



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INGLISSON EDUARDO SIQUEIRA DANTAS

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE PONTES DE CONCRETO**

ANGICOS – RN

2018

INGLISSON EDUARDO SIQUEIRA DANTAS

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE PONTES DE CONCRETO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, departamento de Engenharias, como requisito para obtenção do título de Bacharel no curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Me.

ANGICOS – RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192a Dantas, Inglisson Eduardo Siqueira.

Análise de patologias e propostas de recuperação de estruturas de pontes de concreto / Inglisson Eduardo Siqueira Dantas. - 2018.

72 f. : il.

Orientadora: Rogério Taygra Vasconcelos
Fernandes Fernandes.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2018.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

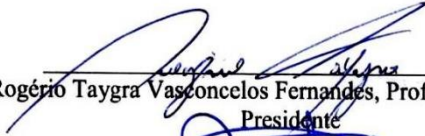
INGLISSON EDUARDO SIQUEIRA DANTAS

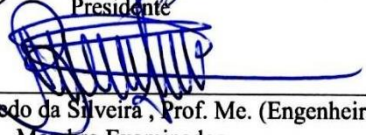
**ANÁLISE DE PATOLOGIAS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE PONTES DE CONCRETO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, ao departamento de Engenharias, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente


Brenno Dayano Azevedo da Silveira, Prof. Me. (Engenheiro Civil)
Membro Examinador


Klaus André de Sousa Medeiros, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha vida, por ter me dado forças e saúde para a conclusão deste trabalho.

Queria agradecer primordialmente a minha mãe, Izis Maria Siqueira Dantas, por jamais ter desistido de mim, por sempre ter me apoiado, mesmo que estivesse desanimado ou com pensamentos negativos sobre a vida, por sempre me influenciar nos meus estudos e por ser peça fundamental na construção do meu caráter. Agradeço também ao meu pai, Francisco Elion Dantas, por ter batalhado dia após dia para dar o melhor para nossa família e ter buscado sempre o melhor para minha vida. Saibam que vocês são meus alicerces.

Queria agradecer, muito, a uma pessoa em especial, Alicia Cibelle, minha companheira, amiga, minha irmã para todas as horas. Alicia, você sabe tudo que foi passado nesses quase quatro anos da minha graduação. Sabe das coisas boas e ruins, dos choros e sorrisos, de cada lágrima derramada, mas você jamais saiu do meu lado em circunstância alguma. O diploma que tanto busco, a tanto tempo e com tanto esforço é seu também. Obrigado por sempre me apoiar e passar total confiança, suas palavras foram essenciais para eu chegar até onde cheguei.

Queria agradecer também a toda minha família, avós, tios, primos. Sei o quanto vocês me apoiaram e sentiram orgulho de mim em cada fase da minha vida, em especial na minha graduação, o meu muito obrigado por toda confiabilidade, apoio e incentivo.

Obrigado a todos os amigos que fiz no decorrer deste curso, especialmente ao meu grupo de estudos o SOS Chico Bento, pelas trocas de conhecimento e a construção de um grande laço de amizade no decorrer do curso.

Agradeço a Rogério Taygra pela confiança no meu trabalho, pelas dicas e acima de tudo pela paciência, sem esses ingredientes não seria capaz da realização deste trabalho.

RESUMO

As estruturas de concreto armado, assim como qualquer tipo de estrutura, não são imunes totalmente a exposição de agentes causadores de anomalias, sejam eles provindos do meio ambiente ou do próprio homem. Diante do referido, esse trabalho teve por objetivo analisar as principais patologias encontradas em concreto armado, especificadamente em obras de artes especiais, as pontes. Nesta análise, procurou-se averiguar a nascente destas anomalias, bem como as grandes consequências que podem causar ao porte das estruturas analisadas, averiguando as principais técnicas utilizadas em obra para reabilitação destes problemas, relacionando a importância das manutenções para sustentar o binômio segurança/economia. Através dos dados obtidos pelas bibliografias, artigos, revistas e outros meios de acesso escolhidos para análise e construção deste trabalho, percebeu-se que na maior parte das vezes os problemas que aparecem nas obras são causados por negligências dos órgãos governamentais em assegurar a durabilidade destas obras, por déficits de manutenções ou intervenções de rotina. Logo, se faz necessário que os órgãos responsáveis por obras deste porte, como o DNIT, em conjunto com outros órgãos governamentais, busquem corriqueiramente identificar as causas destes problemas, bem como solucionar-los, para que as obras de patrimônio público possam se caracterizar por boas condições, assegurando a integridade física de quem as usufrui.

Palavras-Chave: Patologias. Reabilitação. Manutenção.

ABSTRACT

Structures of reinforced concrete, as well as any type of structure, are not totally immune to the exposure of agents causing anomalies, whether from the environment or from the man himself. In view of the above, this work had as objective to analyze the main pathologies found in reinforced concrete, specifically in special works of art, the bridges. In this analysis, we sought to ascertain the source of these anomalies, as well as the great consequences that can cause to the size of the analyzed structures, verifying the main techniques used in the work to rehabilitate these problems, relating the importance of maintenance to support the binomial safety / economy. Through the data obtained, through bibliographies, articles, periodicals and other means of access for the analysis and construction of this work, It was noticed that in most cases the problems that appear in the works are caused by the negligence of the governmental organs in guaranteeing the durability of these works, by deficits of maintenances or routine interventions. Therefore, it is necessary that agencies responsible for works of this size, such as the DNIT, together with government agencies, seek to identify the causes of these problems, as well as to solve them, so that public works can be characterized by good conditions, ensuring the physical integrity of those who use them.

Key words: Pathologies. Rehabilitation. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Representação de uma viga de concreto simples com cargas solicitantes	17
Figura 2– Representação da ruptura de uma viga de concreto simples	18
Figura 3– Constituintes do concreto	18
Figura 4 – Esquema da composição de vigas de concreto armado	19
Figura 5 – Tensões e deformações devido ao peso próprio	19
Figura 6– Tensões e deformações devido a cargas móvel pequenas na viga	20
Figura 7– Representação de uma viga solicitada por grandes cargas móvel	20
Figura 8– Esquema de uma viga com a flecha permanente modificada após esforços..	21
Figura 9– Representação do processo inicial da execução de uma viga em concreto protendido	21
Figura 10– Esquema de viga utilizando cabos de protensão	22
Figura 11– Representação de viga utilizando concreto protendido	22
Figura 12– Representação de viga utilizando concreto protendido	23
Figura 13– Representação de cabos protendidos em uma viga	23
Figura 14– Representação da flecha causada pela protensão	23
Figura 15– Representação de uma viga protendida expostas a cargas móvel	24
Figura 16– Viga de concreto protendido com sua solicitação máxima de cargas	24
Figura 17– Representação da elasticidade de uma viga de concreto protendido	24
Figura 18- Esquema de ilustração de uma ponte	26
Figura 19- Esquema ilustrativo de um viaduto	26
Figura 20– Ponte em laje	29
Figura 21– Ponte em viga reta de alma cheia	29
Figura 22– Ponte em viga reta de treliça	29
Figura 23– Ponte em quadro rígido	30
Figura 24– Ponte em abobada	30
Figura 25– Ponte em arco superior	30
Figura 26– Ponte Pênsil	30
Figura 27- Elementos constituintes de uma ponte segundo PFEIL (1979)	31
Figura 28– Elementos constituintes da seção transversal	32
Figura 29– Elementos constituintes da seção longitudinal	32

Figura 30– Distribuição percentual dos processos responsáveis por falhas patogênicas nas estruturas.....	34
Figura 31– Dados estatísticos das aparições patológicas em obras no Brasil.	35
Figura 32– Representação da relação água/cimento (A/C)	36
Figura 33– Relação entre os conceitos de durabilidade e desempenho de estruturas	37
Figura 34 – Fenda no tabuleiro de uma ponte	39
Figura 35– Lixiviação. Umidade e fissura na estrutura do viaduto Imperatriz Leopoldina	40
Figura 36– Triângulo de Manifestação da Corrosão	42
Figura 37– Esquema de corrosão utilizado por Mazer	42
Figura 38– Obstrução de um sistema de drenagem de um viaduto.	45
Figura 39– Falhas em juntas de dilatação.....	46
Figura 40– Escarificação manual do concreto.....	48
Figura 41– Lixamento manual do substrato	49
Figura 42– Lixamento elétrico do substrato	49
Figura 43– Procedimento utilizando Pistola de agulha	50
Figura 44– Preparação da fissura para a injeção do material	53
Figura 45– Injeção do material selante na fissura	54
Figura 46– Selagem de fendas entre 10-30mm	55
Figura 47– Selagem de fendas com abertura superior a 30mm.....	55
Figura 48– Técnica de grampeamento de fissuras.....	56
Figura 49– Diagrama de Pourbaix.....	58
Figura 50– Umidade relativa do ar para um concreto a 25°C	59
Figura 51– Exemplo de geometria utilizada para cortes em concreto.....	60
Figura 52– Desviador metálico.....	65
Figura 53– Esquema de reforço por protensão externa	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Relação dos tipos de fissuras direcionadas ao seu dimensionamento.	38
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Concreto Protendido

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

RB – Relaxação Baixa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. O CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	17
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2.2 CONCRETOS SIMPLES	17
2.2.1. Representação de vigas de concreto simples sob cargas solicitantes.	17
2.3 CONCRETO ARMADO.....	18
2.3.1 Representações de vigas de concreto armado sob tensões	19
2.4 CONCRETO PROTENDIDO	21
2.5 DURABILIDADE DO CONCRETO.....	25
3. PONTES DE CONCRETO ARMADO	26
3.1 CONCEITO.....	26
3.2 PARTICULARIDADES	27
3.2.1 – Particularidade quanto as ações solicitantes.....	27
3.2.2 – Quando aos processos construtivos.....	27
3.2.3 – Diferenças pela composição estrutural	27
3.2.4 – Diferenças quanto a análise estrutural	28
3.4 – CLASSIFICAÇÕES DAS PONTES	28
3.4.1 - Classificação quanto a finalidade do projeto	28
3.4.2 – Classificação quanto ao material	28
3.4.3 – Classificação quanto ao tipo estrutural.....	28
As pontes podem ser divididas quanto a sua forma estrutural, seja esteticamente ou por diferentes composições. As Figura a seguir demonstrarão alguns tipos de pontes.	28
3.5 – ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES	31
3.6 – FUNÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UMA PONTE	32
4. PATOLOGIAS EM PONTES DE CONCRETO	34

4.1 FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO	35
4.1.1 Qualidade do material	35
4.1.2 Relação água/cimento (a/c)	36
4.1.3 Meio ambiente	36
4.1.4 Ações	37
4.1.5 Qualidades na construção	37
4.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS	37
4.2.1 Fissuras	38
4.2.2 Deteriorações do concreto por reações químicas	39
a) Deteriorações por lixiviação	40
b) Deteriorações química por reações iônicas	40
c) Deteriorações química por expansão	40
4.3 DETERIORAÇÕES POR COLISÕES E PELO FOGO	41
4.4 CORROSÕES	41
4.5 DESGASTES DEVIDO A ABRASÃO	43
4.6 FALHAS HUMANAS	43
4.6.1 Falhas de concretagem	43
4.6.2 Falhas nas instalações de drenagem	44
4.6.3 Falhas nas juntas de dilatação	45
4.6.4 Rupturas de fundação	46
5. MÉTODOS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO	47
5.1 LIMPEZA DO SUBSTRATO	47
5.1.1 Escarificação manual ou apicoamento	48
5.1.2 Lixamento Manual	48
5.1.3. Lixamento elétrico	49
5.1.4. Pistola de agulha	50

5.1.5. Disco de Corte	50
5.2 LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES	51
5.2.1 Jato de água	51
5.2.2 Jatos de ar comprimidos	51
5.3. TRATAMENTO DE FISSURAS, FENDAS E TRINCAS	52
5.3.1 Técnicas de injeção de fissuras	52
5.3.2 TÉCNICA DE SELAGEM DE FISSURAS.....	54
5.3.3 Técnica de costura de fissuras (Grampeamento)	55
5.4 TÉCNICAS DE REPARO DE NINHOS (SEGREGAÇÃO)	56
5.5 Desagregação generalizada.....	57
5.6. REPARO DE CORROSÕES	58
6. REFORÇO ESTRUTURAL POR PROTENSÃO EXTERNA.....	62
6.1 ELEMENTOS PARA COMPOSIÇÃO DO PROCESSO DE PROTENSÃO EXTERNA	62
6.1.1 Aços para protensão	63
6.1.2 Ancoragens das cordoalhas de aço	64
6.1.3 Proteções frente a corrosão	64
6.1.4 Desviadores	64
6.2. METODOLOGIA DO PROCESSO DE REFORÇO ESTRUTURAL POR PROTENSÃO EXTERNA.....	65
6.2.1 Vantagens	66
6.2.2 Desvantagens	67
6.3. SENTIDO ECONÔMICO.....	67
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
8. REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

As civilizações humanas, motivadas pela necessidade de deslocamentos para conquista de novos territórios, transporte de cargas e estabelecimento de rotas comerciais, desenvolveu métodos e tecnologias que possibilitaram superar obstáculos impostos pelo ambiente, dentre as quais, as pontes. Destinadas a permitir a transposição de rios ou braços de mar, originalmente, estas eram construídas com estrutura simples utilizando materiais como madeira e rochas, como demonstram as antigas pontes romanas, que datam de 62 a.C, confeccionadas em pedra empregando a técnica de arcos (MARCHETTI, 2008).

Embora as pontes de pedra e madeira tenham se mostrado úteis na antiguidade, estas apresentavam algumas limitações, destacando a impossibilidade de se vencer grandes vãos no caso das pontes de pedra, e a baixa durabilidade no caso da madeira, o que motivou a busca por novos materiais e métodos construtivos. Neste contexto, destaca-se o concreto armado, que ao combinar as qualidades do concreto simples e do aço, possibilitou a construção de estruturas duráveis sobre grandes vãos já no início do século XX, tornando-se ainda mais eficiente com o uso de técnicas de protensão desenvolvidas no final da 2ª Guerra Mundial e aplicadas até os dias atuais (PINHO *et al.*, 2007).

