas de Patologias nas Estruturas de Concreto Armado e protendido (Adaptado Souza e Ripper (1998))	23
Figura 7	– Causas Extrínsecas de Patologias nas Estruturas de concreto armado e protendido (Adaptado Souza e Ripper (1998))	24
Figura 8	– Etapas do processo de reforço e/ou reparo (SOUZA, 1990)	25
Figura 9	– Ponte Córrego do Laje(Autoria Própria)	32
Figura 10	– Ponte Córrego do Laje (Autoria Própria)	33
Figura 11	– Apoio Danificado (Autoria Própria)	33
Figura 12	– Viga e Tabuleiro Caídos(Autoria Própria)	34
Figura 13	– Queda do Tabuleiro(Autoria Própria)	34
Figura 14	– Degradação do Concreto (Autoria Própria)	36
Figura 15	– Exposição da Armadura(Autoria Própria)	37
Figura 16	– Exposição da Armadura do Tabuleiro(Autoria Própria)	37
Figura 17	– Teste Trado Manual 1º Furo (Autoria Própria)	43
Figura 18	– Teste Trado Manual 2º Furo (Autoria Própria)	43
Figura 19	– Dimensões da Laje (Autoria Própria)	44
Figura 20	– Peso Específico dos Materiais estruturais de pontes(Adaptado de Marchetti 2008)	49
Figura 21	– Esquema de Carga Permanente (Autoria Própria)	50
Figura 22	– Esquema de seções de Cálculo(Autoria Própria)	51
Figura 23	– Carregamento em função da classe da ponte(Adaptado da ABNT (NBR 7188:1984)	52
Figura 24	– Características do veículo tipo(Adaptado da ABNT (NBR 7188:1984)	53
Figura 25	– Veículos tipos para o cálculo das ações móveis de pontes (Marchetti (2008))	53
Figura 26	– Posicionamento das cargas para a determinação do trem-tipo (Manual do DNIT (2004))	54
Figura 27	– Corte Seção Transversal (Autoria própria)	55
Figura 28	– Esquema de Cargas Concentradas (Autoria própria)	55

Figura 29 – Cargas veículo Tipo (Autoria própria)	56
Figura 30 – Gráfico de Esforço Cortante (Autoria própria)	57
Figura 31 – Gráfico de Momento Fletor (Autoria própria)	58
Figura 32 – Tabela de Rush - 4.1	68
Figura 33 – Tabela de Rush 99	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos e dimensões constituintes de pontes (Adaptado de Debs e Takeya (2003))	20
Tabela 2 – : Tratamentos Usuais das Estruturas de Concreto (Adaptado de Souza e Ripper (1998))	24
Tabela 3 – Cálculo de M_{xm} (Autoria Própria)	47
Tabela 4 – Cálculo de M_{ym} (Autoria Própria)	47
Tabela 5 – Cálculo de M_{xr} (Autoria Própria)	47
Tabela 6 – Armadura da Laje (Autoria Própria)	47
Tabela 7 – Cálculo de V_{xq} (Autoria Própria)	48
Tabela 8 – Valores de Esforço Cortante (Autoria Própria)	51
Tabela 9 – Valores de Momento Fletor (Autoria Própria)	51
Tabela 10 – Valores de Força Cortante (Autoria Própria)	59
Tabela 11 – Valores de Momento Fletor (Autoria Própria)	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Pontes	18
2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DE PONTES	19
2.3 Aspectos Decisivos para Recuperar e Reforçar	21
2.4 Lavagem e Limpeza da Superfície do Concreto	25
2.4.1 Lavagem por Solução Ácida	26
2.4.2 Lavagem por Jato de Água e Areia	26
2.4.3 Lavagem a Vapor	26
2.4.4 Apicoamento	27
2.5 Técnicas de Recuperação	27
2.5.1 Concreto Convencional	27
2.5.2 Concreto Polímero	28
2.5.3 Sílica Ativa	28
2.5.4 Concreto com Fibra	29
2.5.5 Fibra de Carbono	29
2.5.6 Adesivos e Primers	30
2.5.7 Graut	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 Descrição da Ponte	32
4.2 Levantamentos das Patologias e Análises	35
4.2.1 Degradação do Concreto	35
4.2.2 Corrosão da Armadura	36
4.2.3 Outras Patologias	37
4.3 Recuperação de Pontes de Concreto	38
4.3.1 Remoção e Substituição do Concreto	38
4.3.2 Remoção da Corrosão	39
4.4 Recuperação Estrutural	39
4.4.1 Recuperação do Apoio	39
4.5 Reforço Estrutural	40
4.5.1 Reforço de Fundação	40
4.5.2 Reforço de Fundação Ponte do Córrego do Laje	41
4.6 Dimensionamento	44
4.6.1 Idealização para o Cálculo das Solicitações	44

4.6.2 Dimensionamento da Laje do Tabuleiro	44
4.6.2.1 Carregamento Permanente	45
4.6.3 Esforços Solicitantes Devido ao Carregamento Permanente	45
4.6.3.1 Índice da Tabela de Rusch	45
4.6.3.2 Carregamento Permanente	45
4.6.3.3 Coeficiente de Impacto (Efeito das Cargas Móveis)	46
4.7 Esforços Devido a Carga Móvel	46
4.7.1 Momentos Finais na Laje L1	47
4.7.2 Armaduras da Laje	47
4.7.3 Verificação da Fadiga	48
4.7.4 Verificação do Esforço Cortante	48
4.8 Dimensionamento da Viga Principal	49
4.8.0.1 Cargas Permanentes	49
4.9 Esforços Devido a Carga Permanente	50
4.9.0.1 Reações de Apoio	50
4.9.0.2 Esforços Cortantes e Momentos Fletores	51
4.10 Cargas Móveis	52
4.10.1 Definição do Trem Tipo	52
4.10.1.1 Coeficiente Impacto (Efeito Dinâmico das cargas móveis)	54
4.11 Ação do Vento	54
4.12 Seção Transversal	55
4.12.0.1 Carga Concentrada	55
4.12.0.2 Carga Distribuída	56
4.13 Linha de Influência	56
4.13.0.1 Linha de Influência da reação de apoio	56
4.14 Esforço Cortante na Seção S3 (meio do vão)	57
4.15 Momentos Fletores	57
4.15.0.1 Momentos Fletores na Seção S3 (Meio do vão)	58
4.15.0.2 Momentos Fletores nas seções s2 e s4 (Extremidades do vão)	58
4.16 Esforços Finais	58
4.16.0.1 Reações de Apoio	58
4.16.0.2 Momentos Fletores na Seção S3 (meio do vão)	58
4.16.0.3 Esforço Cortante Seção S1	59
4.17 Combinações de Apoio	59
4.18 Dimensionamento a Flexão	60
4.19 Dimensionamento ao cisalhamento	60
4.19.0.1 Armadura Mínima de Cisalhamento	60
4.19.0.2 Armadura próxima aos apoios	61
4.20 Verificação da Fadiga	61

4.20.0.1 Verificação da Fadiga na Armadura de Flexão	61
4.21 Armadura de Pele (Costela)	62
5 CONCLUSÃO	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO A Tabela de Rush	68

1 INTRODUÇÃO

A engenharia é uma ciência que está em constante evolução, e percebe-se notadamente que desde os primórdios esta ciência tem passado por grande processo de transformação seja na área de equipamentos, materiais, ou técnicas construtivas.

Com o passar dos anos e o crescimento da população e da necessidade de aprimoramento da Construção Civil, passou-se a utilizar de estruturas cada vez maiores com a necessidade de materiais cada vez mais resistentes. Portanto o concreto armado passou a ser considerado um dos materiais mais importantes da Engenharia Estrutural.

Entretanto com o conhecimento mais aprimorado do uso do concreto e de maneira corriqueira nas obras, percebe-se também a ocorrência de patologias nas estruturas devido a diversos fatores, como tempo de utilização da estrutura, emprego de mão de obra muitas vezes desqualificada, erros de cálculos nos projetos, exposição das estruturas a ambientes agressivos.

Nestes casos pode haver a partir de estudo prévio o reparo, recuperação, ou reforço dessas estruturas, utilizando as técnicas e os materiais mais adequados de acordo com cada caso e suas especificidades prezando sempre pela resistência e segurança da edificação.

O presente trabalho tem como objetivo evidenciar técnicas de reparo e recuperação estrutural em pontes, evidenciando as técnicas mais utilizadas, os respectivos materiais e as características de cada método.

No capítulo 1 foi apresentada a respectiva introdução, no capítulo 2 apresentamos a revisão bibliográfica utilizando como embasamento as referências mais completas sobre os temas de pontes, patologias recuperação e reforço de estruturas. No capítulo 3 mostramos os procedimentos metodológicos utilizados para elaboração deste trabalho de conclusão de curso. No capítulo 4 foi mostrado as discussões e resultados obtidos após análises da ponte, e por fim apresentamos no capítulo 5 as conclusões obtidas e no capítulo 6 as referências bibliográficas utilizadas para construção deste trabalho.

Sabe-se que estruturas de pontes em muitas situações são estruturas esbeltas, e estão sobre influência de diversos fatores que ocasionam patologias em suas peças estruturais, portanto são elementos que podem estar sujeitas a necessidade de recuperação reparo e/ ou reforço.

As patologias mais relevantes em estruturas de pontes podem ser, os processos de erosão ou (solapamento)¹ a longo tempo descalçando as fundações e os aterros, as cheias nos rios por causa da rápida elevação do nível da água associada a grandes descargas e velocidades, recalques diferenciais, submissão da estrutura a carregamentos excessivos para a qual não foi projetada, alargamento para adição de pistas de rolamento, falhas nos projetos e principalmente a falta de

¹ Dicionário Aurélio: Solapamento: Ato ou efeito de solapar, solapa, escavação.

manutenções preventivas periódicas ao longo do tempo.

Como estudo de caso foi escolhido uma Ponte localizada no Córrego do Laje, Zona Rural, Distrito de Santa Luzia, na Cidade de Caratinga/MG. A existência de um grande número de pontes com problemas patológicos importantes motiva a pesquisa sobre este assunto. As pontes de pequeno e médio porte tem relevância significativa para o desenvolvimento social e econômico dos municípios de modo geral, pois devem assegurar o trânsito de pessoas veículos matérias primas e escoamento da produção agrícola.

No entanto, o estado precário em que se encontra boa parte das pontes em vias urbanas e rurais dificulta o deslocamento causando insegurança aos usuários. Além disso, elevam se os custos de transporte para os usuários e para as Prefeituras. Diante dessa realidade busca-se neste trabalho fazer análise de uma ponte modelo que apresenta casos de patologias e necessidade de aplicação de reparo e recuperação em sua estrutura, apresentando alternativas viáveis que podem ser utilizadas no intuito de tornar essa ponte transitável de maneira segura, identificando às patologias existentes, as maneiras de recuperação e fazendo o redimensionamento da peça de viga e tabuleiro desta ponte .

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PONTES

Segundo Marchetti (2008), denomina-se ponte a obra destinada a permitir a transição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser rios, vales profundos dentre outras vias, sejam eles naturais ou criados pelo homem. Podem ser estruturas de concreto armado, madeira, estruturas metálicas dentre outros materiais.

De acordo com Debs e Takeya (2003) uma ponte propriamente dita seria a estrutura destinada a transpor um obstáculo construído por um curso d'água ou outra superfície líquida. Já o viaduto seria destinado a transpor um vale ou uma via. Independentemente a classificação, o tratamento estrutural de ambos é idêntico a quase todo conjunto com diferenças significativas apenas na infraestrutura.

A figura 1 a seguir apresenta exemplos de classificação de ponte e viaduto.

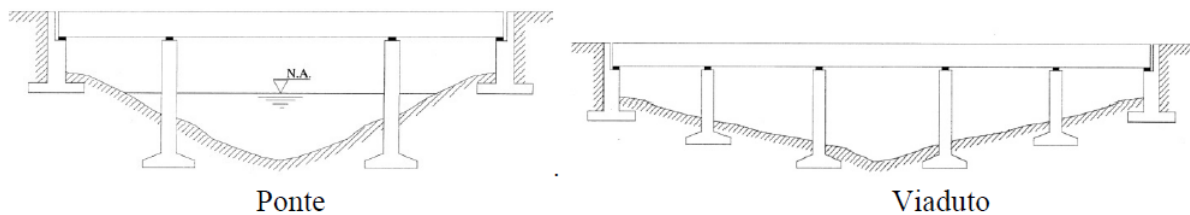


Figura 1: Exemplos de Pontes e Viadutos (Debs e Takeya (2003))

Esta definição a respeito do conceito de pontes possui um significado amplo, já que na literatura técnica são encontradas algumas classificações de pontes tendo em vista diversos aspectos, como traçados, seção transversal, número de vãos, tipo de obstáculo transposto, materiais constituintes, natureza do tráfego, dentre outros.

Para funcionamento seguro e eficiente de uma estrutura de ponte esta deve atender a alguns requisitos básicos e essenciais. De acordo com Marchetti (2008) os requisitos principais de uma ponte são:

1. Funcionalidade: As estruturas de pontes deverão atender de forma perfeita as exigências de tráfego etc.;
2. Segurança: Quanto segurança de utilização das estruturas de ponte esta deve conter materiais que ao serem solicitados por esforços que provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura;

3. Estética: Ponte deve apresentar aspecto agradável e se apresentar de maneira harmônica com o ambiente que a circunda;
4. Economia: Quando se trata de economia obviamente deve-se fazer um estudo comparativo aprofundado no intuito de identificar a solução menos custosa e mais viável;
5. Durabilidade: A ponte deve atender de maneira satisfatória as exigências de uso durante o tempo previsto.

2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DE PONTES

Os elementos estruturais de pontes podem ser classificados em dois ou três grandes grupos dependendo do autor. Os elementos estruturais de pontes podem ser classificados em dois ou três grandes grupos dependendo do autor. Segundo PFEIL (1979) sob o ponto de vista funcional elas podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

A superestrutura compreende os elementos de lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte do estrado que constitui a parte útil da obra. É a parte que recebe diretamente as cargas do tráfego. O tabuleiro e o sistema principal de vigas funcionam de forma integrada. As vigas principais são caracterizadas como longarinas e as transversais como transversinas.

A infraestrutura compreende os elementos de pilares apoios e encontros, ou seja, elementos que se destinam a apoiar no terreno (solo ou rocha), os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura. Pode ser constituída por fundações sapatas, blocos dentre outros.

Já a mesoestrutura é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e transmite a infraestrutura, constituída pelos elementos de pilares da ponte. As figuras (FIGURAS 2, 3 e 4) a seguir, apresentam respectivamente os elementos constituintes de ponte, e os elementos constituintes da Seção Transversal da superestrutura e da Seção Longitudinal.

