

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

ENGENHARIA CIVIL

BRÍGIDA BRENDA LEMOS SILVA

**RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO: Estudo de
caso do reforço estrutural realizado no Hotel Café Royal em Varginha/MG**

Varginha/MG

2017

BRÍGIDA BRENDA LEMOS SILVA

**RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO: Estudo de
caso do reforço estrutural realizado no Hotel Café Royal em Varginha/MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-
requisito para obtenção de grau de bacharel pela
Banca Examinadora composta pelos membros:

Varginha/MG

2017

BRÍGIDA BRENDA LEMOS SILVA

RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO: Estudo de caso do reforço estrutural realizado no Hotel Café Royal em Varginha/MG

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. M.Sc. Antonio de Faria

OBS:

Dedico este trabalho à Deus e aos meus pais, Ana Lúcia e Antônio Batista (*in memoriam*) por todos valores, incentivo, educação, presença e o apoio, não somente neste marco profissional, mas em todas as escolhas e conquistas em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que está presente em todos os momentos da minha vida, me abençoado e protegendo para que eu tenha sempre o discernimento das melhores escolhas.

Minha profunda gratidão ao orientador, Professor M. Sc. Antonio Faria, por ser esse profissional competente à quem tenho enorme admiração, e tive o privilégio de aprender muito durante todo esse curso.

Agradeço a minha querida mãe Ana Lúcia, por confiar sempre em meu potencial, me dar todo apoio e amor. Sei que ela não mediu esforços pra que este meu sonho fosse realizado.

Agradeço ao meu querido pai Antônio Batista (*in memoriam*), que infelizmente não pode estar presente neste momento tão feliz em minha vida, mas sei que ele torce por todas as minhas conquistas. Obrigada por tudo pai! Saudades eternas!

Agradeço a minha tia Maria Jamile (*in memoriam*) minha segunda mãe, que também não está mais presente, mas que desde pequena cuidou de mim como uma filha. Obrigada por tudo, tia! Saudades eternas!

Agradeço também aos meus irmãos, Antônio Otávio e Plínio Marcos, por estarem sempre presentes.

A vocês expresseo o meu maior agradecimento.

“Deus dá as batalhas mais difíceis aos seus melhores soldados”. (Papa Francisco)

RESUMO

Os principais requisitos esperados para uma estrutura em concreto armado é, que esta cumpra os limites de segurança, funcionalidade, aptidão em serviço e mantenham seus aspectos estéticos como projetados, os quais são exigidos em função das ações e influências ambientais que venham a atuar durante sua vida útil. Entretanto, muitas estruturas tem sofrido com a degradação, devido ao envelhecimento e começam a apresentar falhas, necessitando de intervenções, muitas iniciadas ainda na fase de projetos, devido à falta de controle e inspeções durante a execução, associados ao uso e as condições de intempéries em que essas são inseridas, além de algumas passarem pela mudança na utilização, como a edificação apresentada no estudo de caso. Por isso, faz-se necessário a avaliação estrutural por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos com o objetivo de diagnosticar e possibilitar a correta recuperação, por meio de pequenos reparos ou grandes reforços.

Palavras-chave: Estrutura, Concreto, Vida útil, Degradação, Recuperação.

ABSTRACT

The main requirements expected for an armed concrete structure that meets the limits of safety, functionality, suitability in service and maintain its aesthetic aspects as projects, which are required due to actions and environmental influences that come to operate during its life useful. The conditions of use, conditions of use and purchase of products, investment needs and news, investment needs and novelties are at the project stage due to lack of control and inspection during the execution associated with the use and weather conditions In which these are inserted, plus some dates for a change in use, as an issue here of no case study. Therefore, it is necessary a structural evaluation by means of destructive and non-destructive tests with the purpose of diagnosis and to enable a correct recovery, through small repairs or large reinforcements.

Keywords: *Structure, Concrete, Lifespan, Degradation, Recovery.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil.....	21
Figura 2: Evolução esquemática da deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras.....	22
.Figura 3: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.	23
Figura 4: Ponte do Galeão (RJ) construída em 1948.....	32
Figura 5: Esquema de uma pista de protensão típica.	33
Figura 6: Exemplos de seções de peças com armaduras pré-tracionadas.....	33
Figura 7: Lafarge – Silos (em concreto protendido) de Cimento e Calcário – Matosinhos/MG.....	34
Figura 8: Laje plana protendida.....	34
Figura 9: Laje planas maciças, um dos tipos de laje protendida.	35
Figura 10: Laje nervurada com cubetas plásticas.....	35
Figura 11: Comportamento uniaxial típico do concreto simples.....	36
Figura 12: Posição das armaduras, segundo a direção das tensões de tração.....	37
Figura 13: Detalhe da ancoragem ativa.	39
Figura 14: Estrutura danificada por ações do ambiente, apresentando uma degradação tanto do concreto como do aço.	40
Figura 15: Fatores que geram as Patologias em estruturas em concreto.	41
Figura 16: Interações no concreto.	44
Figura 17: Diferentes manifestações de corrosão.....	51
Figura 18: Execução do ensaio de esclerometria, por meio do aparelho esclerômetro de reflexão.	54
Figura 19: Aparelho Peetrômetro Windsor.	54
Figura 20: Aparelho de Ultrassonografia.	55
Figura 21: Aparelho de Termografia infravermelha.....	56
Figura 22: Aparelho de Pacometria.	56
Figura 23: Ensaio de tração	57
Figura 24: Diagrama tensão-deformação	58
Figura 25: Resistencia do concreto à tração (MPa).....	59
Figura 26: Propriedades avaliadas em um ensaio de torção.....	60
Figura 27: Plano de tensão da região cisalhada.....	60