Ainda que o concreto armado seja considerado um material durável e resistente, o mesmo não está isento aos efeitos do tempo e do ambiente, sendo recomendado o estabelecimento de programas que busquem prevenir e tratar as manifestações patológicas destas estruturas. Entretanto, mesmo reconhecendo as pontes como equipamentos urbanos vitais para a compensação de acidentes geográficos e logística viária, no Brasil, não existem políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras, resultando em um grave problema para o sistema rodoviário (VITÓRIO, 2006). Soma-se ainda o fato que o conhecimento técnico-científico sobre a avaliação das condições de estabilidade estrutural das pontes rodoviárias existentes no país não é sistematizado, ficando este processo atrelado as necessidades e peculiaridades de cada situação e, mais ainda, à experiência e conhecimentos da equipe técnica envolvida (BARROS *et al.*, 2011).

Considerando a importância das pontes de concreto para a sociedade contemporânea, e que o processo de inspeção e manutenção destas estruturas é essencial para seu desempenho adequado e aumento da vida útil, torna-se urgente o desenvolvimento de estudos que busquem sintetizar o conhecimento acerca das principais manifestações patológicas em pontes de concreto, bem como as técnicas para sua recuperação.

Desta forma, o presente estudo utilizou o método de pesquisa exploratória/descritiva, com base na revisão da literatura técnico-científica, incluindo normas técnicas, livros e artigos científicos sobre o objeto de interesse, com o objetivo de identificar as principais patologias que se manifestam em pontes de concreto armado, e apontar as técnicas mais usadas no seu tratamento, abordando também os métodos de reforços estruturais por meio da protensão externa, buscando, desta forma, contribuir para formação de base teórica para estudantes e profissionais da área.

2. O CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo dados da IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto - o concreto é um material amplamente disseminado. Pode-se encontrar esse material em diversas construções, como casas de alvenarias, torres de resfriamento, em estações petrolíferas móveis, usinas hidrelétricas e nucleares, ou na construção de pontes, com o intuito de vencer grandes vãos. Estatísticas levantadas pelo instituto, relatam que anualmente são consumidos mais de 11 bilhões de toneladas de concreto, o que se dá em torno de 1,9 toneladas de concreto por habitante/ano.

Existem alguns tipos de concreto, que se diferenciam tanto por sua composição quanto por suas características físico-química. A seguir será exposto alguns tipos de concreto, analisando suas principais características.

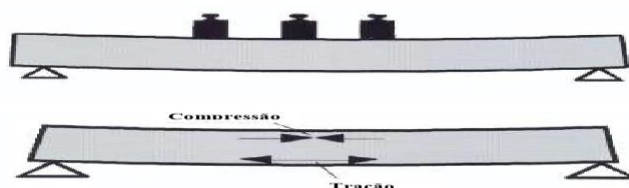
2.2 CONCRETOS SIMPLES

“O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento” (Inês Battagin *apud* IBRACON).

2.2.1. Representação de vigas de concreto simples sob cargas solicitantes.

As vigas de concreto simples, como representados na imagem 1, quando solicitadas a cargas, apresentará uma flecha no meio da sua estrutura. Como lembrado, o concreto simples tem uma alta resistência mecânica quando relacionamos a tensões de compressão, porém sua resistência a tensões de tração está na casa dos 10% da resistência a compressão, o que faz com quem essas estruturas se rompam com o passar do tempo.

Figura 1– Representação de uma viga de concreto simples com cargas solicitantes



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Figura 2– Representação da ruptura de uma viga de concreto simples

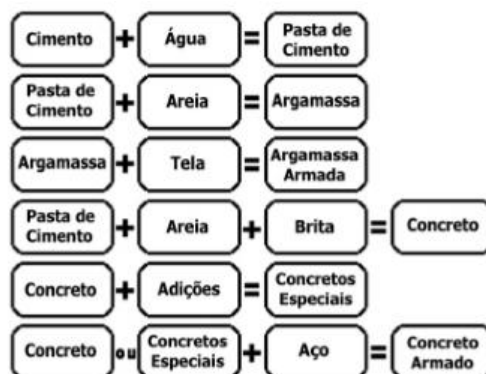


Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

2.3 CONCRETO ARMADO

O concreto em si é um material formado pela mistura de cimento, areia, pedras e água. Estudos realizados em laboratórios demonstraram que o concreto possui uma grande resistência a compressão, porém quando se analisa a resistência a tração seus resultados são quase nulos. Para suprir essas necessidades, engenheiros necessitavam de um material que pudesse suprir as falhas que o concreto normal possuía, se a falha era no quesito tração era necessário adicionar algum material ou composto que possuísse uma grande resistência a tração. Como sabemos, o aço possui características que provam sua grande resistência a tração, na casa dos Mpa (Mega-Pascal), logo os pesquisadores adicionaram esse aço junto ao concreto pois se completavam, daí surgiu o concreto armado.

Figura 3– Constituintes do concreto



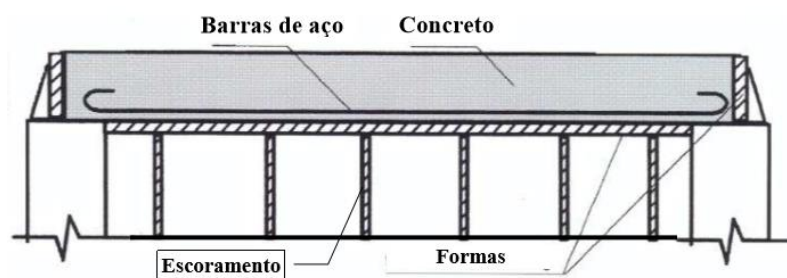
Fonte: Tejedor, 2013.

2.3.1 Representações de vigas de concreto armado sob tensões

Com o pensamento de suprir as necessidades que o concreto simples tem em relação aos esforços a tração, pesquisadores analisaram elementos que pudessem compor com o concreto simples, para que o mesmo suportasse os esforços a tração, com essas análises o aço foi o elemento ideal. O concreto armado é a composição de concreto e aço, concreto por possuir uma grande resistência mecânica a compressão e o aço uma grande resistência a tração.

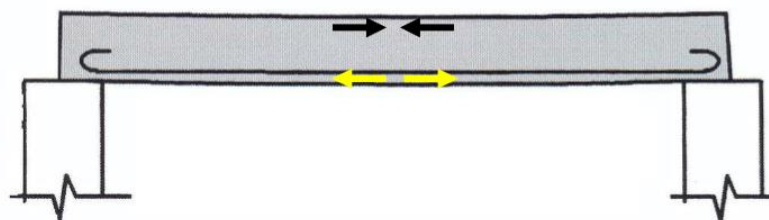
“Em uma viga de concreto armado convencional, os esforços de compressão são absorvidos pelo concreto, e os esforços de tração são resistidos pelas armaduras de aço.” (ROSAS, 20-)

Figura 4 – Esquema da composição de vigas de concreto armado



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Figura 5 – Tensões e deformações devido ao peso próprio



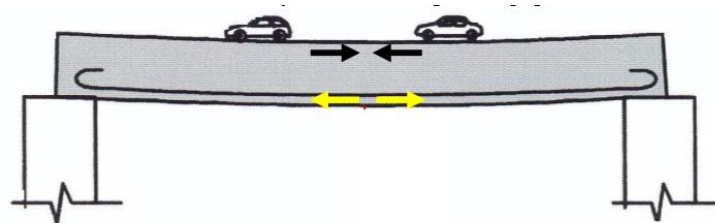
Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Com as barras de aço composto ao concreto simples, as tensões de compressão e tração se equivalem. Porém, o peso próprio da estrutura influenciará em suas deformações. Por isso, em geral é necessário colocar um escoramento, como demonstrado

na Figura 5, para criar um contra flecha na estrutura para compensar as deformações após a retirada desses escoramentos.

Mesmo com a utilização de escoramentos, para diminuir o tamanho da flecha devido ao seu peso próprio, irão aparecer nas vigas pequenas flechas, muitas vezes inevitáveis. Sabendo que por ali irá passar outras cargas além do peso próprio, é de se imaginar que a flecha anteriormente pequena irá se expandir, como demonstrado na Figura 6.

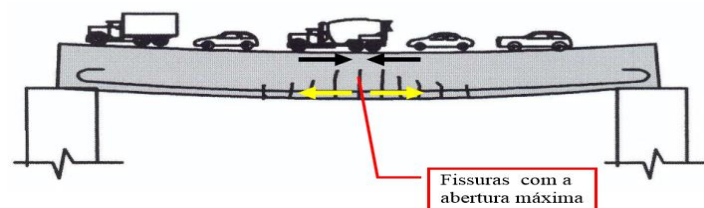
Figura 6– Tensões e deformações devido a pequenas cargas móveis na viga



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

As pequenas cargas móveis, como demonstrado na figura acima, não irão provocar grandes danos na estrutura, já que a mesma foi projetada para suportar tais eventualidades. Agora, imaginamos uma viga expostas a sobrecargas ou mesmo a movimentação de cargas de grande porte sobre a mesma. É de se imaginar que no meio dessa viga aparecerá fissuras ao longo do tempo. A figura 7 trará a demonstração de um esquema de uma viga que está exposta a grandes cargas em movimento.

Figura 7– Representação de uma viga solicitada por grandes cargas móveis.



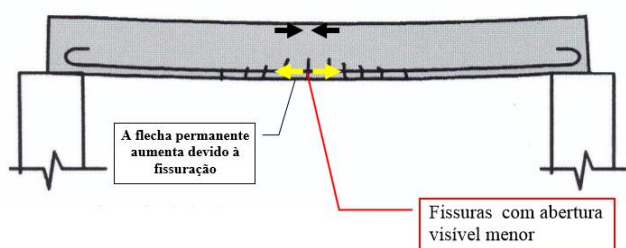
Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Com a passagem de grandes cargas na estrutura é demonstrado que aparecerá fissuras ao longo dessa viga, sendo a maior fissura no meio. Essas fissuras se dão devido

as solicitações excessivas ao longo do tempo. Sem uma manutenção adequada da estrutura, futuramente poderá vir a se romper.

Após a passagem dessas cargas excessivas e aberturas de fissuras, a flecha que inicialmente estava pequena irá aumentar, como demonstrado na figura 8, por estar sendo forçada a tal movimento. Após essa estrutura parar de ser solicitada, a fissura irá diminuir, já que parou de ser solicitada, e a flecha permanente irá aumentar.

Figura 8– Esquema de uma viga com a flecha permanente modificada após esforços.



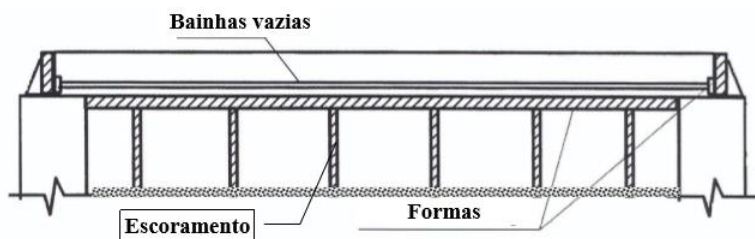
Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

2.4 CONCRETO_PROTENDIDO

“Protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga”. (PFEIL, 1984)

O objetivo principal da protensão é deslocar a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde é mais eficiente. Ao aplicar protensão no concreto, são introduzidas tensões prévias de compressão na estrutura, o que faz com que as solicitações de tração diminuam ou até mesmo desapareçam.

Figura 9– Representação do processo inicial da execução de uma viga em concreto protendido

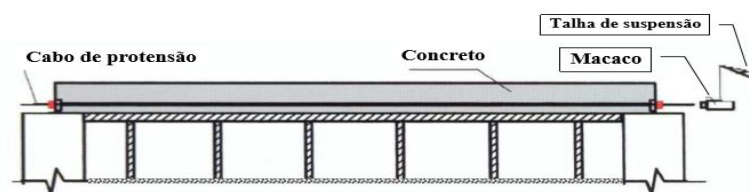


Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Inicialmente são colocadas as bainhas vazias, figura 9, geralmente revestidas por galvanização, nas zonas onde ficarão sujeitas a tração. Em geral, não é necessário fazer o escoramento da peça, já que os cabos que ficarão por dentro das bainhas serão protendidos.

Após a concretagem e o endurecimento do concreto, os cabos de aço serão colocados dentro das bainhas. Vale salientar, que o aço utilizado para concreto protendido é diferente do aço utilizado para concreto armado.

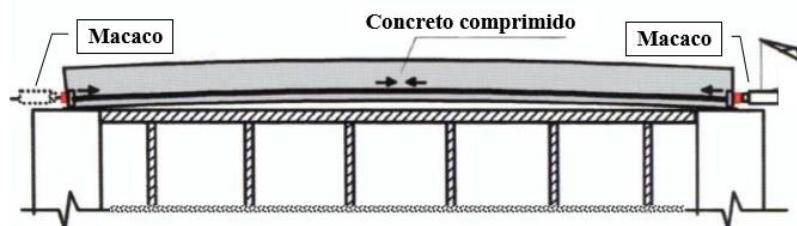
Figura 10– Esquema de viga utilizando cabos de protensão



Fonte Notas de Aula de Eduardo C. S.

Logo em seguida os cabos são tracionados por um macaco hidráulico e fixado nas placas de ancoragem, através de cunhas, onde comprimirão o concreto.

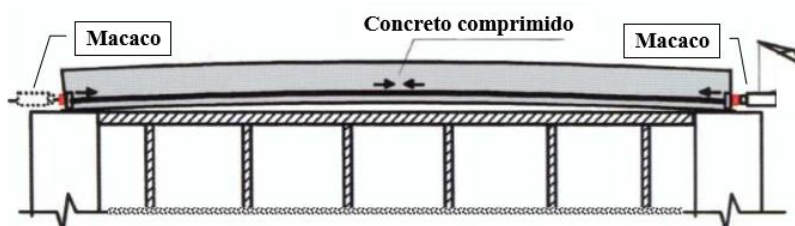
Figura 11– Representação de viga utilizando concreto protendido



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

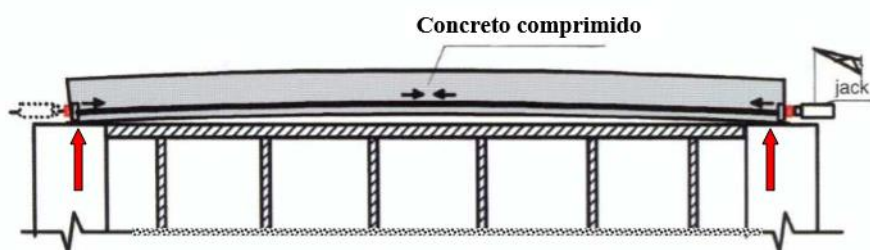
Ao ser comprimida, a viga solta do escoramento deformando-se para cima e se apoiando nas extremidades. As extremidades devem possuir uma resistência que suporte o equivalente à metade do peso da viga.