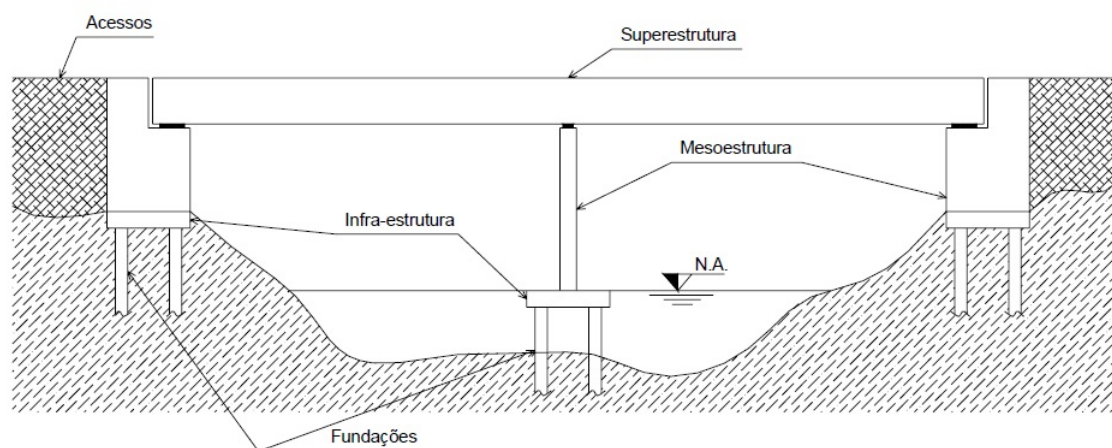


Figura 2: Elementos Constituintes de pontes (Adaptado de Manson (1977))

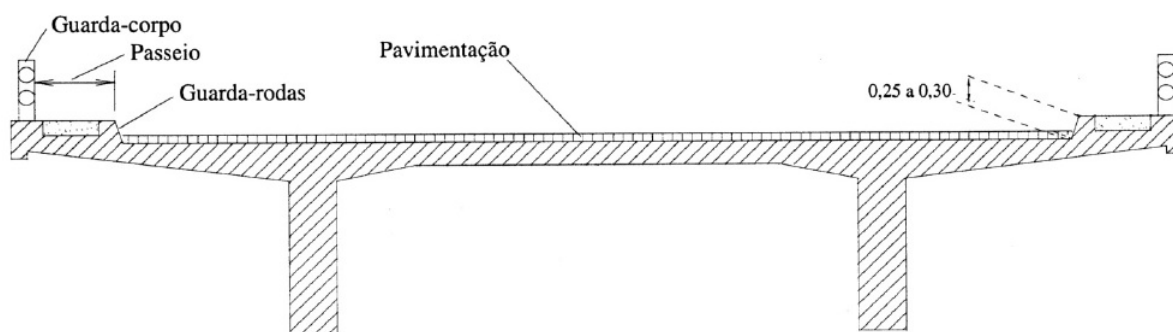


Figura 3: - Elementos Constituintes da seção transversal da Superestrutura (Debs e Takeya (2003))

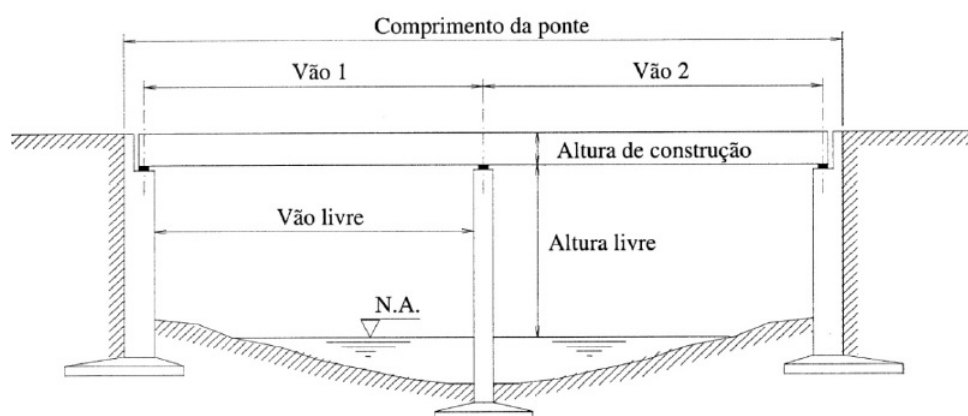


Figura 4: Elementos Constituintes da Seção longitudinal das pontes Debs e Takeya (2003))

A Tabela 1 a seguir, apresenta de maneira detalhada os elementos e dimensões que constituem as estruturas de pontes, contendo a definição de cada elemento.

[htbp]

Tabela 1: Elementos e dimensões constituintes de pontes (Adaptado de Debs e Takeya (2003))

Elemento e Dimensão	Descrição
Pista de Rolamento	Largura disponível para o tráfego normal de veículos ou pedestres, que pode ser subdividido em faixas.
Acostamento	Largura adicional a pista de rolamento utilizada em casos de emergência pelos veículos.
Defensa	Elemento de proteção aos veículos, paralelo ao acostamento.
Passeio	Largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres.
Guarda- Roda	Elemento destinado a impedir a invasão dos veículos no passeio.
Guarda- Corpo	Elemento de proteção aos pedestres.
Viga Principal ou Longarina	Elemento destinado a vencer o obstáculo.
Viga Secundária	Elemento transversal as vigas principais destinado a evitar efeitos secundários das vigas principais e redistribuir os esforços.
Tabuleiro	Elemento de placa destinado a receber a ação direta dos veículos e pedestres.
Comprimento da Ponte ou Vão Total	Distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte.
Vão, Vão Teórico ou Tramo	Distância medida horizontalmente entre os eixos de dois suportes consecutivos.
Vão Livre	Distância entre faces de dois suportes consecutivos
Altura da Construção	Distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura.
Altura Livre	Distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo. Pode variar conforme um rio ou canal conforme Gusmão Filho (2003).

2.3 ASPECTOS DECISIVOS PARA RECUPERAR E REFORÇAR

Ao decorrer dos anos, cada dia mais vem surgindo patologias nas estruturas de concreto armado, isso devido aos mais diversos fatores, desde erros de dimensionamento até o tempo de utilização da estrutura. Assim é necessário que sejam feitas verificações nas estruturas construídas para que se possam identificar patologias.

Essas análises devem ser realizadas por profissionais capacitados para identificar se a estrutura possui um desempenho satisfatório de acordo com o projeto pelo qual foi dimensionada, e posterior diagnóstico de alguma patologia e a necessidade de algum reparo ou recuperação. Estas análises podem ser feitas através de equipamentos adequados, ou através de análise visual onde seja possível identificar fissuras, o grau de corrosão da armadura e deterioração do concreto.

É importante um trabalho extensivo de investigação buscando documentos que possam auxiliar na correta vistoria no local como, projeto arquitetônico, memorial de cálculo, projeto estrutural dentre outros, para um comparativo com a estrutura construída e a identificação das possíveis causas que levaram a ocorrência de patologias e os possíveis reparos destas.

Assim sendo, os principais pontos a serem observados para realização de um projeto de um reparo, recuperação, ou reforço se baseia em uma correta avaliação da estrutura as respectivas soluções cabíveis a cada caso, e as proteções adicionais.

Existem defeitos estruturais que são de pouca relevância, que por tanto não afetam o comportamento resistente da estrutura, não havendo necessidade de reparar esses defeitos. As intervenções necessárias para reestabelecer o bom desempenho da estrutura devem respeitar os aspectos de vista técnicos socioeconômicos e ambientais, no entanto caso o desempenho da estrutura não seja satisfatório algumas alternativas são necessárias como reparar, reforçar, limitar o uso da estrutura ou ainda em casos mais extremos demolir.

A Figura 5 abaixo, apresenta as hipóteses que podem ser realizadas em casos de desempenho insatisfatório das estruturas.

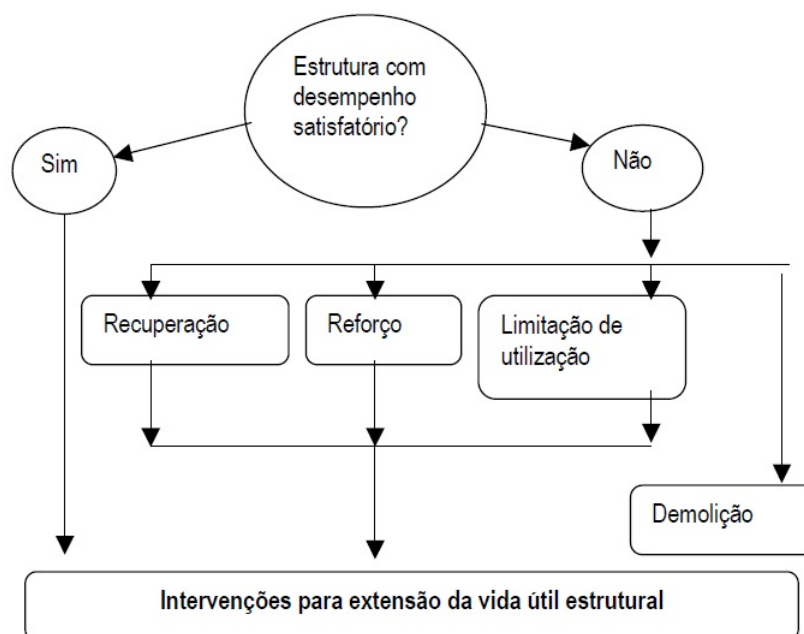


Figura 5: Hipóteses para restabelecimento de estruturas com desempenho insatisfatório(Souza e Ripper, 1998))

As figuras abaixo apresentam as causas intrínsecas e extrínsecas que levam a ocorrência de patologias nas estruturas. As causas intrínsecas são as causas de deterioração inerentes a própria estrutura (FIGURA 6). São causas geradas por agentes naturais externos como ataques químicos e até de acidentes e também por falhas humanas na fase de execução ou utilização.

Já as causas extrínsecas independem da estrutura em si ou de falhas decorrentes da execução (FIGURA 7). Podem ser conceituadas como fatores que atacam as estruturas “de dentro pra fora”, ao longo da vida útil da mesma.

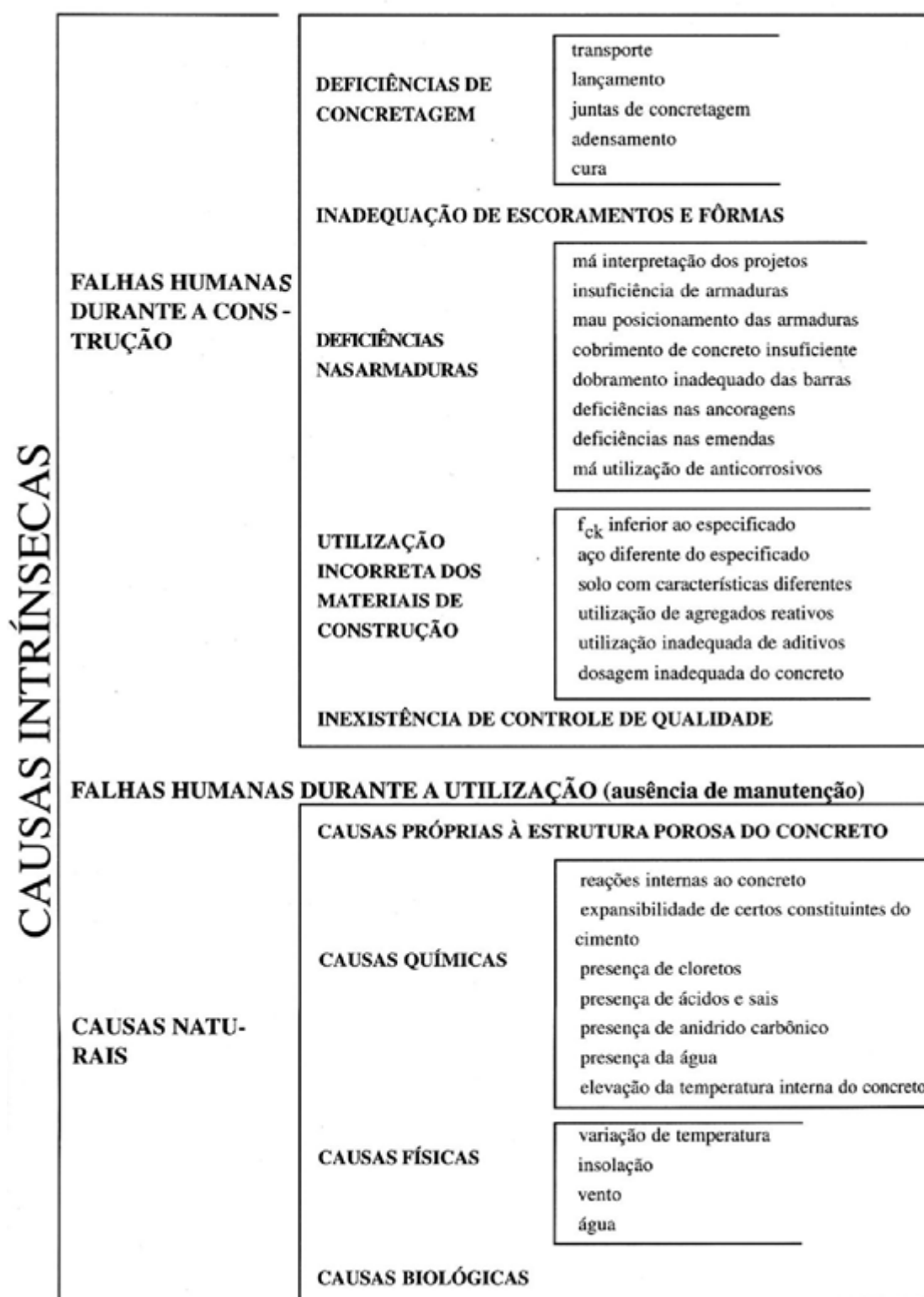


Figura 6: Causas Intrínsecas de Patologias nas Estruturas de Concreto Armado e protendido (Adaptado Souza e Ripper (1998))

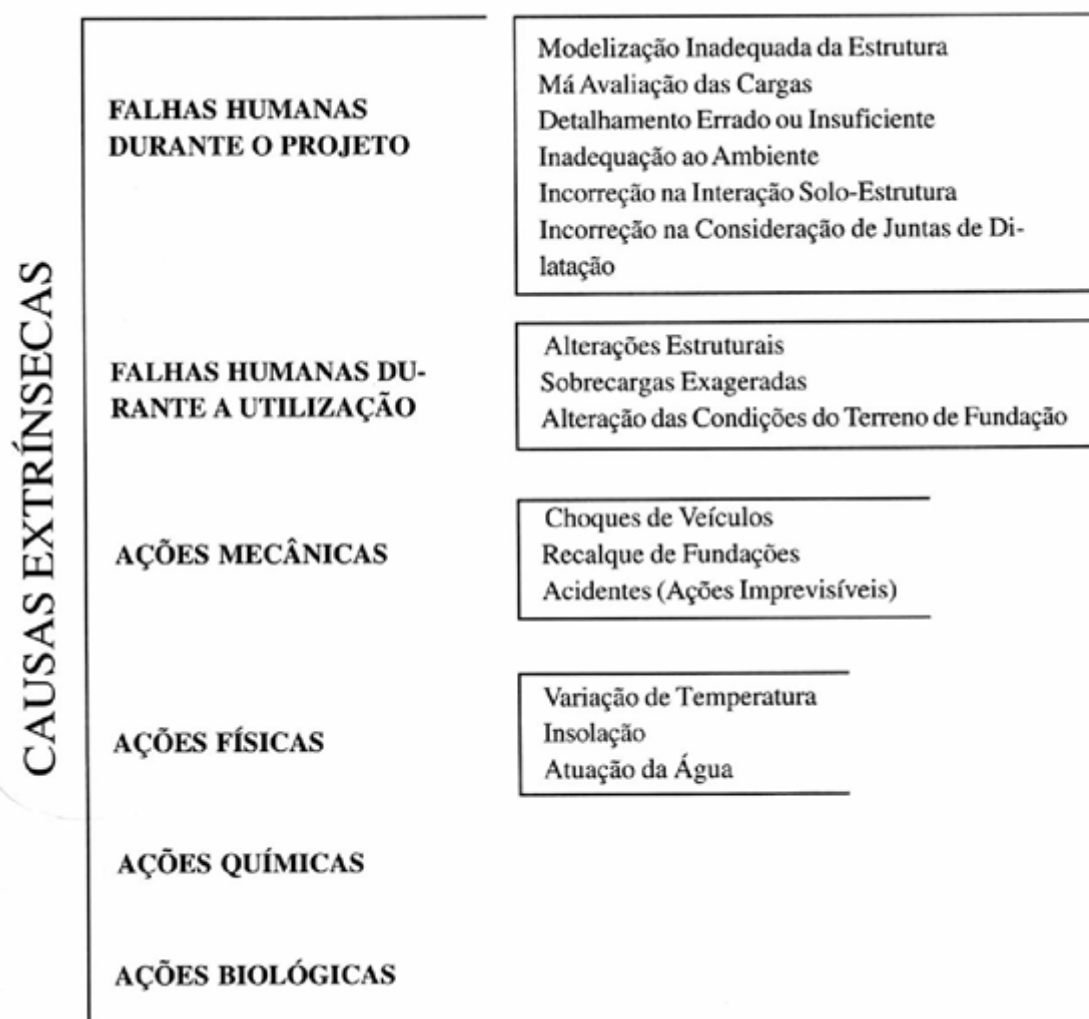


Figura 7: Causas Extrínsecas de Patologias nas Estruturas de concreto armado e protendido (Adaptado Souza e Ripper (1998))

Na Tabela 2, seguem alguns conceitos sobre patologia e tratamento de estruturas que auxiliam no entendimento do tipo de intervenção a qual a estrutura pode se submetida.

[htbp]

Tabela 2: Tratamentos Usuais das Estruturas de Concreto (Adaptado de Souza e Ripper (1998))

Tratamento	Características
Recuperação	Como recuperação, entendem-se os procedimentos, necessários para restauração da capacidade resistente ou portante de uma estrutura. A recuperação, ainda pode ser entendida, como uma intervenção que recondiciona a estrutura aos aspectos estéticos e de capacidade portante originais.
Restauração	Intervenção que estabelece somente as condições estéticas da estrutura.
Reforço	São as atividades promovidas para o aumento da resistência, ou capacidade portante da estrutura.
Limitação de Utilização	Esta é a opção que deve ser escolhida quando a terapia de recuperação não se mostrar economicamente favorável. Também pode ser adotado no caso de não se optar por ser um reforço estrutural, limitando, portanto, a estrutura a determinadas condições que poderiam ser extrapoladas quando da utilização de um reforço.
Demolição	É a terapia extrema, que pode variar desde uma demolição parcial até completa da estrutura. É optada quando nenhuma das alternativas terapêuticas anteriores mostra-se viáveis.

A Figura 8 apresenta as etapas do processo de reparo e/ou reforço.

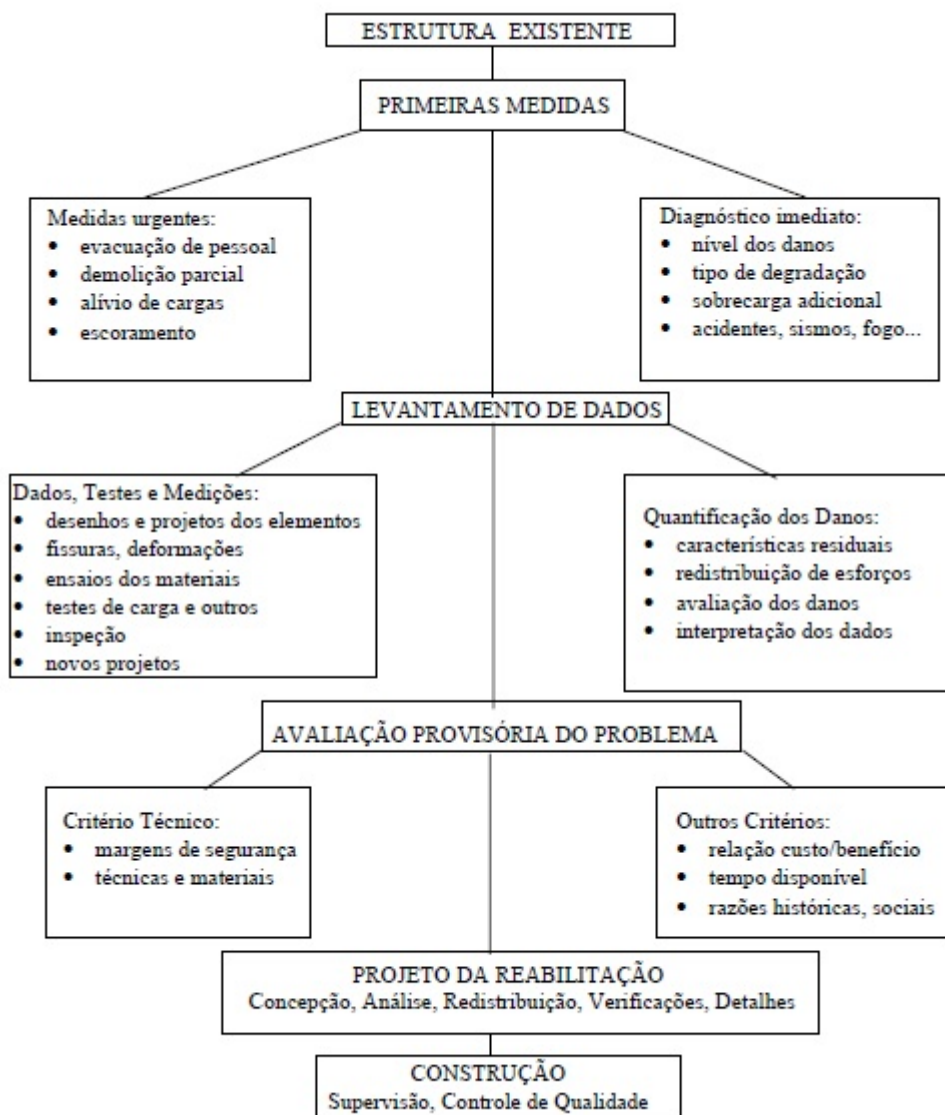


Figura 8: Etapas do processo de reforço e/ou reparo (SOUZA, 1990)

2.4 LAVAGEM E LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

Para aplicação de uma correta técnica de recuperação é necessário que seja feito um processo de desintoxicação da estrutura através de uma técnica apurada e equipamentos adequados, as limpezas não devem ser feitas por qualquer profissional, devem ser feitas por profissional treinado especializado e com vestes adequadas (SOUZA E RIPPER 1998).

A lavagem da superfície do concreto tem como objetivo a remoção de resíduos de toda natureza, de forma a preparar o substrato para a recepção do material do reparo. As lavagens mais comuns são jato de água fria ou quente, soluções ácidas ou alcalinas ou ainda por jatos alternados de água e areia

2.4.1 Lavagem por Solução Ácida

Tem como objetivo a retirada das impurezas e remoção da superfície do concreto tais como, tintas, graxa, ferrugens, carbonatos, manchas de cimento, que provavelmente não sairiam com jato de água. De acordo com Souza e Ripper (1998) normalmente, usa-se um produto específico, caso não seja utilizado, a solução a ser empregada é a de ácido muriático que é o ácido clorídrico comercial - em água, na proporção 1:6.

Na aplicação deve-se jogar água em abundância para garantir que o ácido tenha um despenho melhor no concreto. A aplicação deste ácido é muito perigosa, e portanto deve ser feita em pequenas áreas, de forma progressiva, por aspersão ou com a utilização de trinchas, tomando-se todos os cuidados com a segurança e garantindo que o ambiente esteja sempre aberto e ventilado. O ácido não deve ser utilizado nas superfícies do concreto que estiverem com armaduras expostas, nestes casos usa-se as soluções alcalinas que não causam corrosão das armaduras.

2.4.2 Lavagem por Jato de Água e Areia

A técnica de limpeza por jato de água sob pressão e muito utilizada em limpezas de superfícies pelo seu baixo custo e seu rendimento satisfatório, esta limpeza pode ser com água fria ou quente, dependendo da superfície que está sendo limpa, usa-se a água quente em local gorduroso com muito resíduo.

Neste mesmo processo pode ser utilizado o jato de areia, após este processo sobram muitos resíduos de areia que não podem ser reaproveitados para não comprometer a qualidade da obra.

Os jatos de água e areia são jatos de alta pressão tipos os de jatear vidro, lava jatos. Esta técnica de “jatear” com água e areia servem para tirar parte solta do concreto e não tem reações químicas se o material usado não estiver contaminado, sendo que a areia utilizada deve ser limpa seca e isenta de matéria orgânica. Após o término de sua utilização é necessário o uso de jatos de ar comprimido e de água fria antes do início dos processos de recuperação.

2.4.3 Lavagem a Vapor

De acordo com Souza e Ripper (1998) a lavagem a vapor é semelhante a lavagem por jato de água exigindo, caldeira para geração de vapor e mangueira protegida por recobrimento de amianto. O jato deve ser direcionado para locais desejados, e aplicado segundo sucessivos movimentos verticais e horizontais.

Este método é geralmente utilizado em grandes áreas das quais necessita de limpeza de sais minerais, matérias orgânicos, graxa, tinta e muitos outros, não sendo aplicado, se existir

possibilidade de corrosão nas armaduras, neste caso o vapor pode ser aplicado com outro produto tipo removedor biodegradável.

2.4.4 Apicoamento

O apicoamento pode ser feito de maneira manual ou mecânica, dependendo da profundidade que será realizado o apicoamento. É uma técnica de limpeza e preparação da superfície para garantir uma melhor aderência na face de concretagem. O sistema manual serve geralmente pra pequenas áreas e de difícil acesso.

Este método deve ser utilizado em conjunto com ar comprimido, depois do processo de picotar, fazer o lançamento do ar para retirada da poeira que permanecer na superfície do concreto. Tem como função fazer a limpeza de cavidades como trincas, fissuras, furos para injeção de armadura pra garantir mas aderência nas superfícies.

2.5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO

As técnicas de recuperação são adotadas após a realização do processo de limpeza, onde se torna possível a escolha correta do tipo de material a ser utilizado as técnicas de execução e os métodos de reforço a serem utilizados. Alguns métodos comuns são:

1. Concreto convencional;
2. Concreto com polímero;
3. Concreto com sílica ativa;
4. Concreto com fibra;
5. Fibra de Carbono;
6. Adesivos e primers;
7. Graute.

2.5.1 Concreto Convencional

O concreto convencional é o material mais utilizado nas obras de maneira geral pelo seu modo de preparo que pode ser rodado em obra e usinas de concreto. É um material a base de agregados graúdos e miúdos e água /cimento.

O concreto convencional também pode ser utilizado para realização de reforço e recuperação de estruturas, observando sempre os cuidados a serem tomados com os processos de recuperação.

Quando se trata de concreto a uma retração natural do material, para reforço em estruturas antigas o concreto já sofreu retração e o traço deve minimizar o máximo de retração passível podendo-se colocar aditivos para este fim, deixando o concreto em repouso, já as estruturas mais novas que ainda estão sofrendo processo de retração deve-se procurar aproximar o máximo possível o traço.

Além do problema de retração, a dosagem do concreto também deve-se levar em conta os requisitos quanto à resistência e à durabilidade. Por se trata de concreto convencional como material de reparo, é fundamental que as especificações e as notas que vão constar dos desenhos de execução sejam mais exaustivas, explicitando, além da resistência desejada, a composição do concreto, incluindo os aditivos a utilizar e os cuidados para a sua aplicação” (SOUZA E RIPPER , 1998).

2.5.2 Concreto Polímero

O concreto polímero é basicamente um concreto convencional, o que o caracteriza ser polímero é a inserção de aditivos de polímeros, estes aditivos não mudam a proporção de cimento na massa e seu teor de água é menor.

As já referidas vantagens de aumento das resistências mecânicas e à abrasão e, principalmente, a resistência à adesão são mais sentidas quando o material é aplicado sob forma de camadas pouco espessas. Para a maioria destes materiais, a aderência em camadas delgadas é superior à aderência em massa (SOUZA E RIPPER , 1998).

A utilização do concreto polímero pode ser em locais que tenham armaduras expostas, locais externos, barragem tunes de rodovias, que necessitam de uma alta resistência. É uma argamassa que pode ser utilizada na parte inferior de lajes, e em pilares, devido ao fato deste material não escorrer tendo assim um teor de umidade baixa.

2.5.3 Sílica Ativa

A Sílica ativa e um material utilizado em forma de pó, que é adicionado ao concreto para o ganho de resistência elevada, e garantia a proteção das armaduras das corrosões, com isso esta substancia vem sendo bastante usada em novas construções.

Segundo Souza e Ripper (1998) apresentam como vantagens do seu uso, maiores resistências à compressão, à tração, à abrasão, à erosão, a ataques químicos, menor permeabilidade, porosidade e absorção, maior aderência entre concreto novo e concreto velho e menor índice de reflexão no concreto projetado.

Os concretos com sílica ativa apresentam pH inferior ao do concreto comum, sendo, por isto, mais sensíveis aos efeitos da (carbonatação) e menos trabalháveis. Este material

tem sido utilizado também, e com muito sucesso, nas misturas para aplicação por projeção c, principalmente, nos concretos de alta resistência (SOUZA E RIPPER , 1999).

Em relação ao processo cura deve-se ter mais rigor por não apresentar água em sua superfície como os concretos convencionais há um risco com as microfissuras quando está em processo de endurecimento.

2.5.4 Concreto com Fibra

A mistura do concreto com fibra modifica suas características físicas provocando reforço a tração que o concreto necessita, minimizando a incidência de fissuras do concreto. As fibras podem ser de aço, vidro, de polímeros orgânicos e vegetais como sisal e a juta ¹.

As fibras geralmente são colocadas em locais específicos para combater os esforços a tração das peças de concreto, elas não têm como objetivos substituir as armaduras das estruturas mais sim ajudar na resistência dos esforços que estas estruturas estão sofrendo. A mistura da argamassa com fibra tem uma relação com a aderência, algumas vem de fábrica com um gancho para melhorar esta aderência.

Segundo (Souza e Ripper, 1999) a resistência à tração do produto obtido pela adição de fibras de aço ao concreto depende da aderência entre a argamassa e as fibras, sendo, portanto de interesse que as fibras utilizadas apresentem deformações superficiais ou ganchos, que são produzidos industrialmente. Ainda não há testemunho evidente de corrosão das fibras de aço, nem sequer pela fissuração das peças estruturais”.

As fibras, são descontínuas e distribuídas na massa de concreto, constituindo-se em uma armadura difusa. No entanto, as fibras não tem como objetivo substituir as armaduras de barras, mas sim complementá-las, simplesmente por melhorar algumas das propriedades do concreto, nomeadamente a resistência e o alongamento de ruptura à tração (Souza e Ripper 1998).

2.5.5 Fibra de Carbono

De acordo com ((Souza e Ripper, 1998), esta tecnologia da utilização da fibra de carbono é mais um passo evolutivo na indústria da Construção Civil, em sua constante busca por novas tecnologias que sejam cada vez mais simples resistentes e duráveis para a reabilitação de estruturas de concreto.

Esta técnica tem se apresentado muito eficiente em relação ao aumento da capacidade resistente das peças quanto em relação ao aumento da ductibilidade² dos elementos estruturais, sendo assim também vantajoso pela facilidade de execução do sistema.

¹ Dicionário Aurélio: Juta: Erva tiliácea, de fibras Têxteis. O tecido feito com essas fibras

² Dicionário online informal: Ductibilidade: É a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta ate o momento de sua fratura.

Em sua maioria a utilização de PRFC é feita em pilares principalmente de viadutos e pontes com o intuito de aumentar o desempenho das peças. Este tipo de técnica vem sendo utilizado com o intenção de aumentar as características de ductibilidade, resistência a flexão e cisalhamento das peças. Geralmente são empregadas em peças de concreto mais também pode ser utilizadas em outras superfícies como madeira e o aço.

2.5.6 Adesivos e Primers

Os adesivos e primers são utilizados para colar materiais a elementos estruturais já existentes, servindo como uma ponte de aderência, além da aderência os primers servem como uma ponte protetora do substrato.

Segundo Souza e Ripper (1998) os adesivos base epóxi são polímeros em dois componentes: monômero e catalisador, que após mistura, permanece viscoso (“pot-life”), depois endurece e solidifica, adquirindo elevada resistência mecânica. Têm uso recomendado como ponte de aderência para reparos e reforços estruturais, para reestabelecer o monolitismo e para colagem de chapas metálicas para reforço estrutural. Apresenta excelente adesão para colagem de concreto velho e novo e alta resistência física. Podem ser a base de acrílico, PVA, epóxi, e são polímeros que adquirem elevada resistência mecânica após endurecer e solidificar.