Figura 12– Representação de viga utilizando concreto protendido



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

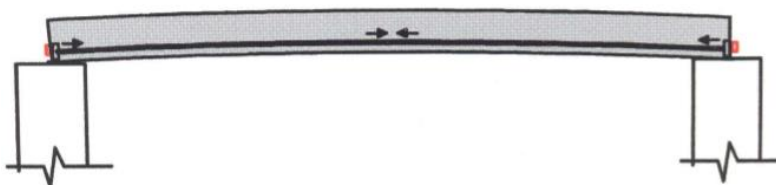
Figura 13– Representação de cabos protendidos em uma viga



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

As vigas que utilizam concreto protendido em toda sua composição, possui flecha para cima, dependendo do esforço que esta for solicitada. Diferente do concreto armado, não é necessário utilizar uma contra flecha nesse processo.

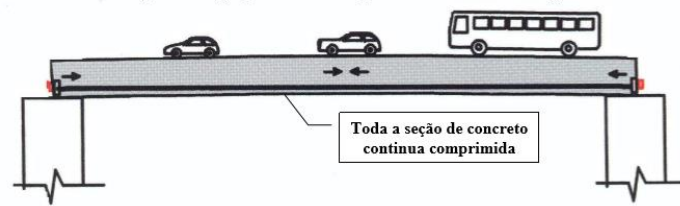
Figura 14– Representação da flecha causada pela protensão



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Quando a viga é solicitada por uma quantidade pequena de cargas, essa flecha que está para cima diminui um pouco, porém, toda a seção do concreto continua comprimida.

Figura 15– Representação de uma viga protendida expostas a cargas móveis.



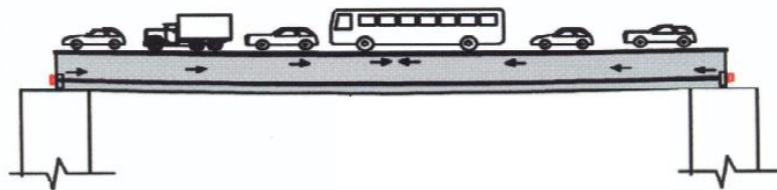
Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Quando a viga está sendo solicitada por uma carga máxima projetada, a flecha que estava para cima, geralmente desaparece. A flecha nesse momento pode ficar para baixo. Com tudo, podemos lembrar dois pontos:

- Se a protensão for completa, mesma a flecha estando para baixo, toda a seção do concreto continua comprimida;
- Se a protensão for parcial, poderá existir tensões de tração quando essa estrutura for solicitada na sua carga máxima.

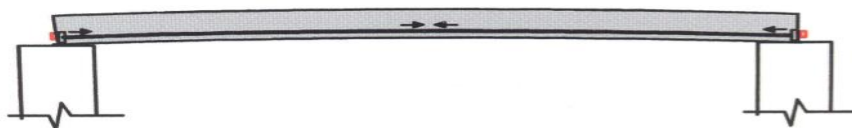
Após a passagem da carga móvel pela estrutura da viga, a flecha volta a ser o que era antes, no caso para cima. Não há tração no concreto, não há fissuração e a viga funciona como um sistema elástico, como mostra a Figura 17.

Figura 16– Viga de concreto protendido com sua solicitação máxima de cargas



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

Figura 17– Representação da elasticidade de uma viga de concreto protendido



Fonte: Notas de Aula de Eduardo C. S.

2.5 DURABILIDADE DO CONCRETO

Segundo a NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, seção 6.1 e 6.2, a durabilidade do concreto deve ser projetada e constituída de modo que sob as condições ambientais, previstas na época, e quando utilizadas após o término do projeto, conservem sua estabilidade, segurança e aptidão em serviço durante a vida útil projetada em laboratório.

A durabilidade das estruturas de concreto se deve a um conjunto de fatores que tem por finalidade a conservação da obra, fatores estes que vão do projeto até sua utilização. O grande objetivo da NBR 6118 é disponibilizar para estudantes, projetistas e engenheiros um modo com que todos possam ter acesso a informações vigentes ao manuseio e manutenção das obras executadas junto a ABNT NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento.

Segundo Curcio (2008), conhecendo e se estimando as características de deterioração de cada material e dos seus sistemas estruturais, é possível afirmar que a durabilidade é a capacidade da estrutura em resistir a estes fatores, sem deteriorar-se, apresentando um desempenho satisfatório com segurança, o qual determinará sua vida útil.

“Portanto, conclui-se por vida útil de um material como sendo o período durante o qual as suas propriedades físicas e químicas permanecem acima dos limites mínimos especificados para atenderem a sua função” (CURCIO, 2008).

Ainda segundo Curcio (2008), há fatores que podem acarretar em elevados custos a obra e a trabalhos exaustivos, tais como:

- Descuidos na execução da obra;
- Erros de cálculo na projeção;
- Erros de execução;
- Falta de mão de obra qualificada;
- Inexistência de manutenção na obra.

É interessante levar em consideração o último fator apresentado para abordagem do tema. O conceito de manutenção para tal caso, está interligada aos procedimentos necessários para a garantia do desempenho satisfatório da obra ao longo do tempo, ou

seja, as manutenções e inspeções na obra tem por principal objetivo proporcionalizar uma maior vida útil do projeto levando em consideração o desempenho e uma boa segurança.

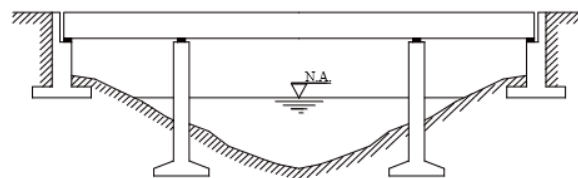
3. PONTES DE CONCRETO ARMADO

3.1 CONCEITO

Segundo Pfeil (1979), ponte é definida como uma obra que tem por objetivos a transposição de obstáculos, constituintes de água, que atrapalhem a continuidade do curso normal de uma estrada ou via. A definição utilizada por esse autor é bem singular pois em um contexto mais amplo as pontes podem ser definidas de várias maneiras: por tamanho de seus vãos, por sua seção transversal, material utilizado para execução da obra, obstáculos transpostos, etc. Quando o objetivo dessas obras for transpor obstáculos, mas estes não possuírem água, essa obra antes chamada de ponte passa a ser denominada viaduto.

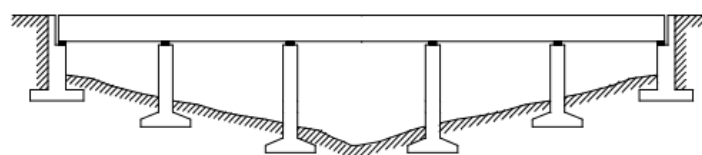
Para El Debs e Takeya (2003), uma ponte pode ser considerada quando essa for utilizada para transpor qualquer obstáculo. Propriamente dito, a ponte vai ser a obra construída para transpor cursos que contenham água e os viadutos as obras construídas para transpor um vale ou uma via.

Figura 18- Esquema de ilustração de uma ponte.



Fonte: El Debs e Takeya, 2003.

Figura 19- Esquema ilustrativo de um viaduto.



Fonte: El Debs e Takeya, 2003.

3.2 PARTICULARIDADES

As pontes também são conhecidas como obras de artes especiais, por possuírem particularidades quando comparadas com outras obras. Em sua publicação, El Debs e Takeya (2003) perceberam particularidades que essas obras possuíam e as dividiu em quatro tópicos:

- Particularidade quanto as ações solicitantes;
- Quanto aos processos construtivos;
- Diferenças pela composição estrutural;
- Diferenças quanto a análise estrutural.

3.2.1 – Particularidade quanto as ações solicitantes

Quando se pensa em uma ponte, vem-se na cabeça a quantidade de transportes que a mesma será solicitada por passar por ela, conseqüentemente a quantidade de cargas solicitantes na estrutura. Devido a essas quantidades de cargas, é necessário considerar alguns aspectos que geralmente não são considerados quando projetado um edifício. Segundo El Debs e Takeya (2003), geralmente nas pontes devem-se considerar o efeito dinâmico das cargas, e conseqüentemente devido a essas cargas serem móveis, é necessário o estudo da solicitação destas e a possibilidade de fadigas dos materiais que são submetidos a esses esforços.

3.2.2 – Quando aos processos construtivos

Quando se analisa os processos construtivos de uma ponte, imagina-se os mais diversos lugares e muitas das vezes com muitas adversidades. Devido a esses obstáculos, existem processos construtivos específicos para a ponte ou que sejam de extrema necessidade para seu projeto.

3.2.3 – Diferenças pela composição estrutural

Para El Debs e Takeya (2003), a composição estrutural de uma ponte se difere da de um edifício por alguns fatores:

- Carga de utilização;

- Necessidade de vencer vãos, na maioria das vezes enormes;
- Processo de construção.

3.2.4 – Diferenças quanto a análise estrutural

Na análise estrutural de um projeto de uma ponte existem formas de simplificar e recomendações em função da composição estrutural.

“Nas construções, de uma maneira geral deve-se atender os seguintes quesitos: segurança, economia, funcionalidade e estética. No caso das pontes, dois destes quesitos merecem ser destacados: a estética e a funcionalidade.” (EL DESB E TAKEYA, 2003).

3.4 – CLASSIFICAÇÕES DAS PONTES

Segundo Pfeil (1979), as pontes podem ser classificadas de diversas maneiras sendo estas divididas de acordo com sua funcionalidade, tipo de material utilizado em sua construção, tipo estrutural utilizada e etc.

3.4.1 - Classificação quanto a finalidade do projeto

Quando falamos sobre a finalidade de uma ponte, devemos responder a seguinte pergunta: Essa ponte está projetada para qual quantidade de cargas solicitantes? Sabendo a resposta para tal pergunta, um Engenheiro projetista pode assimilar algumas subdivisões, como por exemplo, uma ponte rodoviária, ferroviária ou uma ponte para pedestres, mais conhecida como passarela.

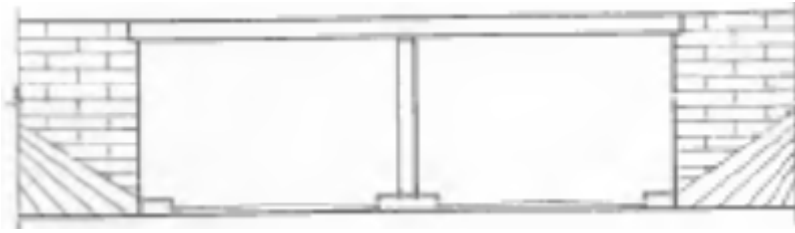
3.4.2 – Classificação quanto ao material

Para Pfeil (1979), as pontes, obras-de-arte especial tecnicamente falando, podem ser constituídas de diversos materiais: Concreto armado, normal ou protendido, pontes de madeira, pontes metálicas ou até mesmo as chamadas pontes de materiais mistos (ex. concreto + metal).

3.4.3 – Classificação quanto ao tipo estrutural

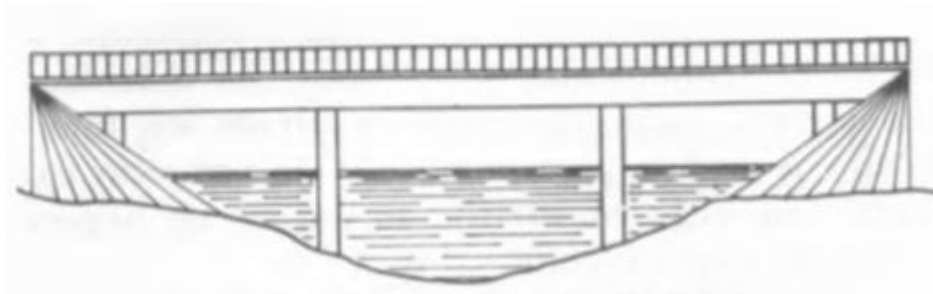
As pontes podem ser divididas quanto a sua forma estrutural, seja esteticamente ou por diferentes composições. As Figura a seguir demonstrarão alguns tipos de pontes.

Figura 20– Ponte em laje



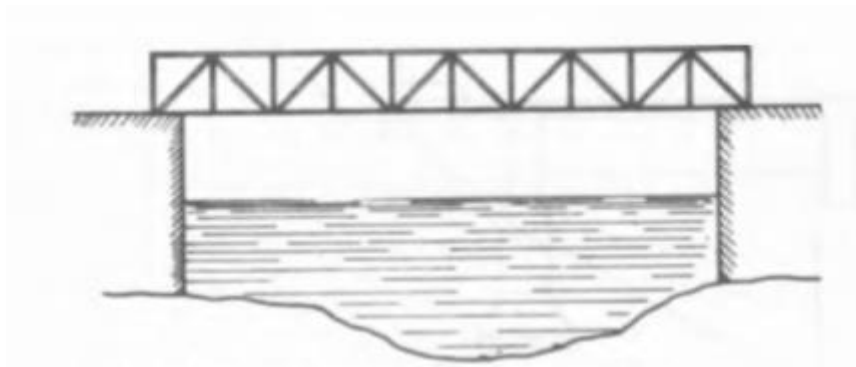
Fonte: PFEIL (1979)

Figura 21– Ponte em viga reta de alma cheia



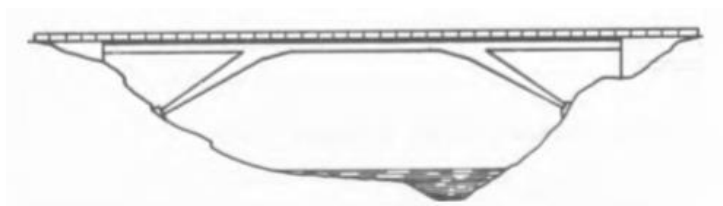
Fonte: PFEIL (1979)

Figura 22– Ponte em viga reta de treliça



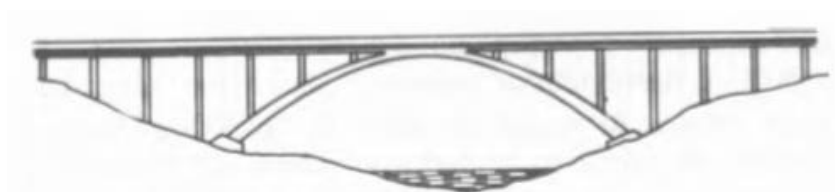
Fonte: PFEIL (1979)