2.5.7 Graut

De base mineral ou epoxídica, tem como característica a fácil aplicação, elevada resistência mecânica, e a ausência de retração. Recomendadas para reparos em geral, são autonivelantes, com alta fluidez, não retráteis, apresentando alta resistência iniciais e finais.

Segundo Souza e Ripper (1998) O graute de base mineral é constituído de pó cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivos superplastificantes, e aditivo expensor (pó de alumínio) que possibilitam a obtenção de elevada fluidez, tornando possível a sua aplicação em regiões dos elementos estruturais de difícil acesso. Além disto, em virtude da presença de aditivo expensor na mistura, há maior garantia de que todos os espaços da região do reparo serão preenchidos. O graute de base epoxídica, apesar do elevado custo são indicados para o caso de alta resistência mecânica, elevada agressão química, e necessidade de entrada rápida em carga.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado neste trabalho se baseia em um Estudo de caso aliado a avaliações de referências bibliográficas já existentes sobre o tema em questão. O presente trabalho consiste em estudos e levantamentos de uma Estrutura de ponte onde será necessária aplicação de processos de recuperação e redimensionamento. Portanto para realização deste trabalho seguiu-se os seguintes métodos

- 1- Estudo e avaliação de referencial bibliográfico sobre o tema proposto;
- 2- Pesquisas em livros apostilas, monografias, teses de mestrado e doutorado sobre os temas de recuperação reforço, reparo e patologias em concreto;
- 3- Estudo de normas técnicas voltadas para utilização de concreto e estruturas;
- 4- Pesquisa de campo com realização de levantamentos e análises da Estrutura de uma ponte que teve seu tráfego interrompido devido sua baixa resistência de carga. Construção pela qual se trata este trabalho, com o intuito de detectar as características em que se encontra a estrutura atual, suas patologias, o motivo pelo qual será necessária aplicação de recuperação, as peças a serem recuperadas e as que serão necessário redimensionamento.

Para realização dos cálculos a serem feitos para o dimensionamento da estrutura a ser recuperada utilizaremos como orientação e base a NBR6118/2014, Projeto de Estruturas de Concreto, pois esta estabelece as diretrizes de cálculo e dimensionamento das estruturas de concreto. Assim também a NBR 7187/2003 Projeto de Pontes de Concreto Armado e Protendido – Procedimento, O Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários- DNIT 2010 (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), e todas as demais normas que possam auxiliar no dimensionamento da estrutura e na escolha das técnicas de recuperação.

Para que esta ponte atenda a demanda de veículos e pessoas que transitam sobre ela, será necessária retirada e demolição de um elemento de viga e tabuleiro que vieram a romper e se soltar do apoio devido a patologias da estrutura do apoio e pelo qual será necessária recuperação no respectivo apoio utilizando materiais de concreto convencional e redimensionamento dos elementos de viga e tabuleiro.

Já para o cálculo de vigas é necessário que seja realizado o dimensionamento levando em consideração o tráfego da ponte, as cargas que podem passar sobre ela, onde a NBR 7187/2003 estabelece as cargas móveis e permanentes a serem observadas. Os cálculos a serem feitos não levam em consideração o efeito do vento por se tratar de uma ponte com um vão e altura menores, serão realizados cálculos das forças de cisalhamento as flechas máximas e mínimas e as armaduras longitudinais superiores e inferiores e então dimensionada o respectivo tabuleiro baseado no cálculo desta viga.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESCRIÇÃO DA PONTE

Para realização deste trabalho foi utilizada como objeto de estudo e avaliação uma estrutura de ponte localizada no Córrego do Laje Caratinga MG.

Características da Ponte:

- 1- Ponte Rural de concreto armado;
- 2- Contendo uma viga, constituída de um vão contínuo de 10 metros;
- 3- Seção transversal estruturada por uma viga principal de altura constante de 85 centímetros,
- 4- Dois apoios de concreto nas extremidades da ponte,
- 5- Um tabuleiro contendo 3,5 metros de altura;
- 6- Altura no nível d'água até a ponte de 3,80 metros.

A figura 9 apresenta projeto da ponte.



Figura 9: Ponte Córrego do Laje(Autoria Própria)

A Figura 10 apresenta a visão lateral da ponte que atravessa o córrego do Laje.



Figura 10: Ponte Córrego do Laje (Autoria Própria)

Em visita de campo ao local da ponte que atravessa o Córrego do laje, foi verificado que houve degradação de um dos apoios devido a ação da água da enxurrada até o local do mesmo, ocasionando assim uma deterioração e lixiviação do concreto que compõe o apoio da ponte causando um deslocamento da respectiva viga e de uma parte do tabuleiro apoiados no aparelho, causando assim a interrupção da via, como pode ser observado nas Figuras 11, 12 e 13.



Figura 11: Apoio Danificado (Autoria Própria)



Figura 12: Viga e Tabuleiro Caídos(Autoria Própria)



Figura 13: Queda do Tabuleiro(Autoria Própria)

Devido a processos patológicos ocasionados ao longo do tempo na estrutura da ponte em questão foi observado que há necessidade de recuperação do apoio para que a estrutura possa atender novamente e satisfatoriamente as solicitações de carga exigidas do tráfego de veículos e pedestres, e retirada e dos aparelhos de viga e tabuleiro que deslocaram, sendo necessário assim então necessário o dimensionamento dos elementos de laje e viga a serem substituídos. A parte

da estrutura que ainda se encontra em pé permanecer no local para que seja reutilizada, um dos motivos pela qual se propõe a recuperação.

4.2 LEVANTAMENTOS DAS PATOLOGIAS E ANÁLISES

Um correto diagnóstico dos problemas patológicos que afligem as estruturas revelará as causas da ocorrência destas patologias e as agentes responsáveis por estas.

De acordo com Sartorti (2008), o diagnóstico de qualquer patologia deve ser embasado em uma análise profunda da estrutura e o conhecimento adequado dos mecanismos de formação e manifestação das patologias.

Com base nas inspeções e avaliações realizadas serão expostas algumas características na estrutura da ponte bem como as patologias observadas nesta, e as possíveis causas que levaram ao surgimento de cada processo patológico.

4.2.1 Degradação do Concreto

De acordo com Lemos (2006) a degradação por desagregação do material é um fenômeno que frequentemente pode ser observado nas estruturas de concreto, causado pelos mais diversos fatores, ocorrendo, na maioria dos casos em conjunto com a fissuração.

Este processo de danificação e deterioração do concreto depende diretamente do ambiente ao qual este esteja exposto. As reações expansivas e a corrosão são as principais causadoras deste processo.

A particularidade da corrosão do concreto está em que as reações de deterioração são somente químicas e não eletroquímicas, que predominam no aço (SARTORTI, 2008).

A corrosão do concreto pode ocorrer devido a três fatores:

1- Lixiviação: Dissolução e arrasto do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , e outros compostos e hidratados, na superfície do concreto;

2- Reação iônica: Ocorre em virtude da reação de alguns íons com substâncias químicas existentes no cimento;

3- Por expansão: Neste tipo de corrosão ocorrem reações de sulfatos com os compostos do cimento.

No caso da ponte em questão ocorreram degradações do concreto em pontos localizados em um dos apoios, isso devido a incidência da água em contato com o concreto que causa a dissolução do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 da pasta de cimento onde é visível o fenômeno de lixiviação do concreto. Tal fato pode ser observado na Figura 14.



Figura 14: Degradação do Concreto (Autoria Própria)

4.2.2 Corrosão da Armadura

A corrosão da armadura nas estruturas de concreto é uma patologia altamente identificada, e apresenta-se como um dos principais mecanismos de deterioração das estruturas. Segundo SARTORTI (2008), ambientes agressivos, porosidade elevada, alta capilaridade, deficiência no cobrimento, materiais de construção com problemas, e fissuração acentuada, são os fatores preponderantes na influencia da criação de um estado de corrosão da armadura.

Nos casos de corrosão do aço no interior do concreto, o processo tem característica eletroquímica, ou seja, há presença de reações químicas. Para que ocorram reações de corrosão, é necessário que ocorra a despassivação¹ da armadura na qual ocorre frente a pelo menos uma das duas condições básicas: presença de quantidade suficiente de cloreto, ou diminuição da alcalinidade do concreto, como explica Menezes Azevedo (2009).

O ataque por íons cloreto, que rompe a película passivadora, e a carbonatação, que reduz o PH no meio são os dois principais agentes que promovem a despassivação da armadura no concreto, porém outros mecanismos também podem atuar como por exemplo ação de águas ácidas, fungos fuligem e reações expansivas com sulfatos.

No estudo de caso em questão a patologia e corrosão da armadura ocorre em pontos localizados do tabuleiro da ponte. Provavelmente essa ocorrência se da ao desgaste a longo tempo do concreto do tabuleiro expondo a armadura deste ao ambiente. Tal fato pode ser observado na Figura 15 e 16.

¹ Dicionário online português: Despassivação: Ação responsável pelo fenômeno de corrosão das armaduras.



Figura 15: Exposição da Armadura (Autoria Própria)



Figura 16: Exposição da Armadura do Tabuleiro (Autoria Própria)

4.2.3 Outras Patologias

Além das patologias citadas acima várias outras patologias são comuns em estruturas de pontes. Além das deficiências de projeto e execução, ainda ocorrem as fissurações devido a vários fatores, os recalques diferenciais, os ataques químicos e biológicos nas estruturas, falta de aderência entre os materiais, flechas, desaprumos, flambagens, ligações e emendas de peças, recalques, esmagamentos, deslocamentos e distorção dos aparelhos de apoio, erosões nos taludes de acesso, dentre outras patologias.

No estudo de caso em questão a falta de acesso a materiais como Projeto Estrutural da Ponte, Memoriais de Cálculo ou qualquer documento que se possa verificar como foi realizado o dimensionamento e execução da fundação da ponte, e a espessura do cobrimento mínimo exigido do concreto em projeto, já que dependendo do tempo de execução desta, pode-se ter utilizado

cobrimento já alterado pela norma mais atual dificulta na compreensão e detecção dos fatores que levaram a ocorrência de patologias nesta peça estrutural levando a danificação da mesma e interrupção da via.

4.3 RECUPERAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO

O processo de recuperação estrutural de uma ponte de concreto depende de cada situação e sua exigência específica, de modo geral aplica-se se os procedimentos usualmente adotados nas demais obras de concreto armado e protendido.

Segundo HELENE (2003), para o êxito das medidas terapêuticas é necessário não somente um estudo prévio para decidir o diagnóstico em cada questão, mas o conhecimento das vantagens e desvantagens dos materiais, dos sistemas e de cada um dos procedimentos de reabilitação de estruturas de concreto. Para cada situação particular existe uma alternativa ideal de intervenção.

Os materiais sugeridos para realização do processo de recuperação do apoio a ser recuperado na ponte objeto de estudo assim como as técnicas de limpeza, são aquelas citados anteriormente neste trabalho.

4.3.1 Remoção e Substituição do Concreto

A remoção do concreto pode ser superficial, quando não alcança a armadura, ou profunda quando se atinge essa ou se vai além dessa. No caso da ponte em estudo o apoio a ser recuperado tem sua estrutura somente de concreto simples, sem armações de aço, portanto a remoção do concreto deve-se avaliar os pontos onde haja esta necessidade de remoção, onde o concreto apresenta deterioração e ou esmagamento, ou seja, deve-se remover toda superfície do concreto danificado.

Na ponte em questão uma técnica de limpeza e remoção do concreto viável a ser aplicada é a de jato de água e areia muito utilizada em limpeza de superfícies de concreto pelo seu baixo custo e rendimento satisfatório. A escolha do método considera a profundidade do material a ser removido, sua extensão e localização na estrutura (IPR, 2010).

Em todos os métodos de limpeza e remoção de superfície de concreto deve-se controlar poeira barulho e vibração, principalmente quando se trata de uma estrutura sob efeito de patologias e perda de resistência da peça estrutural. É importante ressaltar que a remoção e substituição do concreto provocam cicatrizes exibindo a área de transição entre o concreto velho e o material de reparo. O concreto danificado deve ser totalmente retirado assim como todos os demais restos de materiais, impurezas ou qualquer outra substância que pode estar presente na superfície do concreto. Após a retirada do concreto danificado a superfície deve ser tratada com uma técnica de apicoamento, para obter uma rugosidade suficiente visando receber o material de preenchimento

no caso de ponte o concreto convencional para recuperação da peça de apoio. Em seguida para finalizar o processo de limpeza e remoção deverá ser feita a limpeza da superfície com jato de ar comprimido. Para então poder iniciar-se o processo de recuperação.

A escolha do material a ser utilizado como reparo depende da análise do volume do material a ser utilizado, da profundidade, do reparo e das condições de trabalhabilidade e acesso ao local do reparo. O material a ser utilizado deve possuir propriedades idênticas ou compatíveis ao concreto existente garantindo a solidarização de ambos, resultando em um comportamento estrutural monolítico. Na ponte do córrego do Laje o material a ser indicado para recuperação é o de concreto convencional escolha realizada pela facilidade de execução e disponibilidade de material e mão-de-obra.

A estrutura de apoio não sofrerá esforços de empuxos consideráveis por este motivo foi-se determinado o uso de concreto simples, que irá trabalhar por gravidade.

4.3.2 Remoção da Corrosão

A corrosão nas pontes de concreto pode ser verificada nas armaduras, cabos de protensão, aparelhos de apoio metálicos, guarda-corpos metálicos e outros elementos.

Após a remoção da corrosão é avaliada a perda da seção de área das barras. No caso de perdas de seção superior a dez por cento, deverá ser realizada uma proteção contra corrosão que pode ser feita envolvendo a armadura com argamassa de alto teor de cimento, grout ou argamassa epoxídica.

Deverá ser removido todo o material resultante do processo de corrosão inclusive o concreto atingido. Na ponte do córrego do Laje o tabuleiro da ponte apresenta locais de exposição e manchas de corrosão de armadura, que podem ser removidas através de limpeza com jato de areia.

4.4 RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

4.4.1 Recuperação do Apoio

Segundo Souza e Ripper (1998) os reparos em que se utiliza concreto convencional consistem na substituição de concreto defeituoso ou deteriorado por um outro de boa qualidade e que tenha a maior afinidade possível com o concreto base.

Todos os reparos devem ser realizados observando-se o maior cuidado possível compactando-se vigorosamente o concreto e adotando-se a melhor técnica de cura que se adapte a cada caso. O principal fator a ser observado para a realização de uma boa recuperação, é garantir a cura do concreto. Portanto para a correta recuperação do pilar da ponte do córrego do laje deve-se seguir os seguintes passos:

- 1- Retirada dos aparelhos de viga e tabuleiro que sofreram rompimento;
- 2- Nas zonas deterioradas do pilar efetuar-se o apicoamento da superfície, para efetuar remoção do concreto deteriorado;
- 3- Jateamento de água sob pressão nas superfícies a recuperar;
- 4- Preparação do apoio da estrutura ou aplicação do concreto convencional;
- 5- Aplicação de material impermeabilizante.

4.5 REFORÇO ESTRUTURAL

Quando há a necessidade de se aumentar a capacidade portante de uma estrutura de ponte ou viaduto é necessária que seja feita aplicação de reforço estrutural.

Reforço estrutural como o próprio nome sugere, consiste no reforço a partir, da combinação de dois ou mais materiais no objetivo de otimizar as características individuais de cada elemento estrutural.

Este aumento da necessidade da capacidade de carga se deve aos mais diversos fatores sendo uma das mais frequentes a necessidade da adequação de pontes antigas á cargas móveis atuais. Além deste fator de adequação outros fatores também se apresentam determinantes para reforço estrutural em pontes e viadutos como as intensidades das manifestações patológicas instaladas a ocorrência das erosões a longo prazo nas fundações, avarias causadas pela ação de cheias nos rios, choque de veículos, e a detecção de resistência insuficiente em determinados elementos estruturais.

Se tratando da ponte no Córrego do Laje verificou-se a necessidade de reforço nas fundações para que esta ponte atenda corretamente as exigências e tráfego, e não retorne a apresentar problemas patológicos.

4.5.1 Reforço de Fundação

Realizar a aplicação de um reforço em fundação de pontes, se torna uma atividade bastante complexa, pelo fato de se envolver uma serie de fatores e incertezas quanto a real capacidade de carga da estrutura muitas vezes dimensionada a mais de décadas, com o dimensionamento realizado ainda para suporte de carregamentos totalmente defasados. Nessas incertezas ainda conta-se na maioria dos casos com o desconhecimento sobre o projeto original, que o caso da ponte em estudo onde não se teve acesso a projetos e materiais onde pudesse identificar o tipo de fundação utilizada o dimensionamento nem qualquer outra forma de projeto que auxiliasse no entendimento e escolha da fundação como objeto de reforço.

4.5.2 Reforço de Fundação Ponte do Córrego do Laje

Para que apoio danificado da ponte do córrego do laje possa atender satisfatoriamente as exigências de carga que transitam sobre ela, recomenda-se que seja realizado reforço de fundação, já que observou-se a queda de parte da estrutura devido a perda de estabilidade do apoio portanto para que a viga e o tabuleiro dimensionados possam atender satisfatoriamente as exigências desta ponte, estas devem trabalhar de maneira monolítica com os apoios e a fundação, como também devido ao fato de um dos apoios ter sofrido um desgaste devido a incidência de água do rio indicando problemas de resistência da fundação.

Uma alternativa viável para utilização de fundação como reforço é a fundação do tipo estaca. As estacas são elementos de fundação profunda executada com o auxílio de ferramentas e equipamentos por cravação ou percussão, prensagem, vibração, ou pode ser executada por escavação, (VELOSO E LOPES, 1998). Têm a finalidade de transmitir cargas ao solo, seja pela resistência sob sua extremidade inferior (resistência de ponta), seja pela resistência ao longo do fuste² atrito lateral ou pela combinação dos dois (ALONSO, 1983). A seguir daremos duas opções de estacas que podem ser utilizadas como reforço de fundação na ponte do córrego do Laje.

Sugere-se para efeito de utilização dois tipos de estacas sendo elas, estaca pré moldada de concreto e estaca raiz.

As estacas pré- moldadas de concreto são estacas cravadas ao terreno. São peças armadas em toda a sua extensão, a fim de resistir aos choques do pilão ou martelo de cravação. Dependendo do fabricante podem variar de diâmetro e comprimento, e devem sempre informar a tensão admissível estrutural da estaca. As estacas pré-moldadas enquadram-se na categoria das estacas de deslocamento, caracterizadas por sua introdução no terreno através de processo que não promova a retirada de solo. É uma excelente opção de fundação tendo em vista o severo controle de qualidade a que elas são submetidas durante sua fabricação e cravação.

Uma vantagem importante de utilização desta estaca como fundação de ponte é que este tipo de estaca pode ser facilmente empregada abaixo do lençol freático. Possuem um bom desempenho ao se atravessar camadas de solos moles com baixa resistência o que é um ponto positivo já que por não possuir dados de projeto e de solo não se sabe a resistência atual do solo de fundação. Não deixam excessos de resíduos provenientes de escavação, além de possuírem boa capacidade de carga já que se trata de um elemento de ponte e pode haver momentos de grande exigência de carga, e ainda possuem um valor de preço mais em conta se comparado a outros tipos de fundações profundas.

Segundo Veloso e Lopes (2010), As estacas Raiz foram originalmente utilizadas na Itália para contenção de encostas. Posteriormente, foram utilizadas em reforços de fundações e, em seguida, como fundações normais Utilizados são, em geral, de pequeno porte, o que possibilita

² Dicionário Online Português: Fuste é toda lateral das estacas ou do tubulão.

o trabalho em ambientes restritos (VELLOSO e LOPES, 2010). Por essa razão, são estacas bastante utilizadas em reforço de fundações.

Segundo Rebello (2008), o processo executivo das estacas raiz constitui primeiramente a perfuração do furo, utilizando um tubo rotativo que tem em sua base uma ferramenta denominada sapata de perfuração, com diâmetro um pouco maior que o tubo. Segundo Veloso e Lopes (2010) a perfuração é auxiliada por circulação de água ou por lama betonítica. Terminada a perfuração, ocorre a introdução da armadura e realizado o processo de concretagem por meio da argamassa de areia e cimento. Uma vantagem da utilização da estaca raiz como reforço de fundação de ponte se deve ao fato de que esta prática se apresenta mais utilizada como objeto de reforço de pontes do que outras estacas e portanto encontra-se mais referências de utilização deste tipo de estaca. Outra vantagem é o fato de que a execução da estaca raiz não provoca vibrações podendo ser executada em casos específicos como reforço de fundações. Além disso esta estaca possui a vantagem de resistir a cargas de tração muito elevadas sendo ideias para pontes viadutos e obras de artes especiais.

Não foi possível a realização de testes mais específicos de solo como o ensaio de sondagem SPT *standard penetration test* conhecida como sondagem a percussão ou sondagem de simples reconhecimento, para melhor identificação da resistência e profundidade do solo de fundação.

Para reconhecimento do solo a ser empregada a fundação foi feito um ensaio de campo utilizando trado manual, perfurando 3 metros de profundidade do solo em dois pontos diferente, sendo detectado tipo de solo argila de cor amarelada de pouca presença de areia, onde não verificou-se presença de rocha para ancoragem de fundação rasa até esta profundidade, onde detectou-se que a melhor maneira de reestabelecer a resistência desta ponte é com a aplicação de reforço com fundação profunda, sendo recomendada duas opções sendo elas estaca pré moldada de concreto e estaca raiz.

A figuras 17, e 18 a apresentam a demonstração do teste realizado com o trado manual.



Figura 17: Teste Trado Manual 1º Furo (Autoria Própria)



Figura 18: Teste Trado Manual 2º Furo (Autoria Própria)

Para efeito de reforço propõe-se criar bloco de fundação com estacas de concreto pré-moldado cravadas no local. Primeiramente deve-se realizar o escoramento da estrutura para retirar todos os esforços que atuam sobre ela, e para que seja então executado o reforço é importante que o rio seja desviado para outro lado do tabuleiro, e assim então cravar as estacas com a posterior construção do bloco de coroamento e a viga. Deixar os arranques do pilar para sua posterior execução até altura da viga existente. Depois de atingido o tempo de cura do pilar, será colocada a viga que foi redimensionada e executada a nova laje.

4.6 DIMENSIONAMENTO

4.6.1 Idealização para o Cálculo das Solicitações

As estruturas de pontes são formadas por elementos verticais (vigas) e horizontais (lajes), ligados monoliticamente. Para o dimensionamento correto das peças de pontes devem ser consideradas aproximadamente as cargas móveis em uma seção próxima ao meio do vão na posição transversal mais desfavorável para a viga, e assim obtém-se o trem tipo adequado a ser considerado no dimensionamento. Para as seções próximas aos apoios, as cargas da viga para a mesma posição da carga móvel na seção transversal sofrem alterações. Contudo para maior simplicidade dos cálculos, admite-se que o trem tipo calculado próximo ao meio do vão não se altera ao longo da viga.

As seções devido ao peso próprio são mais fáceis de distribuir, no caso do cálculo com uma viga, esta recebe todo peso próprio da superestrutura.

Os esforços devido ao peso próprio e a carga móvel são calculados em diversas seções de cálculo ao longo da viga. O número de seções adotadas em cada tramo varia de acordo com o vão a ser utilizado.

4.6.2 Dimensionamento da Laje do Tabuleiro

A figura 19 demonstra as dimensões da Laje 1.

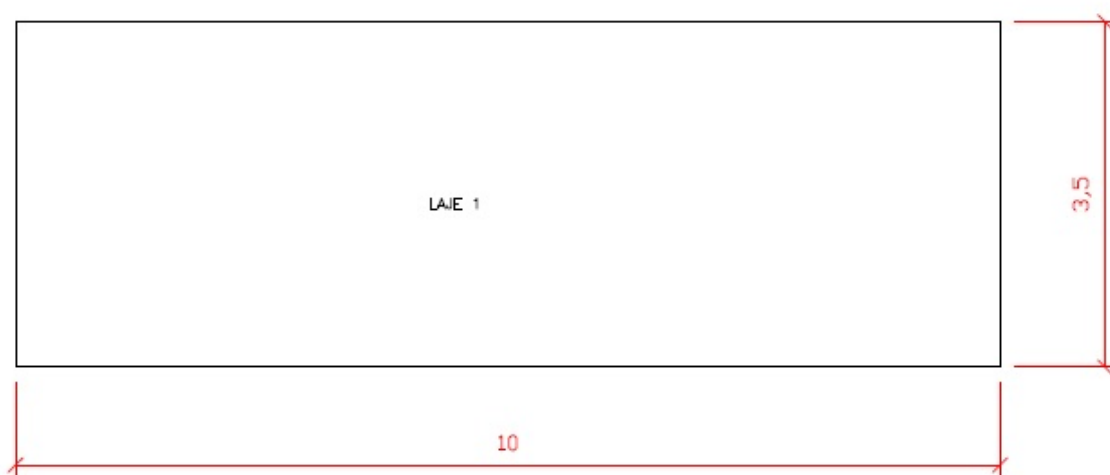


Figura 19: Dimensões da Laje (Autoria Própria)

As pontes de concreto são constituídas por tabuleiros compostos por lajes, ligadas de diversas maneiras aos demais elementos da superestrutura. Esses elementos que servem de apoio para as lajes podem ser as transversinas e as vigas de fechamento. A forma mais comum em que

se apresentam as lajes de pontes são aquelas em que uma dimensão da mesma é muito maior do que a outra dimensão. As lajes de pontes podem ser apoiadas em balanço ou com engastamento parcial.

No dimensionamento de pontes as principais solicitações são provocadas pelas cargas concentradas das rodas dos veículos. O emprego das superfícies de influencia no cálculo dos momentos fletores e momentos cortante num ponto da laje é semelhante aos da linha de influencia no cálculo das solicitações nas seções de uma viga.

4.6.2.1 Carregamento Permanente

$$L_x - 3,50\text{cm}$$

$$L_y - 10\text{cm}$$

$$L_y/L_x - 10/3,5 = 2,85$$

$$L_x/a - 3,50/2 = 1,75$$

$$T/a - 0,61/2 = 0,305$$

$$t = 0,32 + 2 \left((0,07 + 0,15)/2 \right) = 0,61$$

4.6.3 Esforços Solicitantes Devido ao Carregamento Permanente

4.6.3.1 Índice da Tabela de Rusch

Uma das tabelas mais conhecidas para o cálculo de esforços em lajes de pontes foi desenvolvida por H. Rüsck para o trem-tipo da norma alemã DIN-1072 (RÜSCH(1960)). As normas brasileiras de cargas rodoviárias adotaram carregamentos com a mesma geometria das cargas de cálculo das normas alemãs, de modo que as tabelas de Rüsck podem ser empregadas no dimensionamento de pontes no Brasil. As tabelas criadas por Rush permitem a determinação das solicitações das lajes, mediante condições de apoio prefixadas, incluindo apoio simples, engaste perfeito ou bordo livre.

Na tabela 4.1 de Rush é apresentada resultados tabelados, referente a uma placa apoiada nos quatro lados ($l_y/l_x = 3$) para o caso do trem tipo alemão da classe 30 t a 60 t. (Tabela anexo A).

4.6.3.2 Carregamento Permanente

$$Q = 0,15 \times 25 + 0,07 \times 25^2 = 5,5 \text{KN/m} \quad (4.1)$$

$$M_{ym} = 0,0208 \times 5,5 \times 35^2 = 1,40 \text{KN/m} \quad (4.2)$$

$$M_{xm} = 0,125 \times 5,5 \times 35^2 = 8,42 \text{KN/m} \quad (4.3)$$

4.6.3.3 Coeficiente de Impacto (Efeito das Cargas Móveis)

As cargas móveis verticais características devem ser majoradas para o dimensionamento de todos os elementos estruturais pelo Coeficiente de Impacto Vertical (CIV), obtendo-se os valores (Q) e (q) para o dimensionamento dos elementos estruturais de acordo com a norma 7188(2008).

$$Q \times P \times \text{CIV} \times \text{CNF} \times \text{CIA} \quad q \times p \times \text{CIV} \times \text{CNF} \times \text{CIA}$$

CIV = 1,35 para estruturas com vão menor do que 10,0m.

CIV = $1 + 1,06 \times (20 / (\text{Liv} + 50))$ para estruturas com vão entre 10,0 e 200,0m.

Onde:

Liv é o vão em metros para o cálculo CIV conforme o tipo da estrutura, sendo:

Liv = L é usado para estruturas de vão isostático;

Liv é a média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos;

Liv é o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço;

L é o vão em metros.

Sendo encontradas para a ponte do estudo de caso:

$$\phi = 1,41$$

$$\text{CIV} = 1,35$$

$$\text{CNF} = 1,05$$

$$\text{CIV} = 1 + 1,06 (20 / (10 + 50)) = 1,35$$

4.7 ESFORÇOS DEVIDO A CARGA MÓVEL

Tabela NR= 4.1

$L_y / L_x = 3$

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam os cálculos de M_{xm} , M_{ym} , M_{xr} .

M_{xm}

Tabela 3: Cálculo de M_{xm} (Autoria Própria)

T/a Ly/LX	0,25	0,305	0,5	P	P'
1,5	0,412		0,36153	0,103	0,2369
1,75	0,45886	0,4499143	0,41818	0,18025	0,32445
2	0,50573		0,47483	0,2575	0,412

$$M_{xm} = 1,35 \times [50 \times 0,449143 + 5 \times (0,18025 + 0,32445)] = 33,78 \text{KN/m}$$

M_{ym}

Tabela 4: Cálculo de M_{ym} (Autoria Própria)

T/a Ly/LX	0,25	0,305	0,5	P	P'
1,5	0,22		0,16	0,02	0,07
1,75	0,2417	0,23126	0,194	0,03	0,095
2	0,263		0,228	0,04	0,12

$$M_{ym} = 1,35 \times [50 \times 0,23126 + 5 \times (0,03 + 0,095)] = 16,45 \text{KN/m}$$

M_{xr}

Tabela 5: Cálculo de M_{xr} (Autoria Própria)

T/a Ly/LX	0,25	0,305	0,5	P	P'
1,5	0,672		0,504	0,105	0,21
1,75	0,82425	0,779205	0,6195	0,1575	0,2625
2	0,9765		0,735	0,21	0,315

$$M_{xr} = 1,35 \times [50 \times 0,779205 + 5 \times (0,1575 + 0,2625)] = 55,43 \text{KN/m}$$

4.7.1 Momentos Finais na Laje L1

$$M_{xm} = 1,35 \times 8,43 + 1,5 \times 33,78 = 62,05 \text{KN/m}$$

$$M_{xr} = 1,35 \times 1,4 + 1,5 \times 16,45 = 26,57 \text{KN/m}$$

$$M_{yr} = 1,35 \times 8,43 + 1,5 \times 55,43 = 94,52 \text{KN/m}$$

4.7.2 Armaduras da Laje

A tabela 6 apresenta o resultado dos cálculos das armaduras da laje 1.