Figura 23– Ponte em quadro rígido



Fonte: Pfeil (1979)

Figura 24– Ponte em abobada



Fonte: Pfeil (1979)

Figura 25– Ponte em arco superior



Fonte: Pfeil (1979)

Figura 26– Ponte Pênsil



Fonte: Pfeil (1979)

3.5 – ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES

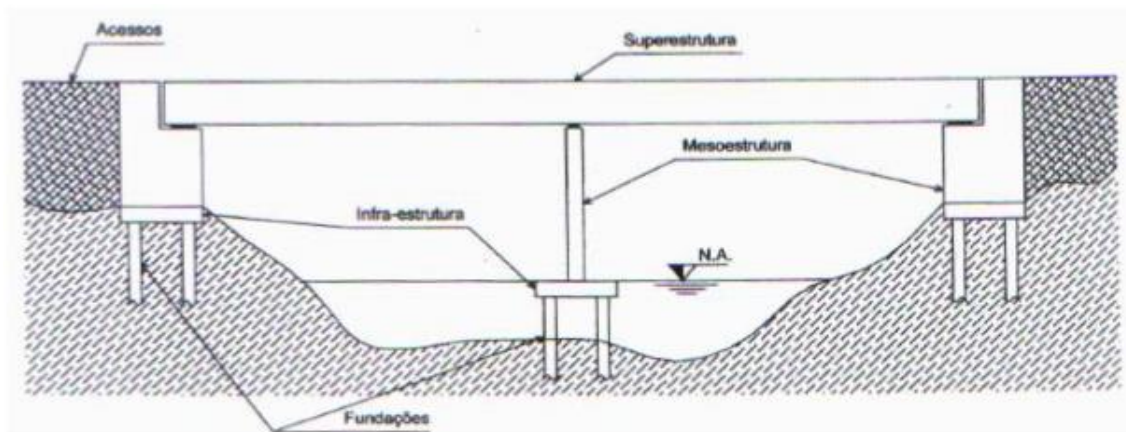
A ponte pode ser dividida de algumas formas, alguns autores a divide em duas partes, Superestrutura e infraestrutura, outros autores colocam uma divisão a mais, a mesoestrutura. No presente trabalho serão adotadas referências da divisão realizada por Pfeil (1979), da qual divide a ponte em três elementos constituintes: Superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

“A infraestrutura ou fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura.” (PFEIL, 1979)

Ainda segundo Pfeil (1979), a mesoestrutura é o elemento constituinte que recebe os esforços advindos da superestrutura e os transmite para a infraestrutura.

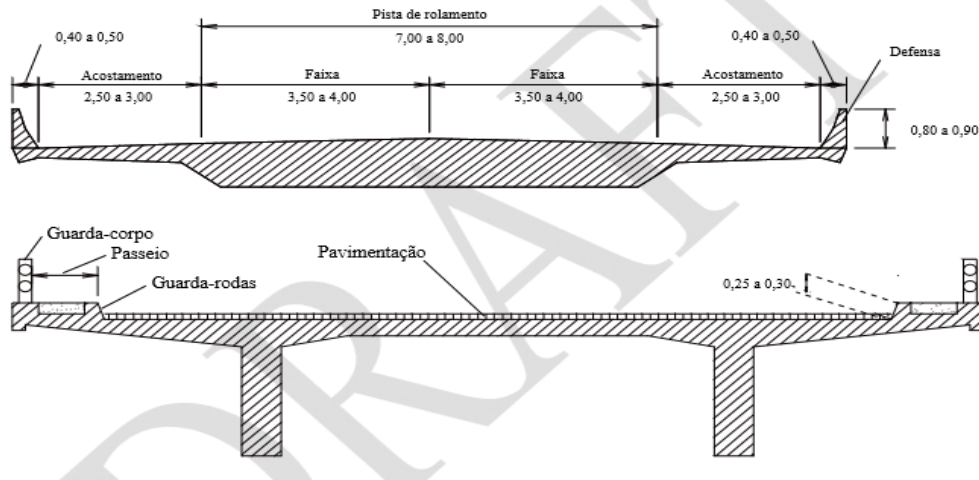
Para Mason (1977), a superestrutura recebe as cargas solicitantes do tráfego. Ele denomina as vigas principais da estrutura como longarinas e as transversais como transversinas. O tabuleiro e o sistema principal de vigas que trabalham em conjunto para manter a estrutura estática.

Figura 27- Elementos constituintes de uma ponte segundo PFEIL (1979)



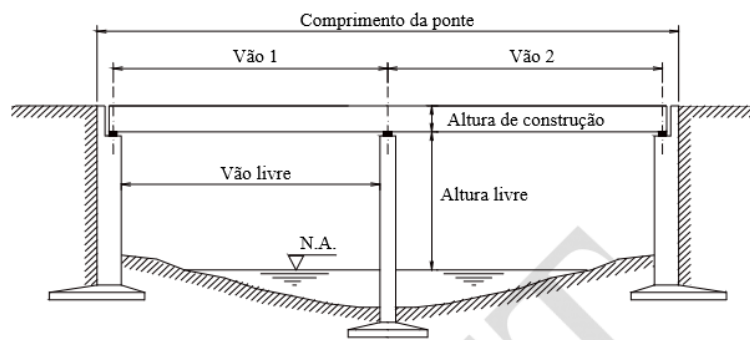
Fonte: CURCIO (2008), adaptado de MASON (1977).

Figura 28– Elementos constituintes da seção transversal



Fonte: El Debs e Takeya (2003)

Figura 29– Elementos constituintes da seção longitudinal



Fonte: El Debs e Takeya, 2003.

3.6 – FUNÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UMA PONTE

Segundo a obra de Pfeil (1979), as pontes possuem funções de acordo com seus elementos constituintes, sendo estas funções de caráter viário ou estático.

Quando se fala da função viária pode se ligar a qual a função que uma ponte deve exercer, onde que por excelência, são construídas para dar continuidade a uma estrada transpondo um obstáculo.

A função estática está relacionada em manter a integridade da obra transmitindo todas as cargas de onde são aplicadas diretamente para o solo. Essa função, está relacionada aos elementos estruturais que a compõem: lajes, vigamento secundário, vigamento principal, pilares, blocos de transição e fundações.

As lajes são responsáveis por receber todas as cargas que passam pela ponte. Nas pontes de concreto armado e protendido essas lajes também fazem parte das vigas denominadas de T, das quais ajudam na resistência a flexão. Os vigamentos secundários são construídos para dar suporte as lajes, transmitindo as cargas para os vigamentos principais. Os vigamentos principais são característicos por transferir todos os esforços vindo da laje e do vigamento secundário para os pilares. Os pilares por sua vez recebem as cargas verticais e horizontais da superestrutura da ponte, da qual ficam responsáveis por retransmitir essas cargas para as fundações que por sua vez transmitem para o solo, mantendo a estabilidade da obra.

4. PATOLOGIAS EM PONTES DE CONCRETO

“Patologia pode ser entendida como sendo a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.” (HELENE, 1992).

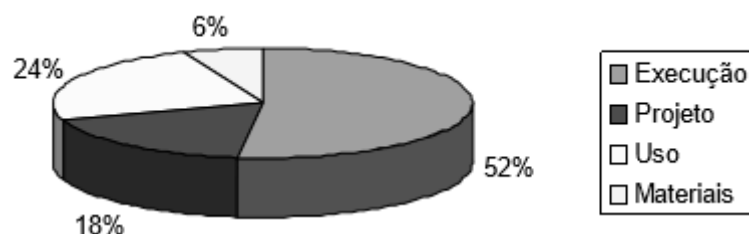
Ainda segundo Helene (1992) junto a estas patologias existe uma terapia, ou seja, uma forma para solucionar esses problemas patológicos.

Segundo Souza e Ripper (1998), as patologias de estruturas têm por conceito a área que se ocupa em determinar as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e das degradações da estrutura.

As patologias podem se dar por inúmeros motivos, um deles é a utilização de materiais inadequados para obra ou a má execução do projeto. A principal finalidade do capítulo destinado a este tema é abordar as principais patologias encontradas em estruturas de pontes, estas patologias que vão de pequenas fraturas, corrosão até mesmo em falhas na mesoestrutura, como em pilares.

Lourenço (2009), analisou as patologias grosseiramente e chegou à conclusão que mais de 50% dos problemas de obras são causados por uma má execução do projeto seguido da má utilização dos materiais. A figura a seguir mostra graficamente os processos geradores de patologias em obras.

Figura 30– Distribuição percentual dos processos responsáveis por falhas patogênicas nas estruturas

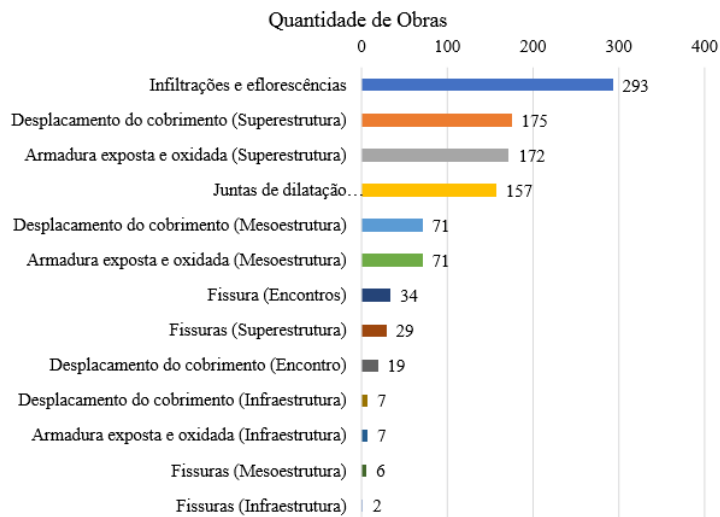


Fonte: Lourenço (2009) *apud* Souza (1991)

Vitório (2017) fez uma análise mais criteriosa em diversas obras do Brasil e montou um gráfico crescente das aparições patológicas nas estruturas. Nessa análise deu-

se o critério das principais patologias do concreto, com predominância das infiltrações na maioria dessas obras.

Figura 31– Dados estatísticos das aparições patológicas em obras no Brasil.



Fonte: Vitório, 2017.

4.1 FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

Mesmo com o grande avanço tecnológico as estruturas de concreto armado e protendido ainda sofrem grandes danos. Muitas das respostas estão em itens muitas vezes inevitáveis, como o meio ambiente, outros estão ligados a composição de elementos que seguem esse concreto. Segue abaixo listado alguns itens que exercem influência diretamente na vida útil e durabilidade das estruturas de concreto.

4.1.1 Qualidade do material

Segundo Curcio (2008) a qualidade de um determinado material deve ser definida a partir dos parâmetros técnicos estabelecidos por normas para que se possa utilizar o material que mais se adeque as necessidades. Então podemos ligar a qualidade dos materiais utilizados diretamente ao desempenho que aquela estrutura nos fornece. Um caso muito famoso na mídia foi a implosão do edifício Palace II no Rio de Janeiro, em 1998. Fontes da época relatam que a utilização de materiais de baixa qualidade influenciou diretamente nas características de resistência da obra.

4.1.2 Relação água/cimento (a/c)

Para Souza e Ripper (1998), uma das questões que estão ligadas diretamente as funções mecânicas, mais especificamente a resistência, gira em torno de uma palavra-chave relacionada ao material concreto, como pseudo sólido que é, é a água. Assim então, será a quantidade de água no concreto que irá reger características específicas como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além da mencionada anteriormente resistência mecânica, que são parâmetros para identificar se uma estrutura de concreto armado ou protendido será durável ou não.

“O uso exagerado de água provoca vazios e capilaridades no concreto, facilitando assim o transporte de fluidos nocivos do ambiente até o interior da peça, provocando a carbonatação do concreto e a corrosão das armaduras” (CURCIO, 2008)

Figura 32– Representação da relação água/cimento (A/C)



Fonte: Blog da Engenharia, 2018.

4.1.3 Meio ambiente

Ainda utilizando a ideia de Curcio (2008), o meio ambiente é um dos principais desencadeadores de patologias em estruturas. O meio ambiente por meio de porosidade ou redes capilares podem introduzir gases ou líquidos que possuam agentes químicos agressivos para o concreto. Esses problemas são decorrentes de cidades litorâneas e de grandes centros urbanos, devido ao aumento da industrialização afetando diretamente na atmosfera. Com esse aumento de agentes químicos no meio ambiente, os materiais são influenciados diretamente provocando mudanças em suas características.

4.1.4 Ações

Thomas (1998), aborda que muitas fissuras apresentáveis em projetos são devido a sobrecargas e outros fatores. Essas sobrecargas podem ter sido desconsideradas quando o projeto estrutural ainda estava presente em laboratório, relacionando a este caso, a patologia decorre quando se faz uso da peça ou execução da mesma.

4.1.5 Qualidades na construção

Para Souza e Ripper (1998) o processo construtivo está dividido em três grupos: planejamento, execução e manutenção. São dentro desses grupos que devem estar as atividades de desempenho, durabilidade, reabilitação e conformidade das estruturas.

Figura 33– Relação entre os conceitos de durabilidade e desempenho de estruturas



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

4.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS

A seguir, serão apresentadas as principais patologias encontradas em estruturas de concreto armado e protendido no Brasil, explicando suas causas e consequências.

4.2.1 Fissuras

Segundo Curcio (2008), as fissuras são pequenas fendas que surgem nas estruturas de concreto, os quais são inevitáveis até mesmo seguindo as normas e regulamentos das construções. Essas manifestações se dão ao longo da vida do concreto, podendo ser dividida como fase plástica, de endurecimento e endurecida, segundo Lapa (2008).

Lapa (2008), retrata que na fase plástica as fissuras podem surgir por retração plástica ou por assentamento plástico, que seria a deformação permanente do concreto que ocorre numa ou mais camadas de pavimentos de superfícies flexíveis ou semirrígidas. Na fase de endurecimento se dá pelo fato que o concreto está submetido a restrições de movimentos térmicos, o que o deixa suscetível a contrações. Na fase do concreto endurecido está voltado diretamente a má execução do projeto, onde os responsáveis não se dão os devidos cuidados.

Thomaz (1988), classifica as fissuras por suas dimensões, o que é de extrema importância para que sejam tomados os devidos cuidados para cada caso especificamente. Abaixo está anexada a Tabela 1 que o autor utiliza em sua autoria.