Tabela 6: Armadura da Laje (Autoria Própria)

Momentos Laje	Armadura
$M_{xm} = 62,05 \text{KN/m}$	$A_s = 14,32 \text{cm/cm } 15\phi 16 \text{mm}$
$M_{ym} = 26,57 \text{KN/m}$	$A_s = 7,11 \text{cm/cm } 9\phi 10 \text{mm}$
$M_{xr} = 94,37 \text{KN/m}$	$A_s = 23,89 \text{cm/cm}$

4.7.3 Verificação da Fadiga

A seguir os resultados dos cálculos de verificação da fadiga.

$$M_{xm} - \Delta f_{sd, Fad} = 14\phi 12\text{mm}$$

$$M_{ym} - \Delta f_{sd, Fad} = 11\phi 10\text{mm}$$

$$M_{xm} - \Delta f_{sd, Fad} = 9\phi 16\text{mm}$$

4.7.4 Verificação do Esforço Cortante

$$T/a = 0,305$$

$$Lx/a = 1,75$$

A tabela 7 apresenta o cálculo de V_{xq} , utilizando como base a tabela de Rush 99 .

$$V_{xq}$$

Tabela 7: Cálculo de V_{xq} (Autoria Própria)

T/a Ly/LX	0,25	0,305	0,5	Q	Q'
1,5	1,32		0,73	0,02	0,03
1,75	1,35	1,2224	0,77	0,03	0,021
2	1,38		0,81	0,04	0,012

$$V_{xq} = 1,35 \times [50 \times 1,224 + 5 \times (0,03 + 0,21)] = 82,85 \text{ KN/m}$$

$$V_{xg} = 0,5 \times g_{lx} = 0,5 \times 5,5 \times 3,5 = 963 \text{ KN/m}$$

$$V_{xsd} = 1,35 \times 9,63 + 1,5 \times 82,25 = 137,27 \text{ KN/cm}$$

$$Z_{cd} = 0,25 \times f_{ctd} = 0,25 \left(\frac{0,21}{1,4} \right) \times 30/4 = 0,353 \text{ Mpa } 0,0353 \text{ KN/cm}$$

$$K = |1,6 - d| = |1,6 - 0,117| = 1,483$$

$$P = \frac{A_s \text{ efet}}{b_w \times d} = \left(\frac{1648}{100 \times 11,7} \right) = 0,014$$

1ª tentativa

$$V_{rd1} = [Z_{rd} \times K \times (1,2 + 40P) + 0,15G_{cp}] \times b_w \times d$$

$$V_{rd1} = [0,0353 \times 1,458 \times (1,2 + 40 \times 0,014) + 0,15 \times 0] \times 100 \times 11,7$$

$$V_{rd1} = 107,79 \text{ KN/m (Não passou)}$$

2ª tentativa

$$h = 20 \text{ d} = 16,7$$

$$V_{rd1} = [0,0353 \times 1,458 \times (1,2 + 40 \times 0,098) + 0,15 \times 0] \times 100 \times 16,7$$

$$V_{rd1} = 134,48 \text{ (passou)}$$

$$V_{rd1} = 134,48 < V_{xsd} = 137,27 \text{ kN/m}$$

4.8 DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL

4.8.0.1 Cargas Permanentes

Segundo MARCHETTI as cargas permanentes podem ser referidas como a carga produzida pelo peso próprio da estrutura e por elementos que estão permanentemente fixos a estrutura, tais como guarda-corpo, guarda-rodas, defensas, passeio, pavimentação, postes de iluminação etc. As cargas permanentes podem ser divididas em cargas concentradas e distribuídas.

A figura 20 apresenta as apresenta os valores de peso específico dos matérias da estrutura de edificações no caso das cargas permanentes distribuídas, usa-se o volume relativo ao comprimento unitário do elemento.

Material	γ (tf/m ³)	γ (kN/m ³)
Concreto armado	2,5	25
Concreto protendido	2,5	25
Concreto Simples	2,4	24
Aço	7,85	78,5
Madeira	Variável de acordo com a classe da madeira e sua umidade, segundo a NBR 7190:1997 "Projeto de estruturas de madeira" e Calil <i>et al</i> (2003).	

Figura 20: Peso Específico dos Materiais estruturais de pontes(Adaptado de Marchetti 2008)

A seguir são apresentados os cálculos para determinação do carregamento devido ao peso próprio sobre a viga principal (Longarina).ja que nesta ponte em estudo de caso não há existência de vigas transversinas Foram adotados para concreto armado um peso específico de $\gamma = 25 \text{ kN/m}$.

$$\text{Carga permanente distribuída: } q = \gamma \times v \text{ (kN/m)}$$

$$\text{Carga permanente concentrada: } G = \gamma \times V \text{ (kN)}$$

Com a obtenção dos valores de carga permanente conseguimos traçar os diagramas de esforços normal, cortante, momento, e momento torçor caso exista.

a) Carregamento Uniformemente distribuído

Defensa Barreira- A ponte em questão não apresenta barreira em seu tabuleiro porém para maior segurança dos usuários sugere-se que seja colocada uma barreira de perfil metálico que não representa carga significativa no cálculo do carregamento da ponte, por tanto não consideramos seu peso próprio .

$$\text{Laje- } 0,15 (3,50/2) \times 25\text{KN/m} = 6,56 \text{ KN/m}$$

$$\text{Pavimento- } 0,07(3,250/2) \times 25\text{KN/m} \times 437 + 2 = 6,37 \text{ KN/m}$$

$$\text{Viga- } 0,4 \times 0,85 \times 25 = 8,5 \text{ KN/m}$$

$$q \text{ total} = 21,43 \text{ KN/m}$$

A carga distribuída total considerando todas as ações permanentes anteriormente descritas possui o valor de 21,43 KN/m permitindo que se obtivesse o esquema de cálculo abaixo (Figura 21).

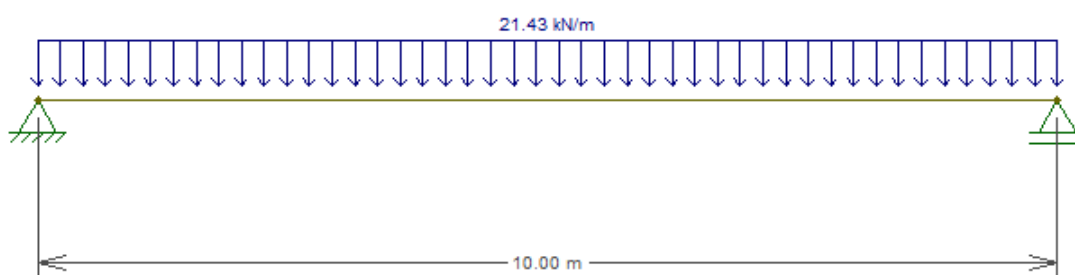


Figura 21: Esquema de Carga Permanente (Autoria Própria)

b) Cargas Concentradas

As cargas concentradas são constituídas pelos pesos próprios dos alargamentos da alma, das longarinas, transversinas e vigas de fechamento. No estudo de caso em questão não foram levadas em consideração valores para cargas concentradas devido a inexistência destas cargas na ponte.

4.9 ESFORÇOS DEVIDO A CARGA PERMANENTE

4.9.0.1 Reações de Apoio

As reações de apoio provocadas pela carga móvel são obtidas com as linhas de influência de reação de apoio, procedendo-se de forma semelhante à indicada no cálculo dos esforços cortantes momentos fletores.

$$R_a = R_b = 21,43 \times 5 = 107\text{KNm}$$

4.9.0.2 Esforços Cortantes e Momentos Fletores

Para cada seção de cálculo da longarina, são traçadas as linhas de influência de momento fletor e esforço cortante e, em seguida, é posicionado o trem-tipo calculado nas posições mais desfavoráveis (ou seja, nas posições que provocam os maiores esforços), obtendo-se assim as envoltórias de momento fletor e esforço cortante. Sendo a viga dimensionada para os valores dessas envoltórias, a resistência estará garantida para qualquer posição da carga móvel sobre o tabuleiro, uma vez que as solicitações correspondentes a esta posição particular, serão inferiores às que foram empregadas no dimensionamento. A figura abaixo (figura 22) mostra as seções a serem calculadas. As tabelas a seguis apresentam os valores de esforço cortante (Tabela 8) e Momentos Fletores (Tabela 9) para a ponte em questão.

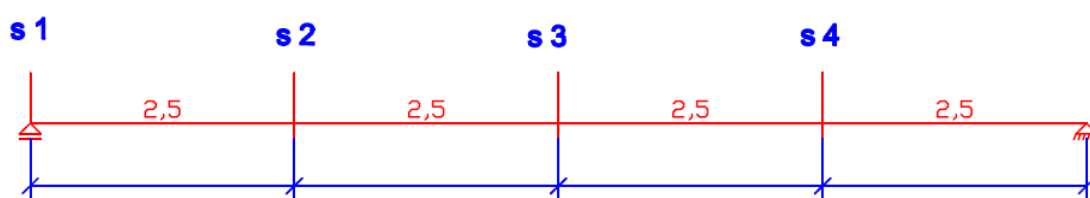


Figura 22: Esquema de seções de Cálculo(Autoria Própria)

Tabela 8: Valores de Esforço Cortante (Autoria Própria)

Seção	Vs(KN/m)
S1	Vs1= 107,43
S2 e 24	Vs2=Vs4= -53,57
S3 (meio do vão)	Vs3= 0

Tabela 9: Valores de Momento Fletor (Autoria Própria)

Seção	Ms(KN/m)
M2 e M4	Ms2=Ms4= 200,91
M3 (meio do vão)	Ms3= 267,875

$$Vs3- 107,15- (21,43 \times 5) = 0$$

$$Vs2= Vs4- 107,15 - (21,43 \times 25) = (53,57/54) = - 53,57 \text{ KN/m}$$

$$Vs1= 107,43\text{KN/m}$$

$$Ms3- 107,15 - 5 \times (21,43 \times 5/2)= 267, 875 \text{ KN/m}$$

$$Ms2 = Ms4 = 107,15 \times 25 \times (21,43 \times 2,5/2) = 200,91 \text{ KN/m}$$

4.10 CARGAS MÓVEIS

As cargas móveis são representadas pelo tráfego de pessoas e veículos que circulam sobre a ponte. Em pontes rodoviárias de pequeno porte, as variáveis principais são geralmente as cargas móveis definidas na ABNT (NBR 7188:1984- Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres). Segundo a NBR-7187 (2003), é permitido considerar as cargas móveis como cargas estáticas majoradas por um coeficiente de impacto cuja expressão depende se a ponte é rodoviária ou ferroviária.

4.10.1 Definição do Trem Tipo

De acordo com PFEIL (2003) as cargas móveis podem ocupar local sobre o tabuleiro da ponte. Assim para cada longarina é necessário procurar a posição do carregamento que provoque a máxima solicitação em cada uma das seções de cálculo. Este procedimento é mais trabalhoso, portanto utiliza-se, o conceito do trem-tipo o que torna o processo de cálculo mais simplificado e facilita o cálculo do carregamento sobre as longarinas.

Nomeia-se como trem-tipo, de uma longarina o quinhão de carga produzida na mesma pelas cargas móveis de cálculo, colocadas na largura do tabuleiro, na posição mais desfavorável para a longarina em estudo. Portanto o trem-tipo é o carregamento de cálculo de uma longarina levando em consideração vários aspectos como posição da laje do tabuleiro, o número e espaçamento das longarinas geometria e seção transversal.

Por se tratar de uma ponte na zona rural e não oferecer um tráfego intenso de caminhões de grande porte constatou-se que o trem tipo classe 30 para o dimensionamento da ponte atende de forma satisfatória. Logo deve ser empregado para cálculo do trem-tipo e especificado pela NBR 7188/2013 com 300KN de peso total.

As figuras 23 e 24 apresentam os três modelos de veículo-tipo, e as características do veículo tipo.

Cargas dos veículos								
Classe da ponte	Veículo			Cargas uniformemente distribuídas				Disposição da carga
	Tipo	Peso total		P		p'		
		kN	tf	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
12	12	120	12	4	400	3	300	Carga p em toda a pista exceto na projeção do veículo. Carga p' nos passeios.
30	30	300	30	5	500	3	300	
45	45	450	45	5	500	3	300	

Figura 23: Carregamento em função da classe da ponte (Adaptado da ABNT (NBR 7188:1984))

Característica dos Veículos				
	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN - tf	450 - 45	300 - 30	120 - 12
Peso de cada roda dianteira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	20 - 2
Peso de cada roda traseira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	40 - 4
Peso de cada roda intermediária	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	-
Largura de contato b, roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
Largura de contato b, roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
Largura de contato b, roda intermediária	m	0,50	0,40	-
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m ²	0,20 x b	0,20 x b	0,20 x b
Distância entre eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre eixos de roda/eixo	m	2,00	2,00	2,00

Figura 24: Características do veículo tipo(Adaptado da ABNT (NBR 7188:1984))

A figura 25 apresenta os modelos de veículos tipo para o cálculo das ações móveis de pontes.

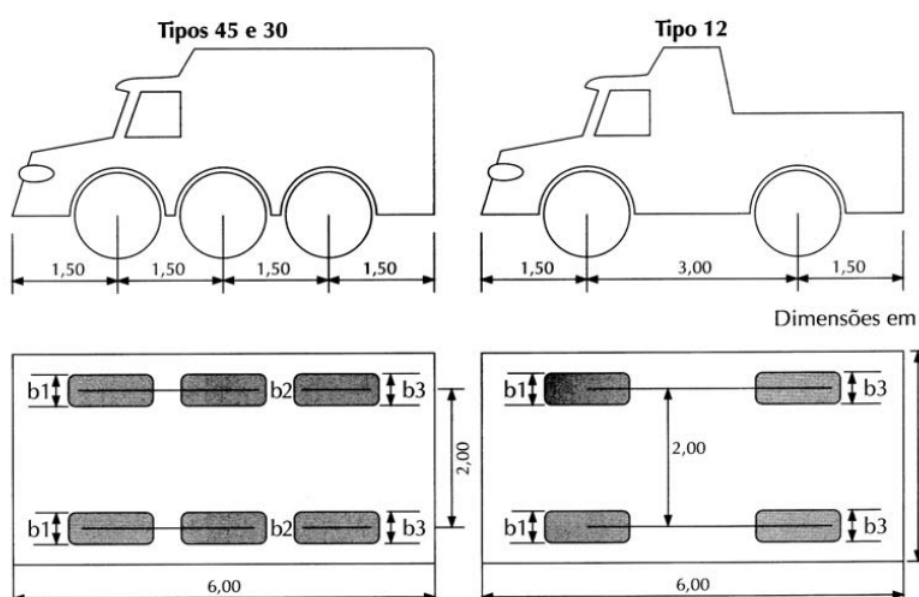


Figura 25: Veículos tipos para o cálculo das ações móveis de pontes (Marchetti (2008))

Para que o cálculo dos elementos da ponte as cargas do veículo e de multidão são utilizadas em conjunto para formar o trem-tipo conforme Figura 26.

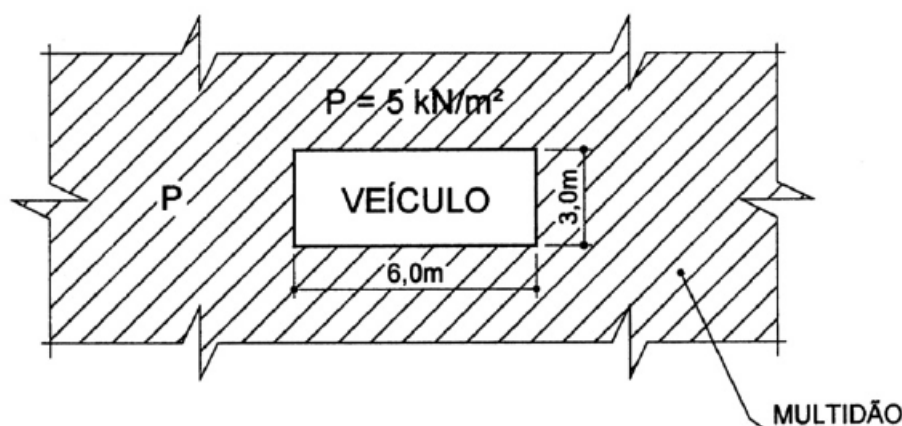


Figura 26: Posicionamento das cargas para a determinação do trem-tipo (Manual do DNIT (2004))

4.10.1.1 Coeficiente Impacto (Efeito Dinâmico das cargas móveis)

$$CIV - 1 + 1,06 (20/(10+50)) = 1,35$$

$$CNF- 1 - 0,05 \times (1-2) = 1,05$$

$$\phi = 1,05 \times 1,35 = 1,41$$

4.11 AÇÃO DO VENTO

A ação do vento é traduzida por carga uniformemente distribuída horizontal ao eixo da ponte. Segundo a lei de Bernoulli, a pressão estática que um fluido ideal em movimento exerce sobre um determinado objeto é igual à redução da pressão dinâmica do fluido (PFEIL, 1983). No caso específico do vento, esta pressão depende da forma da superfície, de sua posição quanto à direção do mesmo e ainda a localização topográfica do corpo no qual este fluido incide.