Tabela 1– Relação dos tipos de abertura direcionadas ao seu dimensionamento.

Tipos de Abertura	Dimensões (mm)
Fissura capilar	Menos de 0,2
Fissura	0,2 a 0,5
Trinca	0,5 a 1,5
Rachadura	1,5 a 5,0
Fenda	5,0 a 10,0
Brecha	Mais de 10,0

Fonte: Thomaz (1988)

Carmona Filho (2005) retrata que a manifestação de fissura dá indícios que a estrutura perde sua durabilidade e seu nível de segurança, comprometendo diretamente sua vida útil como seu funcionamento e estética.

Figura 34 – Fenda no tabuleiro de uma ponte



Fonte: Curcio (2008).

Curcio (2008) elaborou uma sequência de causas que podem trazer o aparecimento de fissuras e seus derivados em pontes:

- O incremento de cargas atuantes sobre o tabuleiro;
- Uso de materiais de má qualidade na sua construção;
- A instabilidade elástica (flambagem);
- A concretagem durante temperaturas extremas;
- Acomodações de deslizamento do terreno;
- As falhas nas concretagens;
- O nascimento de raízes de árvores e arbustos.

4.2.2 Deteriorações do concreto por reações químicas

Curcio (2008) relata que este tipo de anomalia pode resultar da interação dos agentes químicos do meio externo em contato com os agregados do concreto, ou de forma interna, como por exemplo a relação álcali-agregado.

Conforme manual produzido pelo DNIT, fica evidenciado essa patologia quando a estrutura apresenta grandes porosidades, alto índice de permeabilidade, diminuição da sua resistência mecânica, fissuração e lascamento do concreto.

As anomalias decorrentes da deterioração química podem ocorrer de três formas distintas: lixiviação, reações iônicas e por expansão.

a) Deteriorações por lixiviação

“A lixiviação é uma manifestação patológica que ocorre frequentemente nas estruturas de concreto e pode ser definida por um processo químico de remoção de compostos hidratados da pasta de cimento que reduz o pH do concreto” (LANER, 2001).

Ainda segundo o autor, a lixiviação se manifesta nas estruturas de concreto em forma de mancha branca, seguida de precipitação de géis formado por compostos minerais.

Figura 35– Lixiviação. Umidade e fissura na estrutura do viaduto Imperatriz Leopoldina



Fonte: Laner (2001).

b) Deteriorações química por reações iônicas

“Em virtude da reação de alguns íons com substâncias químicas existentes no cimento. Os principais íons reagentes são de magnésio, amônio, cloro e de nitrato.” (CURCIO, 2008)

c) Deteriorações química por expansão

Segundo dados do DNIT, as reações químicas provenientes da expansão de produtos químicos no concreto podem provocar diretamente sua degradação. Inicialmente a expansão desses produtos podem não provocar danos diretos as estruturas de concreto, porém, elevam suas tensões internas, o que provoca o fechamento das juntas de dilatação. Com as juntas de dilatação fechadas, o concreto não tem o espaço necessário para se mover nas mudanças de temperatura, influenciando diretamente em anomalias, tais como fissuras, lascamento, deformações e pipocamento do concreto.

“Os quatro fenômenos associados com reações químicas expansivas são: ataque por sulfato, ataque álcali-agregado, hidratação retardada de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) livres e corrosão da armadura de concreto.” (NORMA DNIT 090,2006).

4.3 DETERIORAÇÕES POR COLISÕES E PELO FOGO

Devido aos descuidos de motoristas ou até mesmo por sinalizações inapropriadas, pontes e viadutos seguem uma rotina de acidentes, o que acarreta diretamente na aparição de anomalias em suas estruturas, como por exemplo, a exposição das armaduras de aço por colisões de veículos.

“O concreto é altamente afetado nas suas propriedades químicas e físicas quando exposto a incêndios. O aquecimento da peça faz com que haja um aumento de volume gerando fortes tensões internas causando a deformação, fissuração e desagregação do concreto.” (CURCIO, 2008 p.42).

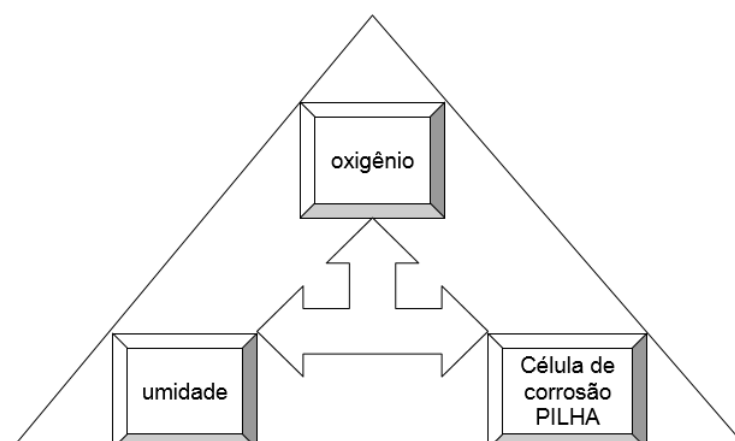
4.4 CORROSÕES

Uma das ações patológicas mais decorrentes em qualquer estrutura de concreto, é a corrosão. Segundo o site ECIVIL pode-se definir como corrosão a reação destrutiva de um determinado material com o meio ambiente, seja essa interação por reações químicas ou eletroquímicas.

“Para que se inicie o processo de corrosão, é necessário que ocorra a despassivação do aço, que inicialmente é garantida pelo elevado pH do concreto”. (LANER, 2001).

Segundo Mazer (2008), é necessário a interação com o meio, para que seu processo se acelere ou não. Para o autor, as condições mínimas estão interligadas no chamado Triângulo de Manifestação da Corrosão, que estabelece a ligação entre os precursores do início do fenômeno: oxigênio, umidade e pilha, formada por um ânodo e um cátodo.

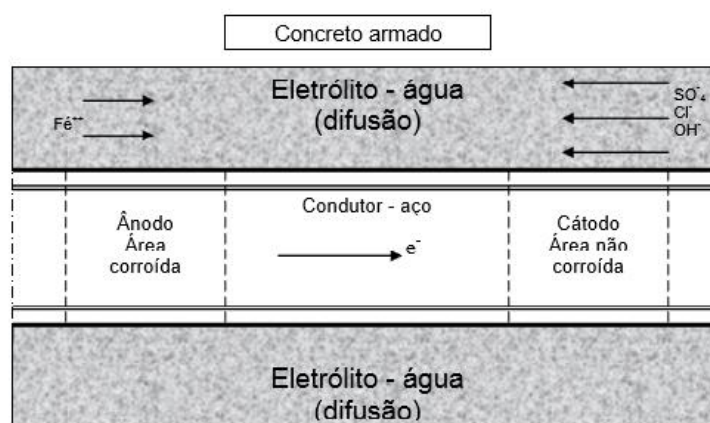
Figura 36– Triângulo de Manifestação da Corrosão



Fonte: Mazer (2008)

“Um esquema pode ilustrar como é o mecanismo da corrosão em armaduras despassivadas, onde o concreto é o meio, que possui oxigênio e umidade da atmosfera em que se encontra; a umidade é o meio de difusão – eletrólito – das partículas de ferro e óxidos, cloretos e demais componentes das reações de formação de ferrugem, oxidação, redução e corrosão; e o aço da armadura é o condutor da energia para a proliferação entre as áreas corroídas – ânodo – e não corroídas – cátodo.” (Mazer, 2008 p.33).

Figura 37– Esquema de corrosão utilizado por Mazer



Fonte: Mazer (2008).

4.5 DESGASTES DEVIDO A ABRASÃO

“Dentre as causas da deterioração do concreto destacamos o desgaste superficial: os elementos de concreto estão susceptíveis a ações de desgaste por agente abrasivo ocasionando perdas de material na superfície. A abrasão é um desgaste em que ocasiona perda de desempenho mecânico, o atrito entre diversos objetos e o concreto.” (AMORIM, 2010 p.33).

4.6 FALHAS HUMANAS

“Tanto defeitos construtivos como defeitos de projeto, possuem na grande maioria das vezes falhas humanas como responsáveis, devido à baixa qualidade de mão de obra. Pode-se citar como principais falhas humanas causadoras de patologias na execução; Deficiências de concretagem, inadequação de escoramentos e formas, deficiência nas armaduras, utilização incorreta dos materiais de construção e inexistência de controle de qualidade.” (Santos, 2015 p.24).

4.6.1 Falhas de concretagem

Laner (2001), em sua obra, relata

que as falhas de concretagem são aquelas provenientes da época de execução de projeto, e são ocasionadas devido á imperfeições na colocação ou na compactação do concreto.

Para Mazer (2008), as falhas relacionadas a concretagem estão diretamente ligadas a alguns fatores, tais como: transporte do concreto, o lançamento e o adensamento do concreto.

“Em termos de transporte do concreto, desde que a massa sai da betoneira até a sua aplicação final, os principais cuidados devem centrar-se na rapidez do processo, que deve ser tal que o concreto não seque nem perca a trabalhabilidade. Além disso, o tempo de transporte não deverá provocar grandes intervalos entre uma camada de concreto e a anterior, o que provocaria, de imediato, a criação de juntas de concretagem não previstas, conduzindo à formação de superfícies sujeitas a concentração de tensões e perda de aderência.” (MAZER, 2008 p. 43).

Os lançamentos inadequados em fôrmas podem ocasionar o deslocamento das formas e nas armaduras, bem como dos chumbadores que possam estar internamente nas estruturas.

“É obrigatória a referência às questões relativas ao processo de cura do concreto, que é composto por uma série de medidas que visam impedir a evaporação da água necessária e inerente ao próprio endurecimento.” (MAZER, 2008).

Retornando a ideia de Laner (2001), além dos fatores mencionados por Mazer (2008) as falhas podem ser ocasionadas por diversos outros, tais como:

- Falta de espaço para penetração do concreto entre as armaduras;
- Fuga de nata de cimento por abertura de fôrmas
- Deficiência ou ausência de vibração.

4.6.2 Falhas nas instalações de drenagem

Segundo Laner (2001), falhas em instalações de drenagens de obras de arte especiais, como pontes, exercem influência direta na vida útil do concreto bem como sua estrutura por um todo. O autor menciona que a água acumulada deve ser evitada em pontos críticos da obra, tais como encontros de apoio e vigas, nas contenções, entre outros lugares. Para isso, é necessário ter alguns cuidados nas instalações de obras, tais como:

- As superfícies horizontais devem ter um caimento mínimo de escoamento;
- Nos muros de contenção, são necessários orifícios de drenagem que suportem o escoamento da água, sem prejuízos;
- Prever canais semicirculares ao longo da ponte;

Laner (2001) ainda cita os três fatores para acumulação de águas pluviais em pontes:

- Inclinação deficiente ou inadequada da pista de rolamento;
- Rebaixamentos locais da pista;
- Deficiência ou obstrução dos tubos de drenagem.

Figura 38– Obstrução de um sistema de drenagem de um viaduto.



Fonte: Laner (2001).

4.6.3 Falhas nas juntas de dilatação

“A construção de juntas de dilatação é uma forma preventiva de evitar fissuras, principalmente por movimentação térmica e retração hidráulica. São aberturas criadas em peças de concreto com grandes dimensões ou volume (concreto massa)” (LANER, 2001).

Segundo o manual do DNER (1980) existe basicamente dois tipos de juntas de dilatação: abertas e fechadas.

As juntas de dilatação aberta permitem a passagem de água e de detritos. O manual informa que não é uma boa solução para obras de porte como pontes em vista que apressam a deterioração dos elementos da infraestrutura.

As juntas de dilatação fechadas são projetadas para impedir a passagem de água e de detritos.

Quando obras de grande porte como pontes e viadutos não possuem as juntas de dilatação estarão sujeitos a aparição de fissuras em sua obra, ou em casos de má execução de projeto, como elementos rígidos infiltrarem nas juntas ligando os dois elementos que deveriam estar separados, reportou Santos (2015) em seu texto.

Laner (2001) completa seu pensamento informando que a ausência de juntas de dilatação provoca a desagregação das superfícies de concreto e geram tensões tangenciais.

Figura 39– Falhas em juntas de dilatação



Fonte: Santos (2015).

4.6.4 Rupturas de fundação

Segundo Tejedor (2013), existem vários fatores que podem ocasionar as rupturas de fundações, tais como:

- Execução inadequada da obra;
- Projeto mal dimensionado;
- Ação da água erodindo o terreno que contém a fundação;
- Inundações e cheias;
- Incorreta localização das fundações (Mal dimensionamento dos cálculos de resistência do solo.)

5. MÉTODOS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO

“São chamadas de reparos as intervenções que visam corrigir pequenos danos ocorridos em elementos estruturais” (PIANCASTELLI, 1997).

Segundo Souza e Ripper (1998), os serviços qualificados para restaurações e os reforços aplicados nas estruturas de concreto dependem essencialmente da análise das causas que provocaram tal patologia e do estudo detalhado dos efeitos que estas patologias podem causar a estrutura.

Piancastelli (1997) cita em seus estudos que para um bom desempenho de uma restauração é de caráter importante que o substrato que se esteja analisando seja convenientemente tratado. O Autor, Piancastelli, ainda comenta que as finalidades da restauração são: retirar todo material deteriorado ou contaminado e propiciar as melhores condições entre o substrato que está se analisando e o material que irá repará-lo.

Os autores Helene (1992), Souza e Ripper (1998) e Piancastelli (1997) possuem características semelhantes quando trata-se de técnicas de restauração. Para cada tipo patológico que se identifica em canteiro de obra é necessária uma técnica específica, em seus textos algumas das técnicas de reparo são: escarificação manual; escovamento manual; lixamento; jateamento de água fria; jateamento de areia dentre outras técnicas.

5.1 LIMPEZA DO SUBSTRATO

Segundo Helene (1992) os procedimentos de limpeza e preparo do substrato são tão importantes quanto técnicas de reforço. Para o autor, mais de 50% de sucesso no reparo das patologias está nas técnicas de limpeza do substrato. Uma limpeza inadequada pode trazer grandes danos a estrutura, prejudicando integralmente os reparos, mesmo que utilize equipamentos ou materiais de primeira linha.

“Para o bom desempenho de um reparo é de fundamental importância que o substrato (superfícies de concreto e aço) seja convenientemente tratado.” (Piancastelli, 1997).