A NBR-6123 (1988)- Forças devido ao vento em Edificações estabelece os coeficientes simplificadores de cálculo, pré-estabelecendo as características do vento para cada região a ser construída a edificação.

Quando a estrutura principal for laje, dispensa a norma o cálculo da ação do vento, tendo em consideração a grande rigidez à torção dessa estrutura, sua ampla capacidade de resistir à ação horizontal e, mesmo, a pequena superfície exposta, por esse fator da ponte que se trata este trabalho se tratar de uma ponte de 10 metros de vão, e 3,80 metros de altura não se considerou o efeito do vento sobre a estrutura.

4.12 SEÇÃO TRANSVERSAL

Neste item é apresentado o dimensionamento das seções mais representativas das longarinas. A figura a seguir 27 apresenta o corte da seção transversal da ponte.

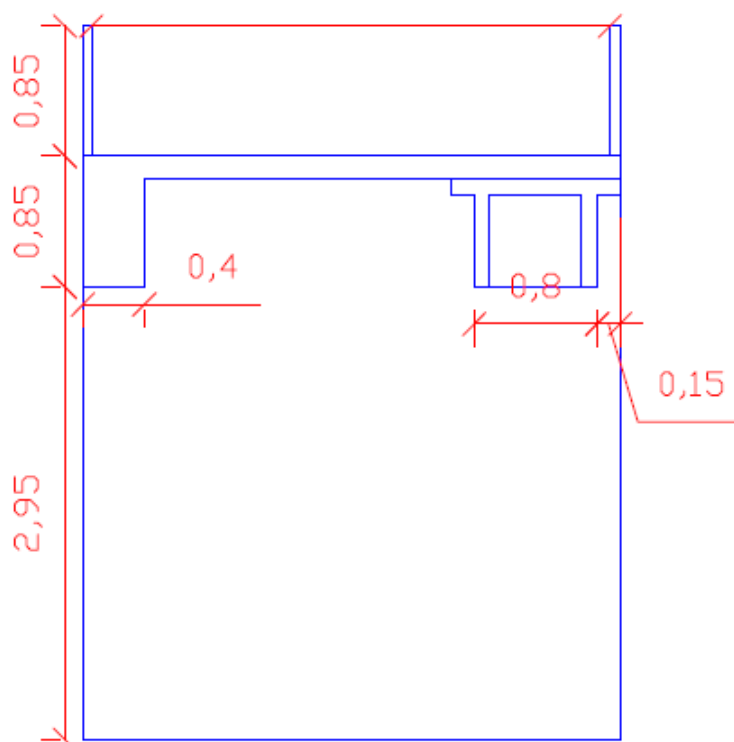


Figura 27: Corte Seção Transversal (Autoria própria)

4.12.0.1 Carga Concentrada

A figura 28 representa o diagrama de cargas concentradas.

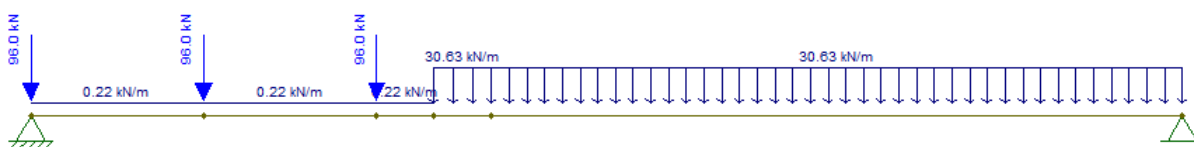


Figura 28: Esquema de Cargas Concentradas (Autoria própria)

$$Ra \times 2,85 = 50 \times 3,05 + 50 \times 0,85 = 96,01 \text{ KN/m}$$

a)Cargas uniformemente ao lado do veículo

$$Rax285 = (5 \times 35^2 / 2) = 0,22 \text{KN/M} \quad (4.4)$$

4.12.0.2 Carga Distribuída

b)Carga uniforme Frente/atrás do Veículo

$$Ra285 = (5 \times 3,05^2 / 2) = 30,63 \text{KN/M} \quad (4.5)$$

A figura 29 apresenta o gráfico com o esquema de cargas concentradas do veículo tipo utilizado. Diagrama elaborado no programa Ftool.

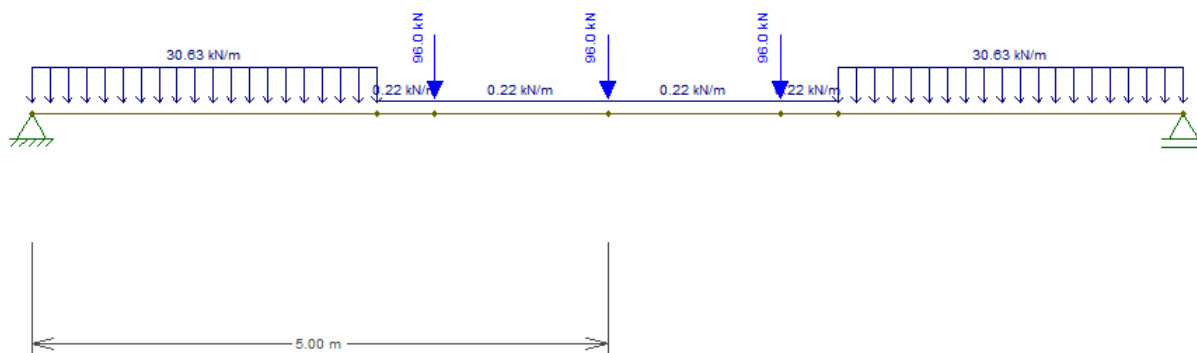


Figura 29: Cargas veículo Tipo (Autoria própria)

4.13 LINHA DE INFLUÊNCIA

Segundo PFEIL (2003) denomina-se linha de influência de uma solicitação 'S' num ponto 'm', uma linha cujas as ordenadas fornecem os valores 'S' para diversas posições de uma carga unitária. A variável 'S' representa as ordenadas encontradas para cada solicitação 'S' nos diferentes pontos aplicados representando a área do diagrama na linha correspondente.

4.13.0.1 Linha de Influencia da reação de apoio

As reações de apoio provocadas pela carga móvel são obtidas com as linhas de influência de reação de apoio, procedendo-se de forma semelhante a indicada nos cálculos de momentos fletores e esforços cortantes. A figura 30 apresenta o gráfico de momento cortante de cargas concentradas do veículo tipo utilizado. Diagrama elaborado no programa Ftool.

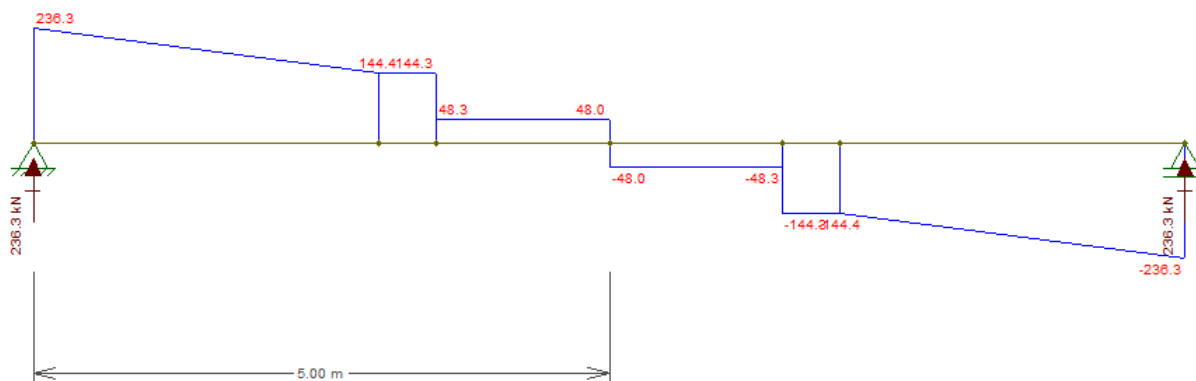


Figura 30: Gráfico de Esforço Cortante (Autoria própria)

a) Reação Máxima

$$R_{max} = [96 \times (1 + 0,85 + 0,7) + 0,22 \times ((0,55+1)/2) + 4,5 + 30,63 \times ((5,5 \times 0,55)/2)] \times 1,41$$

$$R_{max} = 347,56 \text{ KN/m}$$

b) Reação Mínima

$$R_{min} = [96 \times (0,45 + 0,3 + 0,15) + 0,22 \times ((0,45+0,15)/2) + 4,5 + 30,63 \times ((1,5 \times 0,15)/2)] \times 1,41$$

$$R_{min} = 101,79 \text{ KN/m}$$

4.14 ESFORÇO CORTANTE NA SEÇÃO S3 (MEIO DO VÃO)

$$R_{max} = [96 \times (0,5 + 0,35 + 0,20) + 0,22 \times ((0,5+0,05)/2) + 4,5 + 30,63 \times ((0,05 \times 0,5)/2)] \times 1,41$$

$$R_{max} = 149,0 \text{ KN/m}$$

$$R_{min} = 62,39$$

4.15 MOMENTOS FLETORES

A figura 31 apresenta o gráfico de momento fletor de cargas concentradas do veículo tipo utilizado. Diagrama elaborado no programa Ftool.

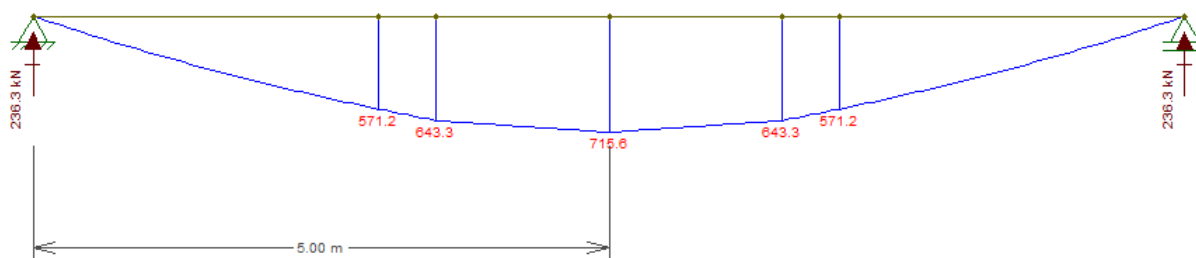


Figura 31: Gráfico de Momento Fletor (Autoria própria)

4.15.0.1 Momentos Fletores na Seção S3 (Meio do vão)

a) Reações máximas

$$M_{s3max} = [96 \times (1,75 + 2,5 + 1,75) + 2 \times 30,63 \times ((2,1)/2) + 2 \times 0,22 \times ((2,5+1)/2) \times 3] = M_{s3max} = 901,80 \text{ KN/m}$$

4.15.0.2 Momentos Fletores nas seções s2 e s4 (Extremidades do vão)

a) Reação Máxima

$$M_{s2} = M_{s3} = [96 \times (1,125 + 1,875 + 1,5) + 0,22 \times (0,75 + ((1,875)/2) \times 3 + ((1,125 + 1,875)/2) \times ((0,375 \times 1,5)/2) \times 1,41] M_{s2} = M_{s3max} = 704,44 \text{ KN/m}$$

b) Reação Mínima

$$M_{s2} = M_{s3} = [2 \times 30,6 \times ((2,1)/2) + 2 \times 0,22 \times ((2,5+1)/2) \times 3] \times 1,41 = M_{s2} = M_{s3min} = 89,63 \text{ KN/m}$$

4.16 ESFORÇOS FINAIS

4.16.0.1 Reações de Apoio

$$R_{amax} = 107,15 + 347,56 = R_{amax} 454,71 \text{ KN/m}$$

$$R_{amin} = 107,15 + 101,79 = R_{amin} 208,94 \text{ KN/m}$$

4.16.0.2 Momentos Fletores na Seção S3 (meio do vão)

$$M_{s3max} = 267,878 + 901,8 = M_{s3max} 1169,68 \text{ KN/m}$$

$$M_{s3min} = 267,875 + 89,63 = M_{s3min} 357,51 \text{ KN/m}$$

4.16.0.3 Esforço Cortante Seção S1

$$Vs1_{max} = 107,15 + 199 = Vs1_{max} 256,15 \text{ KN/m}$$

$$Vs1_{min} = 107,0 \text{ KN/m}$$

4.17 COMBINAÇÕES DE APOIO

$$R_{max} = 1,35 \times 107,15 + 1,5 \times 347,56 = R_{max} 665,99 \text{ KN/m}$$

$$R_{min} = 1,35 \times 107,15 - 1,5 \times 0 = R_{min} 144,65 \text{ KN/m}$$

Somando-se as solicitações devido ao peso próprio com as provocadas pela carga móvel, acrescidas do efeito de impacto, obtém-se os valores das envoltórias de solicitações, as quais são utilizadas no dimensionamento das armaduras nas diversas seções das longarinas.

As tabelas 10 e 11 a seguir apresenta os valores para as envoltórias de momentos fletores e esforços cortantes da longarina.

Tabela 10: Valores de Força Cortante (Autoria Própria)

Seção	Vs(KN/m)	
	Vsmax	Vsmin
S1	Vs1= 368,15	Vs1=51,06
S2 e 24	Vs2=Vs4= 165,4	Vs2=Vs4=72,3

Tabela 11: Valores de Momento Fletor (Autoria Própria)

Seção	Ms(KN/m)	
	Msmax	Msmin
M2 e M4	Ms2=Ms4= 1327,87	Ms2=Ms4=271,21
M3 (meio do vão)	Ms3= 1714,3	Ms3=227,17

$$Ms3_{max} = 1,35 \times 267,86 + 1,5 \times 901,8 = 1714,3 \text{ KN/m}$$

$$Ms3_{min} = 1,35 \times 107,15 - 1,5 \times 89,63 = 227,17 \text{ KN/m}$$

$$Ms2=Ms4_{max} = 1,35 \times 200,9 + 1,5 \times 704,44 = 1327,87 \text{ KN/m}$$

$$Ms2=Ms4_{min} = 1,35 \times 200,9 + 1,5 \times 0 = 271,21 \text{ KN/m}$$

$$Vs1_{max} = 1,35 \times 107,15 + 1,5 \times 149 = 368,15 \text{ KN/m}$$

$$Vs1_{min} = 1,35 \times 107,15 - 1,5 \times 62,39 = 51,06 \text{ KN/m}$$

$$Vs2=Vs4_{max} = 1,35 \times 53,57 + 1,5 \times 62,39 = 165,4 \text{ KN/m}$$

$$Vs2=Vs4_{min} = 1,35 \times 53,57 - 1,5 \times 0 = 72,3 \text{ KN/m}$$

4.18 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO

O desenvolvimento a flexão será apresentado o efeito de fadiga das armaduras. São admitidos os seguintes materiais a serem considerados no dimensionamento da ponte.

1- Concreto: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$;

2- Aço CA - 50;

3- Cobrimento = 3 centímetros;

4- Valor de 'd' para a viga (altura) = 70 centímetros;

$$d' = 85 - 3 - 2,5 - 3 \times 32 - 3,2 = 70 \text{ cm}$$

$$K_c = ((40 \times 70^2) / 1714,3) = 1,63 \quad (4.6)$$

$$K_s = ((0,03 \times 1714,3) / 70) = 73,47 \text{ cm} \quad (4.7)$$

Logo, $15 \phi 25 \text{ mm}$

$$A_{smx} = (4) / 100 \times 40,85 = 136 \text{ cm}^2 > 73,65 \text{ cm}^2 \quad (4.8)$$

4.19 DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO

$$V_{sd} = 368,15 \text{ KN/m}$$

$$V_{rd2} = 0,27 ((1-30)/250) \times ((3)/1,4) \times 40 \times 70 = 1425,6 \text{ KN/m}$$

$$V_c = 0,6 \times 0,1415 \times 40 \times 70 = 243,85 \text{ KN/m}$$

$$V_{sdmin} = V_c + V_{sw}$$

$$V_{sdmin} = 243,85 + 153,83 = 397,68 \text{ KN/m}$$

$$f_{ctd} = ((0,21)/1,4) \times (30/2/3) = 1,41 \text{ Mpa ou } 0,1415$$

$$A_{swmin} = P_{swmin} \times b_w$$

$$A_{swmin} = ((0,1404)/100) \times 0,4 = 0,00562 \text{ m/m} = 5,62 \text{ cm/m}$$

4.19.0.1 Armadura Mínima de Cisalhamento

$$A_{swmin} = 0,00562 \text{ m/m ou } 5,62 \text{ cm/cm Para dois ramos: } 2,81 \text{ cm/cm}$$

4.19.0.2 Armadura próxima aos apoios

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c = 368,15 - 243,85 = 124,3 \text{ KN/m}$$

$$A_{sw}/A = V_{sw}/0,9 \times d \times F_{swd}$$

$$((124,3)/(0,9 \times 70 \times 50/1,15)) = 4,00 \text{ cm} < A_{smin}$$

$$\text{Para dois ramos} = ((4,00)/2) = 2,00 \text{ cm}$$

$$A_{sw} = 2,00 \text{ cm/cm} < A_{smin}$$

$$\text{Para dois ramos} = 2,00 \text{ cm/cm} - \phi 6.3 \text{ c/11cm}$$

$$V_{sd}/V_{rd2} = ((368,15)/14256) = 25 \text{ cm} \quad S_{tmax} = 0,6 \times d = 0,6 \times 70 = 42 \text{ cm}$$

4.20 VERIFICAÇÃO DA FADIGA

A fadiga pode ser entendida, como uma alteração mecânica dos materiais sobre o efeito de solicitações repetidas, aquelas que apresentam frequência relativamente alta. Dentre elas podem ser sismos, ventos, variações de temperatura, congelamentos cargas móveis etc.

A resistência a fadiga pode definir-se como a fração da resistência estática que pode ser suportada, para um certo número de ciclos. A ruptura por fadiga do concreto pode ser caracterizada por deformações e microfissurações bem maiores que as correspondentes a ruptura sob solicitações estáticas.

4.20.0.1 Verificação da Fadiga na Armadura de Flexão

Combinação Frequente

Segundo a Norma NBR-6118/2014, o cálculo da combinação última das ações para o esgotamento da capacidade resistente de elementos estruturais de concreto armado deve obedecer à seguinte equação (tabela 11.3 da referida norma pag 61)

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\xi g} F_{gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \phi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\xi q} \sum \phi_{\xi} F_{\xi qk}, \text{ onde:}$$

F_d = Valor de cálculo das ações para combinação última; F_{gk} = ações permanentes diretas;

$F_{\xi k}$ = ações indiretas permanentes (retração e temperatura);

F_{qk} = ações variáveis diretas, na qual F_{q1k} é escolhida como principal;

$\gamma_g, \gamma_{\xi g}, \gamma_q, \gamma_{\xi q}$ = coeficientes de ponderação de combinação das ações

ϕ_{0j}, ϕ_{ξ} = coeficientes de ponderação das ações.

Usa-se :

$\psi = 0,5$ - Viga Longitudinal

$\psi = 0,7$ – Transversinas

$\psi = 0,8$ - Lajes

$M_{servmax} = 107,15 + 0,5 \times 901,8 = 558,05 \text{ KN/m}$

$M_{servmin} = 107,15 \text{ KN/m}$

$A_s = 73,65$

$D = 70 \text{ cm}$

$d' = 9 \text{ cm}$

$$XII + 2X = ((2,85)/40)X(73,65X(XII \sim 70) + (XII \sim 9)) = 0 \quad (4.9)$$

$XII = 22,36$

$$III - = ((40X22,36^2)/3) + 2,85 + 73,65X(70 \sim 22,36)^2 + (22,36 \sim 9)^2 \quad (4.10)$$

$III = 316.392.74 \text{ KN/m}$

a) Tensão Máxima no Aço

$T_{\text{máx}} = ((1714,3)/316.392.74) = 22,36 = 1,22 \text{ KN/cm} = 1,22 \text{ Mpa}$

$G_{\text{máx}} = 2,85 \times 1,22 \times ((70 - 22,36)/22,36) = 74,08 \text{ KN/cm} = 740,8 \text{ MPa}$

Tensão Mínima no Aço

$T_{\text{min}} = ((227,17)/316.392.74) \times 22,36 = 1,6 \text{ Mpa}$

$G_{\text{min}} = 2,85 \times 1,6 \times ((70 - 22,36)/22,36) = 97,1 \text{ Mpa}$

Verificação da Fadiga

$\Delta G_s = 740,8 - 97,1 = 643,7 \text{ cm}$

$A_{\text{sefet}} = 73,65 \times ((647,9)/105) = 45,1 \text{ cm} < 3400 \text{ passou}$

Logo, conclui-se que a verificação atendeu ao dimensionamento realizado.

4.21 ARMADURA DE PELE (COSTELA)

Segundo a NBR 6118 (17.3.5.2.3), nas vigas com $h > 60 \text{ cm}$ deve ser colocada uma armadura lateral, chamada armadura de pele, composta por barras de CA-50 ou CA-60, com espaçamento não maior que 20 cm e devidamente ancorada nos apoios, com área mínima em cada face da alma da viga igual a:

$$A_{sp,face} = 0,010 \quad A_{c,alma} = 0,0010 \quad b_w \cdot h$$

$$A_{spele} = 0,001 \times 40 \times 85 = 3,4 \text{ cm logo,}$$

$$8c\phi/17 \text{ cm}$$

De acordo com os cálculos realizados conclui-se que as dimensões utilizadas para efeito de cálculo que são as mesmas já existentes na ponte em estudo, foram satisfatórias para recuperação da ponte, pois a partir desses, tem-se a possibilidade de se dar continuidade ao trabalho de recuperação.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho se baseou em apresentar e descrever técnicas e materiais de recuperação de estruturas de concreto utilizando como estudo de caso uma estrutura de ponte utilizada como modelo. Foram feitas análises e identificação de patologias que levaram a paralização do tráfego da ponte. A partir de levantamentos foi identificado e proposto as possíveis maneiras de recuperação para que esta pudesse de maneira satisfatória atender as exigências de carga do tráfego de pedestres e veículos que transitam sobre esta, sem a necessidade de demolição de toda estrutura.

Recomenda-se que toda aplicação de recuperação reparo e reforço sejam realizados através de análises e estudos com o intuito de se fazer a escolha da melhor técnica a ser utilizada e da real situação em que se encontra a estrutura. Procurou-se apresentar neste trabalho as técnicas mais usuais e recentes que podem ser utilizadas com o intuito de recuperar uma estrutura de concreto.

Concluiu-se então que a durabilidade das estruturas de pontes de concreto esta diretamente relacionada a influencia da água assim como outros fatores como falta de manutenções preventivas, excelência nas execuções, projetos adequados que aumentem a durabilidade das estruturas de pontes. A incidência da água sobre um dos apoios da ponte do córrego do Laje levou a deterioração do apoio de concreto e a presença da ação da água fazendo a lavagem direta da fundação levou a perda de resistência da ponte.

Devido a esses fatores percebeu-se que houve queda de uma parte do apoio, da viga e do tabuleiro, onde foi proposto e desenvolvido redimensionamento dessas peças, e sugerido retirada e reposição destas de acordo com o dimensionamento realizado.

Recomenda-se a recuperação do apoio com material de concreto convencional, e concluiu-se que para que esta ponte possa voltar a funcionar de maneira satisfatória e segura seja realizado reforço nos aparelhos de fundação do tipo estaca sendo sugerido duas opções que podem ser utilizadas, sendo elas estaca pré - moldada de concreto e estaca raiz.

Conclui-se ainda que a necessidade de recuperação, reparo e reforço esta diretamente relacionada a ocorrência de patologias, e que há uma deficiência muito grande de práticas preventivas e vistorias periódicas que possam evitar que essas patologias ocorram ou que atinjam pontos críticos interrompendo a utilização das estruturas. Portanto a manutenção preventiva de construções como a da ponte analisada deve ser realizada periodicamente com o intuito prever e visualizar sinais patológicos de problemas estruturais futuros podendo ser solucionado antes do colapso total.

Para efeitos de continuidade deste trabalho pode-se ainda realizar o ensaio de teste de solo SPT *standard penetration test* o que levaria a uma proposta de reforço de fundação mais

específica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\ABNT NBR 7187. Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido. Rio de Janeiro, 2003.

\ABNT NBR 7188. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1982.

\ABNT NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. Rio de Janeiro, 1996.

\PFEIL, Walter. Pontes em concreto armado v.1 e v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 1985.

\SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto .São Paulo: PINI, 1988.

\CÁNOVAS F. Manuel. Patologia e terapia do concreto armado. PINI, São Paulo, 1988.

\EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. Pontes de Concreto. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2003. Notas de aula.

\HELENE, Paulo R. L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. 2ªed. São Paulo: Pini, 1992.

\REIS, N, S, LÍLIA. Sobre a Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado, (Dissertação) Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

\MARCHETTI, Osvaldemar, . PONTES DE CONCRETO ARMADO. Reimpressão 2009. Editora BLUCHER, 2008.

\MASON, Jayme,PONTES EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO. Livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro,1977.

\PFEIL, Walter, . PONTES EM CONCRETO ARMADO: ELEMENTOS DE PROJETOS, SOLICITAÇÕES, DIMENSIONAMENTOS. Livros técnicos científicos editora S.A. Rio de Janeiro,1979.

\SARTORTI, A. L. Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP. Campinas, Dissertação (Mestrado), 2008.

\PIANCASTELLI, E. M. Comportamento e Desempenho do Reforço a Flexão de Vigas de Concreto Armado, Solicitado a Baixa Idade e Executado Inclusive Sob Carga. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais,. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Estruturas –

DEES) 1997.

\VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JÚNIOR, Renato. A escola brasileira do concreto armado. 1. ed. São Paulo: Axis Mundi, 2005.

\LEMOS, K. B. Q. Manutenção e Reabilitação de Túneis. Brasília, 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília.

\LEMOS, S. P. P. Avaliação do grau do dano das estruturas do subsolo de três edifícios situados na região metropolitana do Recife/PE. Recife, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. LOURENÇO,

\SOUZA, R. A. Análise de fraturamento em estruturas de concreto utilizando programas de análise estrutural. Campinas, 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.

\LOURENÇO, L. C., ALVES, V. R., JORDY, J. C., MENDES, L. C. e LOURENÇO, M. V., Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais. 2009. Artigo (Pós-graduação) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

\MENEZES, L. F.; AZEVEDO, M. T. Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado,2012.

ANEXO A TABELA DE RUSH

TABELA 4.1

Nr. 4.1		ly/lx = 3		Mxm	0,125	Mym	0,0208	Mxr	0,125										
Brückenklasse 30t bis 60t				Raddruck des SLW von 1,0t						Gleichlast um SLW von 1 t.m2									
lx/a	Mxm in Plattenmitte				Mym in Plattenmitte				Mxr in Plattenmitte				Mxm		Mym		Mxr		
	t/a				t/a				t/a				für alle Werte t/a						
	0,125	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5	1	p	p'	p	p'	p	p'	
0,5	0,19055	0,13905	0,08755	0,0618	0,148	0,089	0,064	0,02	0,504	0,3675	0,21	0,126	-	0,103	-	-	-	0,0525	
1	0,2575	0,2163	0,15965	0,11845	0,2	0,143	0,086	0,053	0,7035	0,546	0,399	0,23625	-	0,206	-	-	-	0,21	
1,5	0,3914	0,31312	0,2987	0,22145	0,262	0,206	0,138	0,103	0,9345	0,756	0,567	0,4095	-	0,515	-	0,09	-	0,315	
2	0,5356	0,50161	0,45114	0,38728	0,338	0,288	0,205	0,172	1,2495	1,0815	0,8925	0,609	-	1,03	-	0,19	-	0,525	
2,5	0,6489	0,618	0,5665	0,515	0,415	0,366	0,272	0,238	1,5015	1,365	1,176	0,8295	-	1,8334	-	0,32	-	1,1865	
3	0,7313	0,7107	0,6592	0,6077	0,495	0,441	0,342	0,314	1,764	1,617	1,449	1,0815	0,103	2,884	0,04	0,55	0,105	1,89	
4	0,8755	0,8549	0,8137	0,7725	0,63	0,57	0,47	0,444	2,0895	2,0265	1,89	1,47	0,2575	5,768	0,17	1,23	0,21	3,99	
5	0,9888	0,9682	0,9373	0,8961	0,72	0,67	0,58	0,55	2,331	2,3205	2,2365	1,764	0,5562	9,888	0,4	2,26	0,819	6,594	
6	1,0712	1,0609	1,03	0,9888	0,81	0,76	0,66	0,64	2,541	2,541	2,52	2,0265	0,824	15,038	0,64	3,57	1,47	10,71	
7	1,1433	1,133	1,1124	1,0609	0,88	0,83	0,74	0,71	2,7195	2,7195	2,7195	2,2365	1,133	21,218	0,93	5,18	2,52	16,38	
8	1,2051	1,1845	1,1639	1,1227	0,95	0,88	0,8	0,78	2,8665	2,8665	2,8665	2,394	1,545	28,325	1,26	7,08	3,57	22,89	
9	1,2566	1,236	1,2154	1,1639	0,98	0,94	0,86	0,84	2,982	2,982	2,982	2,541	1,854	36,462	1,57	9,23	4,515	29,82	
10	1,2875	1,2772	1,2566	1,2051	1,02	0,98	0,9	0,88	3,066	3,066	3,066	2,667	2,2248	45,32	0,192	11,63	5,796	38,01	

Figura 32: Tabela de Rush - 4.1

TABELA 99

Nr. 99		ly/lx = ∞												Qx	=	0,5 · g · lx		
Brückenklasse 30t bis 60t				Raddruck des SLW von 1,0t						Gleichlast um SLW von 1 t.m2								
lx/a	Qx in Randmitte Fahrtrichtung ↔				Qx in Randmitte Fahrtrichtung †				Qx ↔		Qx †							
	t/a				t/a				für alle Werte t/a									
	0,125	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5	1	p	p'	p	p'						
0,5	1,92	0,98	0,42	0,14	1,9	1,1	0,34	0,13	-	0,1	-	-						
1	2,19	1,26	0,58	0,28	2,14	1,2	0,6	0,28	-	0,2	-	-						
1,5	2,3	1,32	0,66	0,38	2,27	1,32	0,73	0,42	-	0,35	0,02	0,03						
2	2,38	1,36	0,72	0,47	2,36	1,38	0,81	0,54	-	0,5	0,04	0,12						
2,5	2,45	1,39	0,78	0,55	2,44	1,42	0,88	0,63	0,01	0,73	0,09	0,23						
3	2,48	1,42	0,82	0,62	2,5	1,46	0,94	0,68	0,1	1	0,15	0,42						
4	2,54	1,46	0,9	0,69	2,56	1,53	1,03	0,75	0,26	1,6	0,26	1						
5	2,56	1,5	0,96	0,75	2,62	1,58	1,09	0,79	0,37	2,26	0,35	1,9						
6	2,57	1,52	1	0,78	2,63	1,61	1,13	0,8	0,48	2,95	0,45	2,86						
7	2,58	1,54	1,02	0,78	2,64	1,64	1,16	0,78	0,56	3,65	0,5	3,81						
8	2,6	1,55	1,03	0,78	2,64	1,64	1,16	0,76	0,68	4,35	0,53	4,78						
9	2,6	1,56	1,03	0,74	2,65	1,65	1,16	0,68	0,8	5,05	0,55	5,75						
10	2,62	1,56	1,02	0,71	2,65	1,65	1,14	0,63	0,91	5,74	0,59	6,77						

Figura 33: Tabela de Rush 99