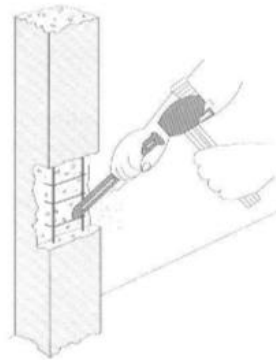
A seguir, será listado e explicado alguns dos processos mais utilizados para a limpeza do substrato enfatizando suas vantagens e desvantagens.

5.1.1 Escarificação manual ou apicoamento

Segundo Helene (1992), o processo de escarificação manual se dá perfurando de fora para dentro mantendo o cuidado para não prejudicar as pontas e contornos da região que se está tratando. O objetivo é retirar todo o material solto e segregado que possa trazer danos para a obra. A escarificação termina quando se atinge o concreto coeso, que está presente em projeto e que tenha uma boa aderência para os materiais reparadores.

A grande vantagem desse processo é que traz poucos ruídos para obra além de um baixo teor de poeira. Além disso, não exige instalações elétricas ou de água para o procedimento. A grande desvantagem é o tempo. Para o processo, leva-se um grande tempo e tem uma baixa produção, além de que após a escarificação é necessários outros procedimentos para limpeza do concreto.

Figura 40– Escarificação manual do concreto



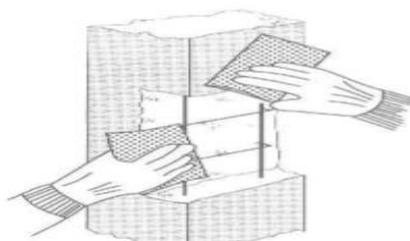
Fonte: Helene, 1992.

5.1.2 Lixamento Manual

O procedimento é muito básico e não necessita de mão de obra especializada. Para o procedimento utiliza-se uma lixa d'água para concreto ou lixa para aço. Esfrega-se a lixa em movimentos circulares mantendo uma boa pressão. No caso dos aços, esfrega a lixa até que o metal aparente a cor quase branca, ou seja que retire todo o produto de corrosão e que fique apenas manchado.

Sua maior vantagem é que dispensa de maquinário pesado. Sua desvantagem é que necessita de uma fiscalização rigorosa do processo.

Figura 41– Lixamento manual do substrato



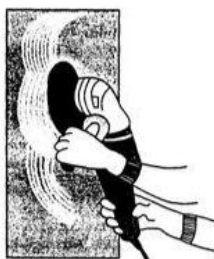
Fonte: Helene, 1992.

5.1.3. Lixamento elétrico

O lixamento elétrico tem o mesmo procedimento que o lixamento manual, necessitando de um maquinário. O processo ocorre mantendo a lixadeira paralela ao substrato procurando manter movimentos circulares.

Segundo Helene (1992), sua grande vantagem é a retirada total das partículas corrosivas que esteja junto ao substrato. Sua maior desvantagem é o acarretamento de um grande índice de poeira no local de obra, necessitando que os funcionários utilizem máscaras antipó

Figura 42– Lixamento elétrico do substrato



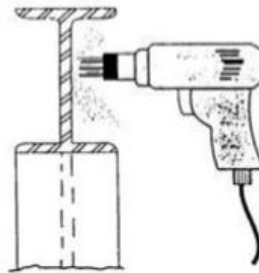
Fonte: Mazer, 2008.

5.1.4. Pistola de agulha

Mazer (2008) relata que as utilizações das pistolas de agulha são direcionadas diretamente para perfis metálicos. Salienta ainda que não se deve colocar a agulha em contato com o concreto para que não sejam danificadas.

Helene (1992) trata como vantagem deste procedimento a remoção dos produtos de corrosão conhecido como ferrugem. Sua desvantagem é justamente o que Mazer (2008) alerta em seu texto, que as agulhas podem ser danificadas em contato com o substrato.

Figura 43– Procedimento utilizando Pistola de agulha



Fonte: Mazer, 2008.

5.1.5. Disco de Corte

“Utilizado para tirar rebarbas, delimitar uma área a ser restaurada e abrir vincos para tratamento de fissuras. Utiliza uma máquina de corte (maquita) com discos diamantados para abrir sulcos de pequena profundidade, de modo a não danificar as armaduras.” (Mazer, 2008)

Segundo Helene (1992), existe uma grande desvantagem no uso deste procedimento: mão de obra qualificada. O procedimento requer atenção por um especialista, além de um maquinário específico. Além disso, a máquina utilizada neste tipo de limpeza, não alcança certos lugares, dificultando a conclusão do processo. Requer além disso tudo, atenção minuciosa no corte, para que fique dentro dos padrões calculados em projeto.

5.2 LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES

O processo de limpeza de superfície constitui nas retiradas de poeiras, graxas, impurezas ou outros materiais danificadores para uma posterior aplicação de materiais reparadores. Alguns processos utilizados são:

5.2.1 Jato de água

É um processo de utiliza um jato de água quente ou fria sob pressão. É utilizado para varrer grandes áreas. É de importância iniciar o procedimento sempre pelas partes mais altas.

Remoção de óleos ou graxas superficiais

Helene (1992) diz que o procedimento inicia aplicando um produto biodegradável chamado Reebexol Super nas áreas que contenham os materiais indesejados, deixando agir por cerca de 20 minutos. Após passar o tempo, lava o local com água em abundância utilizando um esfregão para que se retire todas as partículas.

Sua vantagem é que o produto não é corrosivo, porém não elimina gorduras ou graxas com profundidades superiores a 2mm.

5.2.2 Jatos de ar comprimidos

Havendo cavidades nas estruturas um dos processos mais utilizados é o jato de ar comprimido. Esta técnica se inicia colocando no interior da cavidade uma mangueira para execução da limpeza, sempre do interior para o exterior. Logo após, veda-se a cavidade com papel para que seja limpo as superfícies remanescentes. É interessante começar esse processo sempre pela cavidade do interior para o exterior, para que não haja depósito de substâncias no interior da cavidade após o processo.

Com os processos de limpeza de substrato e de superfície finalizados, chega a hora do reparo das patologias de acordo com suas características. A seguir, serão identificados processos utilizados para reparo de anomalias de acordo com suas características e graus.

5.3. TRATAMENTO DE FISSURAS, FENDAS E TRINCAS

Para a análise das fissuras faz-se uma classificação das mesmas segundo a sua estabilidade. Diz-se que uma fissura está estabilizada, é passiva ou morta quando a causa que a provocou foi eliminada e, por isso, a fissura não tem movimento longitudinal ou transversal. Uma fissura é ativa quando a causa que a provoca continua existindo, portanto, tem movimento (TEJEDOR, 2013)

Mazer (2008), relata que quando uma fissura está ativa não é possível eliminá-la logo é necessário vedar essa fissura para que agentes corrosivos não penetrem. Tal procedimento leva a fissura de ativa para passiva onde é possível tratá-la e eliminá-la.

“As fissuras causadas por retração hidráulica, recalques estabilizados e juntas de concretagem mal executadas podem ser tratadas como inativas. As devidas a esforços excessivos o podem em muitos casos, principalmente se forem efetuadas intervenções de reforço. As fissuras ativas funcionam como “juntas naturais” da estrutura, devendo, portanto, ser tratadas como tal. As causadas por variação de temperatura são o exemplo típico.” (Piancastelli, 2007 p. 19)

5.3.1 Técnicas de injeção de fissuras

Segundo Souza e Ripper (1998) fissuras com aberturas superiores a 0,1 mm deve ser injetada, procedimento este que sempre é feito a baixa pressão com exceção exclusivamente quando as fissuras já ultrapassam os 3,0 mm, onde a injeção é realizada por gravidade.

Entende-se por injeção a técnica que garante o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, independentemente de se estar injetando para restabelecer o monolitismo de lendas passivas, casos em que são usados materiais rígidos, como epóxi ou grouts, ou para a vedação de fendas ativas, que são situações mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas ou poliuretânicas. (Souza e Ripper, 1998).

As resinas a base de epóxi são as mais utilizadas para este procedimento por serem produtos não retráteis, de baixa viscosidade, alta capacidade de resistência e de aderência e bom comportamento quando em presença de agentes agressivos.

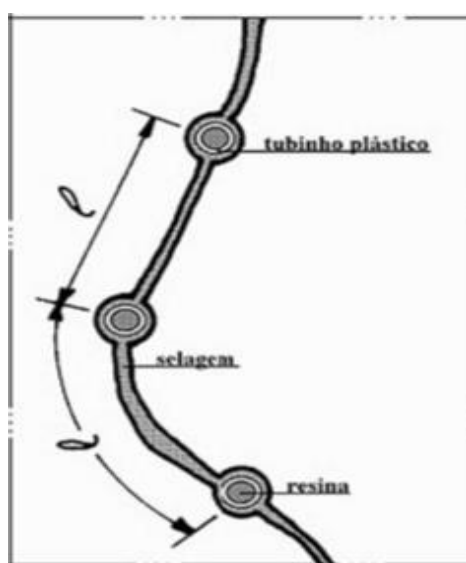
O procedimento segue os seguintes passos:

1º). Abrir furos ao longo da fissura com um diâmetro de 10mm e 30cm de profundidade, sendo esses furos colocados com espaçamento de 1,5 vezes a profundidade da fissura com limite superior de 30cm;

2º). Limpeza da fissura com a utilização de jatos de ar comprimido;

3º). Nos locais de furos são utilizados tubos plásticos ou metálicos onde servirão de ponto da injeção do material selante;

Figura 44– Preparação da fissura para a injeção do material



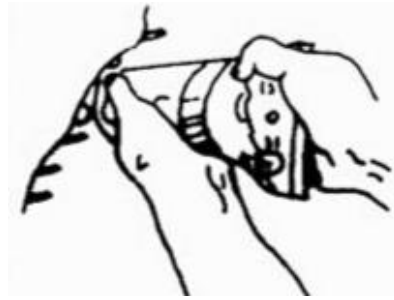
Fonte: Souza e Ripper, 1998.

4º) “Fazer a selagem superficial da fissura. Existem três sistemas de selagem das fissuras. Para fissuras estreitas ($<0,1\text{mm}$) e concreto em bom estado, basta selar a fissura com material termoplástico ou fita adesiva. Para aberturas maiores utiliza-se cola epoxídica aplicada com colher de pedreiro. Se o concreto estiver deteriorado, faz-se uma abertura em “V” ao longo de toda a fissura e faz-se a selagem com uma formulação epóxi com agente tixotrópico; (Mazer, 2008).

5º) Antes da aplicação do material selante é necessário observar se o sistema está em perfeita ordem. Para isso, pode se utilizar da aplicação de jatos de ar comprimidos para testar a intercomunicação dos furos e a selagem. Se houver algum tipo de obstrução em algum dos tubos, será um indício que é necessário realocar mais tubos ao longo da fissura.

6º). Testado todo o sistema e escolhido a base do material (geralmente epóxi) é iniciado o processo de injeção na fissura. Nessa etapa o material deve ser ejetado tubo a tubo com uma pressão constante de aplicação, tendo como preferência os tubos que estão nas cotas mais baixas

Figura 45– Injeção do material selante na fissura



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

“Havendo sucesso na primeira etapa de injeção, ou seja, com a saída da resina pelo tubo imediatamente a seguir, veda-se o primeiro tubo, passando-se a injetar pelo segundo, com o terceiro aberto, e assim sucessivamente” (SOUZA E RIPPER, 1998).

5.3.2 TÉCNICA DE SELAGEM DE FISSURAS

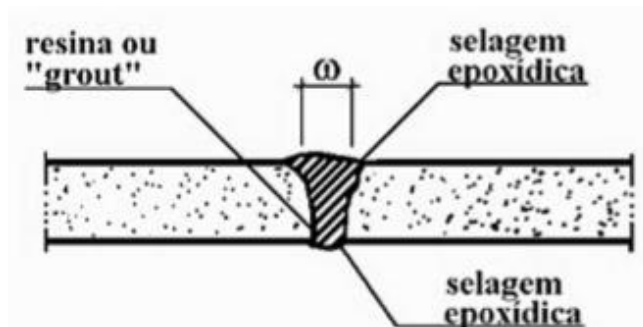
Segundo Souza e Ripper (1998) a selagem é uma técnica de vedação de fissuras ativas que necessita essencialmente de um material aderente, com boa resistência mecânica e química, não retrátil e com um modo de elasticidade que possa suportar as deformações que possam acarretar na fenda ou fissura.

Para fendas com aberturas inferiores a 10mm o processo de selagem é o mesmo utilizado no 4º item do tópico 5.3.1

Em fissuras entre 10mm e 30mm usa-se o seguinte processo:

1º). Para fissuras entre 10 e 30mm faz-se o preenchimento da mesma com grouts e a selagem das bordas com material a base de epóxi.

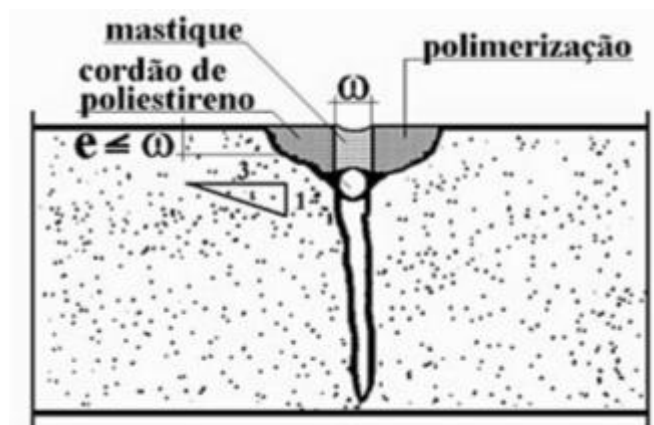
Figura 46– Selagem de fendas entre 10-30mm



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

2º). Quando as fissuras ultrapassam os 30mm deve ser analisada como se fosse a vedação de uma junta de movimento onde necessita de um cordão de poliestireno no fundo da fissura e preenchendo com mástique executando a polimerização lateral.

Figura 47– Selagem de fendas com abertura superior a 30mm



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

“É usual a pincelagem dos bordos da junta, e do próprio cordão, com um primário (normalmente os epoxídicos têm melhor desempenho), servindo como ponte de aderência entre o concreto e o selante” (SOUZZA E RIPPER, 12998).

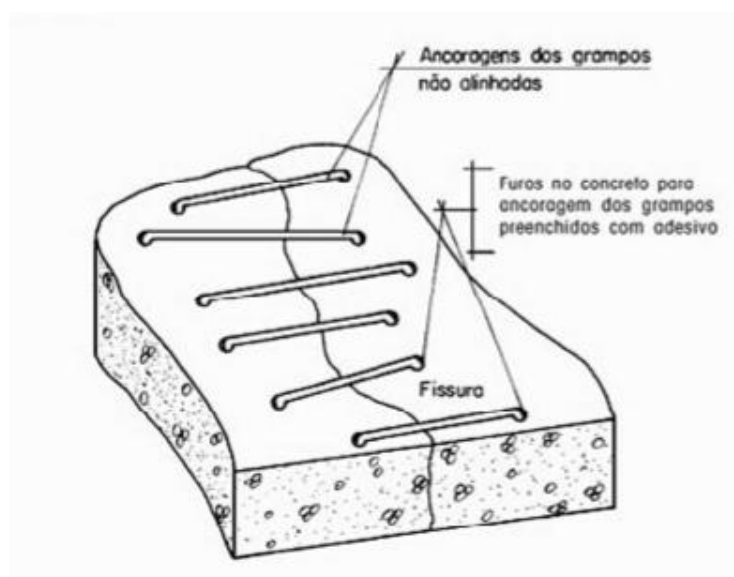
5.3.3 Técnica de costura de fissuras (Grampeamento)

Souza e Ripper (1998) relata-e que em casos de fissuras que são formadas por linhas isoladas e por deficiências de resistência local pode ser conveniente para a obra a

utilização de uma armadura extra no local para aumentar a resistência a tração que veio a ocasionar essas fissuras. Essas armaduras mencionadas são conhecidas como grampos.

Mazer (2008) diz que os grampos são colocados sob a estrutura em forma de “U” e que as dimensões dos grampos dependem dos esforços que aquela fissura estará sujeita. Além disso, as fixações dos grampos são realizadas com materiais a base de epóxi e que os grampos devem ser desalinhados para que não forme uma linha de fissuração.

Figura 48– Técnica de grampeamento de fissuras



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

5.4 TÉCNICAS DE REPARO DE NINHOS (SEGREGAÇÃO)

Os ninhos são patologias que surgem nas estruturas de concreto por deficiências na concretagem ou falta dela. Autores citam alguns tipos de reparo para esta anomalia de acordo com seu grau de segregação: superficial ou profundo.

Quando a magnitude do problema for superficial, Helene (1992) dá como solução uma limpeza do substrato por uma escarificação manual, onde decorre da limpeza do concreto no qual está presente o problema, após isso aplica-se uma ponte de aderência no concreto e preenche-o com argamassa polimérica ou a base de epóxi.

Segundo Mazer (2008), para reparos em ninhos mais profundos é necessário tomar alguns cuidados no processo. Inicialmente é necessário aplicar um escoramento no local

para que se esteja seguro quando for limpar o substrato. Após o escoramento, toma-se cuidado na limpeza do concreto observando a peça como um todo, para que se identifique os pontos em que o concreto está danificado. Logo após o processo de limpeza do substrato aplica uma ponte de aderência para o material reparador. A solução adotada pelo autor é a aplicação de um concreto com resistência a compressão maior do que o presente na peça, em vista que o material que for utilizado no reparo não pode sofrer contrações. Outra solução é a utilização de argamassas graute ou a base de epóxi.

5.5 Desagregação generalizada

A desagregação do concreto é uma das manifestações patológicas com maior complicação na hora de se recuperar. Em muitos casos, dependendo da magnitude do problema, autores como Mazer (2008) e Helene (1992) retornam como solução a demolição da obra. Entretanto, é necessária uma análise profunda para ter um diagnóstico do problema e então se decidir qual técnica é mais vantajosa.

Helene (1992) pontua as principais manifestações de desagregação nas estruturas de concreto, como:

- Corrosão nas armaduras de concreto;
- Degradação de juntas de movimentação (dilatação);
- Fissuras aparentes;

Após identificar as causas das desagregações, Helene (1992) chega a um diagnóstico que leva o surgimento das anomalias:

- Cobrimento insuficiente das armaduras, ou seja, uma falha na concretagem;
- Dimensionamento de projeto inadequado;
- Falta de manutenções periódicas da obra;
- Solicitações excessivas, etc.

Algumas soluções de acordo com o surgimento das desagregações são:

- Preparar a estrutura e limpar cuidadosamente o substrato em questão
- Restaurar o monolitismo injetando resina a base epóxi;
- Reforçar regiões que estejam com armaduras corroídas
- Aplicar revestimento de proteção com materiais adequados para cada substrato;

- Por fim, visto que nenhuma das outras técnicas de reparo esteja sujeita a solução do problema, é necessário demolir e reconstruir.

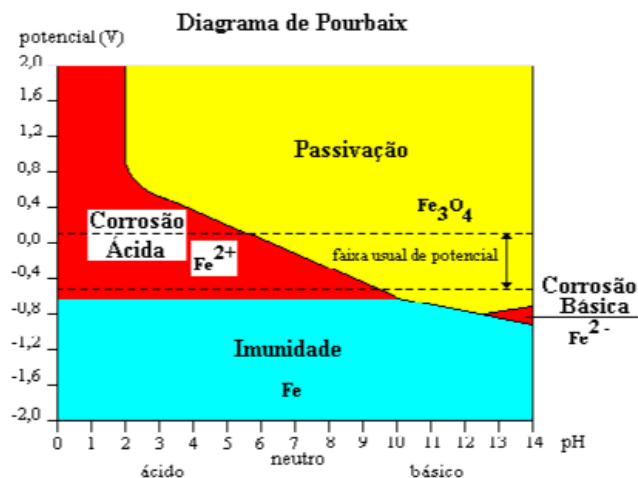
5.6. REPARO DE CORROSÕES

Antes mesmo de se iniciar o processo de reparo de armaduras afetados pela corrosão, é de extrema importância levar em consideração a análise do funcionamento da proteção do aço junto ao concreto. Para tanto, é necessário relacionar o pH e o potencial de corrosão que esse aço está sujeito. Esse assunto foi estudado por Pourbaix, no qual interpretou dados estatísticos e construiu um gráfico desta relação, no qual leva seu nome.

Segundo Piancastelli (1997), para se manter a proteção do aço dentro da massa de concreto, é preciso seguir alguns passos:

- Manter o pH sempre entre 10 e 13 – Isso ocorre quando o concreto é homogêneo e está bem compacto;
- Abaixar o potencial da corrosão, $-0.8V$, afim de se atingir a faixa de imunidade – Esse quesito é possível de ser atingido com o chamado “Proteção catódica”
- Elevar o potencial de corrosão, $+0.8V$, com o intuito de se atingir a faixa de passivação – Princípio de utilização de inibidores anódicos.

Figura 49– Diagrama de Pourbaix



Fonte: Piancastelli, 1997.

Segundo Stotz (2014), um dos fatores que mais influenciam na corrosão é a presença de água no concreto. A Umidade Relativa do Ar, é o fator que mais influência na quantidade de água que um concreto apresenta, sendo esta, o mecanismo de aceleração de corrosão.

Figura 50– Umidade relativa do ar para um concreto a 25°C

U.R. (%)	Umidade do concreto (%)	Litros de água por m ³
45	3	70
70	4	90
95	8	190

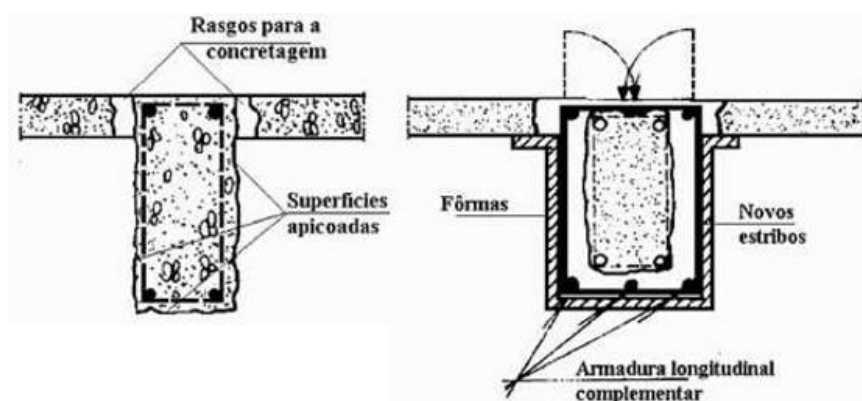
Fonte: Stotz, 2014.

Stotz (2014), ainda enfatiza que a água pura tem um baixo potencial de corrosão do concreto, porém, quando junto com agentes químicos se torna um grande problema para as estruturas, elevando seu potencial de corrosão.

Quanto aos processos de aplicação de materiais nas estruturas, é dada uma atenção maior, já que são procedimentos minuciosos. A seguir, será detalhado o processo de recuperação das estruturas de concreto afetadas pela corrosão, especificamente nas armaduras.

- 1) O primeiro processo é escarificar a estrutura degradada de fora para dentro, evitando pancadas nos contornos e arestas das regiões que estão sendo tratadas. O objetivo da escarificação é a retirada de todo o material solto atingido pela corrosão, que esteja mal compactado e segregado, até atingir o concreto compactado, previsto por projeto.
- 2) Quando escarificado, forma-se um perímetro com uma forma geométrica conhecida e de fácil acesso para o material aderente e selante.

Figura 51– Exemplo de geometria utilizada para cortes em concreto



Fonte: Stotz, 2014.

- 3) Os cortes devem ser com ângulos retos sem variações nas profundidades. O disco utilizado para esse processo deve-se manter sempre em posição ortogonal. Antes de iniciar, sempre é bom demarcar com algum lápis ou giz o local que será cortado, para que não haja erros.
- 4) As armaduras devem ser extremamente limpas, seja por processo manual ou mecânico. No processo manual, pode-se utilizar a escovação com escovas de aço, onde se deve retirar todo o material solto ou materiais indesejáveis. No processo mecânico pode se utilizar de pistola de agulha ou lava jato. O processo de limpeza utilizando a pistola, deve-se colocar em contato a pistola e as chapas de concreto que se deseja limpar, procurando remover todo material solto que contenha corrosão ou tintas corroídas. Com a lava jato, deve-se iniciar a limpeza pela parte mais alta, mantendo uma pressão adequada para remover as partículas soltas.
- 5) As juntas devem ser reconstituídas de forma completa, sendo que pode haver a necessidade da implementação de novas juntas. Neste caso, o projetista deverá ficar responsável por esse processo.
- 6) Deverá ter a realização de uma análise das seções transversais da peça, comparando a resistência das partes que estão sadias com a parte do concreto atingido pela corrosão. Após tal análise, deverá ser projetado novas armaduras e novos estribos, caso haja necessidade.
- 7) Quando houve soldas na recuperação das estruturas de concreto, todo o material da solda deve ser a base de eletrodos, controlando sempre o tempo e a temperatura para que não haja variação na estrutura do aço.

Existe outros processos que não estejam ligadas diretamente ao corpo da armadura, mas sim ao seu exterior. Nesses casos de recobrimento das armaduras presentes juntos ao concreto, deverão ser utilizadas argamassas poliméricas ou a base de epóxi.

Sabendo-se dos processos de restauração das anomalias encontradas nas estruturas de concreto, é perceptível que em alguns casos essas restaurações não sejam totalmente eficazes. Nesses casos, com patologias mais intensas, os engenheiros utilizam processos de reforços estruturais com base em algum método específico, tal como utilização de fibras de carbono, chapas de aço ou por meio da utilização de protensão externa. No referido trabalho, será utilizado como base a utilização da protensão externa em pontes.

6. REFORÇO ESTRUTURAL POR PROTENSÃO EXTERNA

Antes de se conceder os principais estudos sobre a protensão no concreto armado é necessário saber o que significa a protensão na engenharia civil. Segundo Hanal (2005), a palavra protensão já transmite uma ideia de se aplicar uma tensão em algo, em nosso meio acadêmico esta palavra está mais assimilada a estruturas ou construções.

“Então a protensão pode ser empregada como um meio de se criar tensões de compressões prévias nas regiões onde o concreto seria tracionado em consequência das ações sobre estruturas.” (HANAL, 2005)

Mariano (2015) relata que esta técnica é muito utilizada desde a década de 1950 e que se tornou uma excelente alternativa para os reforços estruturais de concreto. A necessidade de aumento das cargas portantes das estruturas antigas, aumento do tabuleiro das pontes para adequação de novos gabaritos, entre outros processos, fazem com que essa técnica seja cada vez mais utilizada no Brasil e no mundo com uma grande competitividade em relação as outras técnicas.

Segundo Santos (2016), a protensão pode ser caracterizada de duas maneiras: interna ou externa. No caso da interna, as cordoalhas se situam no interior da seção transversal do concreto e a externa se caracteriza pelo contrário, as cordoalhas se situam do lado externo do concreto. Ainda segundo o autor, na protensão externa, após a concretagem da estrutura, as cordoalhas são colocadas externamente as quais são esticadas quando o concreto possui uma resistência desejada. O referente trabalho explicará a utilização do método de protensão externa.

6.1 ELEMENTOS PARA COMPOSIÇÃO DO PROCESSO DE PROTENSÃO EXTERNA

Sabendo qual o processo de reforço estrutural que se irá utilizar em obra, é necessário conhecer os elementos que compõe esse processo. A protensão externa utiliza de alguns artifícios para realização de seu processo que são: Aços de protensão como membros de tração, dispositivos mecânicos de ancoragem, sistema de corrosão frente a corrosão e selas nos pontos de desvios, nos casos de cordoalhas defletidas. Esses processos serão explicados com mais detalhes em seguida.

6.1.1 Aços para protensão

O requerimento do aço utilizado em reforços estruturais do tipo protensão externa é adotado pela NBR 7483/2004 (Cordoalhas de aço para concreto protendido – Requerimentos) ou pela NBR 7583/2008 (Cordoalhas de aço para concreto protendido – Especificações). Segundo as edições da norma, esses aços são específicos por apresentar uma grande resistência, passarem por um tratamento de temperatura diferenciado e por possuírem um baixo grau de escoamento. Dependendo de como essas cordoalhas são tratadas termicamente, apresentam características distintas, podendo ser de relaxação normal (RN) ou de relaxação baixa (RB). Esse último é o mais indicado pela norma pois reduz as perdas de protensão.

Segundo SANTOS (2016) o aço para concreto protendido apresenta as seguintes características:

- Fios enrolados de aço carbono, com diâmetro nominal variando entre 3 e 8mm, vendidos em rolos ou bobinas;
- Pela norma, as cordoalhas podem ser encontradas em conjunto de dois, três ou sete fios, em formato helicoidal, fornecidos em bobinas;
- Barras de aço-liga passado por um processo de laminação a quente, com diâmetros nominais acima de 12mm.

A NBR 7843/2004 especifica a classificação das cordoalhas de aço referentes a sua tração em duas categorias: CP 190 e CP 210.

Os números representados logo acima, 190 e 210, especifica o limite a resistência mínima na unidade de quilograma força por centímetro quadrado. Nesse caso, utiliza-se $1\text{Kgf/mm}^2 = 9,81\text{Mpa}$. Autores como Tejedor (2013) caracteriza uma boa cordoalha variando sua resistência a tração entre 150 e 190 Kgf/cm^2 .

“Os aços para protensão são designados pela sigla CP (aço para concreto protendido), seguido da sua resistência característica à ruptura, em kN/cm^2 , e da identificação em relação ao tipo de tratamento empregado (RN ou RB).” (SANTOS, 2016).

Um exemplo é o especificado na descrição da norma:

“CP-190 RB 12,7 significa uma cordoalha de sete fios para concreto protendido (CP), categoria 190, relaxação baixa (RB) e diâmetro nominal de 12,7 mm (12,7);” (NBR 7483/2004).

6.1.2 Ancoragens das cordoalhas de aço

Segundo Tejedor (2013), as cordoalhas de aço externas se ancoravam com as mesmas técnicas utilizadas nas cordoalhas internas protensionadas, isso se dá pela obra ser projetada sob os custos econômicos. De um ponto de vista técnico, até mais avançado, é de interesse que essas ancoragens de cordoalhas suportem a força que essa cordoalha irá exercer além de ter que suportar esforços posteriores e ao longo de sua vida útil de projeto. Com os avanços na área da engenharia, as cordoalhas podem apresentar novas monitorizações, ajustes ou até mesma substituição por métodos mais eficazes. Isso traz à tona os interesses de autoridades locais para a manutenção de pontes.

6.1.3 Proteções frente a corrosão

“Os cabos de protensão não aderente, devem ser protegidos frente à corrosão durante o seu armazenamento, transporte, construção e fabricação, e também após sua instalação.” (TEJEDOR, 2013).

Ambientes agressivos quimicamente podem trazer grandes prejuízos para obra, tanto estrutural quanto economicamente. Por isso, sistema de proteção contra a corrosão são de caráter indispensável quando aplicado os cabos de protensão.

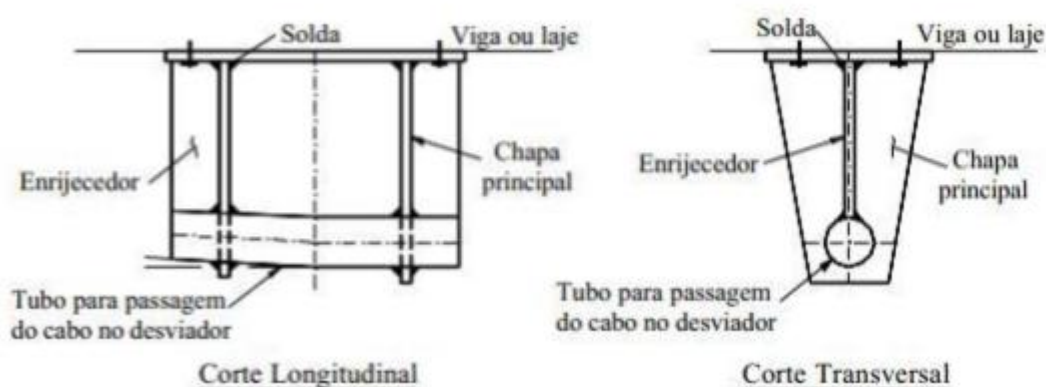
6.1.4 Desviadores

Segundo Tejedor (2013), os desviadores são componentes agregados a estruturas que tem por finalidade desviar os cabos de protensão em um determinado ponto. Esses elementos estão diretamente ligados aos custos totais da obra. É importante dimensionar a quantidade e o local que serão aplicados os desviadores. Existe casos que mesmo a estrutura sendo retas, os desviadores são utilizados, não com a finalidade de modificar o caminho do cabo, mas como um fixador, mantendo a tensão no cabo quando a viga se deforma. Em relação a cabos poligonais, é de extrema importância que os desvios sejam leves para que não se concentre demasiadamente tensões em um único ponto e que acarrete em uma ruptura prematura.

São muitos os tipos de desviadores utilizados em obras de reforço de vigas ou lajes. Quando se deseja aumentar a excentricidade do cabo de protensão ao longo do vão, os desviadores podem ser fixados na face inferior do elemento a ser reforçado e pode ter altura tal que forneça a excentricidade desejada. (Tejedor, 2013, pag.62)

Abaixo será demonstrado por meio de uma figura, um exemplo de desviador, nesse caso, um desviador metálico.

Figura 52– Desviador metálico



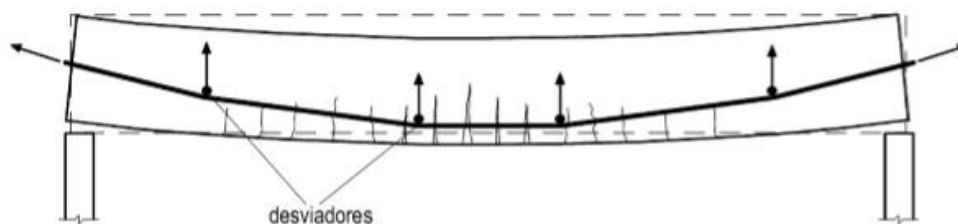
Fonte: Tejedor, 2013.

6.2. METODOLOGIA DO PROCESSO DE REFORÇO ESTRUTURAL POR PROTENSÃO EXTERNA

O método consiste na incorporação de cordoalhas externas à estrutura, longitudinal ou transversalmente, utilizando desviadores metálicos de forma a reestabelecer as condições originais ou reforçando a mesma para suportar cargas superiores às projetadas. (MARIANO, 2015, pag. 18).

O esquema da figura abaixo representa o processo da protensão. As cordoalhas de aço utilizadas pelo projetista passa pelos desviadores, são tensionadas e eliminam o fissuramento. Isso se dá pelo motivo da protensão transferir os esforços de tração, onde o concreto tem baixo rendimento, para os locais de compressão, onde o concreto tem um alto rendimento.

Figura 53– Esquema de reforço por protensão externa



Fonte: Mariano, 2015, pag. 18

Segundo Santos (2016), ao utilizar-se do método de reforço estrutural por protensão externa é necessário inicialmente avaliar o concreto que se está sendo utilizado para que o acréscimo de forças axiais provenientes dos cabos comprimidos não venha causar rupturas no material, isso se dá quando o concreto que se está sendo utilizado em obra está com baixo rendimento ou com algum tipo patológico presente. Além disso, é de extrema importância que os cabos externos tenham uma proteção contra corrosão, isso por que, sem a proteção estarão sujeitos ao contato com intemperes do meio ambiente, que podem acelerar o processo de oxidação. Os desviadores e ancoragens devem ser estudados para que suportem as tensões que irão ser aplicadas. Após todo o processo de análise dos componentes de protensão, certifica-se que após instalação dos cabos na face inferior da viga a diminuição de altura livre do projeto não prejudique a estrutura.

As técnicas de protensão reduz as deformações existentes nas estruturas e aumentam sua capacidade portante com algumas vantagens e desvantagens, segundo Mariano (2015), *apud* Camargo (2013).

6.2.1 Vantagens

- Tem uma relativa simplicidade na aplicação da metodologia;
- Ausência de problemas posteriores com o cobrimento dos cabos de protensão;
- Uma das boas vantagens desse método é a inspeção visual da protensão, o que facilita para os encarregados da obra uma melhor inspeção e a facilidade das trocas de cabos durante sua vida útil;
- Na maioria dos casos, a protensão pode ser aplicada com a estrutura em uso;
- Dificilmente irá ter a necessidade de demolição na obra;

- As perdas de tensões dos cabos externos são menores que as dos cabos internos.

6.2.2 Desvantagens

- Uma das grandes desvantagens, se assim pode ser classificada, é o critério extremo de análise, por parte do projetista, do concreto que irá aplicar a protensão. Se a metodologia for aplicada a um concreto que possua uma baixa resistência, menor do que as cargas que podem suportar em bom estado, as forças aplicadas pelos cabos estendidos podem provocar grandes fissuras e gerar rupturas na estrutura do concreto;

- Vulnerabilidade ao sistema de protensão por meio de vandalismos, exposição ao fogo, ou a intemperes que possam causar oxidação do sistema, desse modo, demandando uma real necessidade de sistemas de proteção;

- Necessidade de mão de obra especializada.

6.3. SENTIDO ECONÔMICO

Segundo Castro (2011) as resistências presentes em um concreto protendido chega a duas ou três vezes maiores que no concreto armado. Comparando os aços utilizados em cada metodologia, o aço para concreto protendido pode variar entre três ou cinco vezes mais resistentes comparados aos utilizados no concreto armado.

O sentido econômico comentado por Castro (2001) está na relação de custos as cordoalhas de aço utilizados no concreto protendido. Pelas cordoalhas de protensão serem mais resistentes, com uma melhor qualidade, além de um concreto de melhor qualidade, melhoram a vida útil da obra, esta maneira os custos adicionais para estes materiais chegam a ser inferiores a esses acréscimos no projeto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise bibliográfica escolhida para construção deste trabalho, fica evidenciado que uma obra de arte especial, como pontes de concreto armado, está sujeita diretamente a anomalias, que tem nascente em agentes advindos do meio ambiente ou do próprio homem, no qual faz-se comprometer diretamente seu corpo estrutural.

Visto esta situação, se faz necessário um estudo aprofundado das estruturas de concreto armado, como explicadas por diversos autores mencionadas no decorrer do trabalho. O processo se dá pela análise de causas que possam provocar anomalias, bem como as consequências futuras destas, por meio de falta de inspeções e manutenções adequadas aplicadas por órgãos governamentais, como o DNIT, responsável pelas obras de Infraestrutura de transportes do país. Desta forma, é indispensável o reconhecimento de patologias presentes nestas obras, bem como apresentar medidas adequadas para combate destas, como técnicas de reabilitação ou de reforço estrutural, utilizadas no caso em questão, para que se mantenha a integridade da estrutura, elevando sua durabilidade e consequentemente sua vida útil.

Vale salientar também, que obras de grande porte é patrimônio histórico do país, e cabe aos órgãos governamentais um olhar mais robusto voltado para a sua integridade, bem como a segurança de quem a usufrui.

8. REFERÊNCIAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7483: Cordoalhas de aço para concreto protendido – Requerimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALMEIDA, Tatiana Gesteira Martins de. **REFORÇO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE CABOS EXTERNOS PROTENDIDOS**. 2001. 201 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CAMARGOS, U. A. **Patologia nas obras civis (palestra sobre reforço estrutural)** - Instituto IDD, Belo Horizonte: 2013.

CARMONA FILHO, Antônio. **Panorama da Edificação sob a Ótica da Patologia**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/panorama-da-edificacao-sob-a-otica-da-patologia_1276>. Acesso em: 12 jul. 2018.

C. J. G. Silva, E. C. Barreto Monteiro, J. P. A. Vitorio (2018), “**Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco**”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 79 – 93.

CONCRETO: MATERIAL CONSTRUTIVO MAIS CONSUMIDO NO MUNDO. São Paulo: Ibracon, n. 53, 2009.

CURCIO, Ronald Cristhian de Lima. **PONTES RODOVIÁRIAS: Levantamento das principais patologias estruturais**. 2008. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco – Usf, Itatiba, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNRE. MANUAL DE INSPEÇÃO RODOVIÁRIAS**, MT- Instituto de pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro, 1980.

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

FREYSSINET, Eugène. **A revolution in the art of construction Presses de l'École Nationale de Ponts et Chaussées**. Rio de Janeiro: Ime, 20-.

GACIA, GABRIELA. **Ponte do Mirante, em Piracicaba, completa 140 anos: INSTITUTO HISTÓRICO E GEOGRÁFICO DE PIRACICAIBA**. 2015. Disponível em: <<http://Ponte do Mirante, em Piracicaba, completa 140 anos>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

HANAI, João Bento de. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO PROTENDIDO**. São Carlos: Laboratório de Estruturas, 2005.

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

HOLANDA, Maria Júlia de Oliveira. **TÉCNICAS PREVENTIVAS E DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2015. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2015.

LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas nos municípios de Porto Alegre**. 2001. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MARCHETTI, Osvaldemar, 2008. **PONTES DE CONCRETO ARMADO**. 1 Reimpressão 2009. Editora BLUCHER

MARIANO, J. R. **Recuperação estrutural com ênfase no método da protensão externa**. 2015. 41p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MASON, J. **Pontes em Concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

MAZER, Wellington. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Curitiba: Departamento Acadêmico de Construção Civil, 2008.

Piancastelli, E.M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - Ed. Depto. Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160p.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado**: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979. 458 p.

PINHO, Fernando Ottoboni, BELLEI, Ildony Hélio, **Pontes e viadutos em vigas mistas**, 1ª ed. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2007

PINTO, Tales dos Santos. **O Milagre econômico da ditadura**. [21--]. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/historiadobrasil/o-milagre-economico-ditadura.htm>>. Acesso em: 11 maio 2018.

ROSAS, Letícia R. Batista. **Concreto Protendido**: Mato Grosso: Letícia R. Batista Rosas, 20-

REIS, Lília Silveira Nogueira. **SOBRE A RECUPERAÇÃO E REFORÇO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SANTOS, Rafael Pinheiro dos. **REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE PROTENSÃO EXTERNA**. *Revista Especialize On-line Ipog*, Goiânia, v. 12, n. 13, p.1-19, 20 out. 2016.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. São Paulo: Pini, 1998.

STOTZ, Manoel Vicente Zeredo. Métodos de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Deterioradas pela Corrosão nas Armaduras. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 10, p.1-14, 20 nov. 2014.

TEJEDOR, Cristina Mayán. **PATOLOGIAS, RECUPERAÇÃO E REFORÇO COM PROTENSÃO EXTERNA EM ESTRUTURAS DE PONTES**. 2013. 139 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1989.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2015. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VERÍSSIMO, G. S.; JÚNIOR, K. M. L. C. **Concreto protendido**. 4. ed. Viçosa: Fundamentos básicos. 1998.