Figura 28: Plano de tensão da região cisalhada.....	61
Figura 29: Ensaio de Flexão.....	62
Figura 30: Etapas para averiguação de cada particularidade sofrida pelas estruturas que necessitam de reforços.....	65
Figura 31: Progressão geométrica na razão de 5.....	69
Figura 32: Furação de concreto para ancoragem.....	75
Figura 33: Reforço de viga com nova armadura atada à mesma.....	76
Figura 34: Armadura de complementação.....	76
Figura 35: Reforços ao cisalhamento.....	77
Figura 36: Reforço à flexão.....	78
Figura 37: Reforço ao cisalhamento.....	78
Figura 38: Chapas metálicas.....	79
Figura 39: Ancoragens estudadas por Cmpagnolo.....	79
Figura 40: Escoramento do reforço.....	81
Figura 41: Detalhe de chumbador.....	81
Figura 42: Reforço com perfis metálicos.....	82
Figura 43: Formas gerais de reforço com PRF.....	82
Figura 44: Reforço de vigas e pilares com fibra de carbono.....	83
Figura 45: Reforço com Fibra de carbono – Parque Shopping Barueri –SP.....	84
Figura 46: Reforço com Fibra de carbono – Parque Shopping Barueri –SP.....	84
Figura 47: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT.....	85
Figura 48: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT.....	85
Figura 49: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT.....	86
Figura 50: Técnica para o encamisamento de concreto - Modificação de seção.....	86
Figura 51: Esquema de reforço com utilização de concreto projetado.....	87
Figura 52: Técnica para o encamisamento de concreto - Modificação de seção.....	88
Figura 53: Modificação de seção.....	88
Figura 54: Modificação de seção.....	89
Figura 55: Tipos de configurações de reforço de pilares.....	89
Figura 56: Processos de análise para as tomadas de decisões.....	90
Figura 57: Processos de análise para as tomadas de decisões.....	91
Figura 58: Grauteamento.....	93
Figura 59: Aplicação de resina de poliuretano.....	94
Figura 60: Aplicação da resina epóxi.....	95

Figura 61: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP.....	96
Figura 62: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP.....	96
Figura 63: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP.....	97
Figura 64: Foto da edificação localizada em Varginha/MG.....	98
Figura 65: Demonstração das anomalias de durabilidade na estrutura.	101
Figura 66: Execução da escarificação	102
Figura 67: Utilização do disco de desgaste.	103
Figura 68: Execução da escarificação mecânica.	103
Figura 70: Delimitação da área a ser reparada.	105
Figura 71: Esquema de aplicação de concreto por bombeamento.....	107
Figura 72: Aplicação do adesivo epóxi.	108
Figura 73: Reservatórios (boilers) que foram colocados no quinto andar.....	109
Figura 74: Execução da técnica de reforço com aumento de seção na laje da cobertura.	111
Figura 75: Viga fissurada perto dos Boilers.	111
Figura 76: Reforço com a utilização de chapas metálicas.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Gastos com países desenvolvidos com manutenção.....	26
Tabela 2: Classes de agressividade ambiental (CAA).....	28
Tabela 3: Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de corrosão das armaduras.....	29
Tabela 4: Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de deterioração por lixiviação ou por formação de compostos expansivos.	30
Tabela 5: Incidência de Manifestações Patológicas.	44
Tabela 6: Fatores de degradação e efeitos sobre o desempenho.	46
Tabela 7: O fatores de degradação (corrosão) e seus efeitos sobre o desempenho.	49
Tabela 8: Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado. .	52
Tabela 9: Principais propriedades exigidas dos materiais de reparo e auxiliando na escolha dos mais adequados meios para o reforço.	66
Tabela 10: Histórico de testes de carregamento.	71
Tabela 11: Classificação das provas de carga.	73
Tabela 12: Principais materiais utilizados em reparos.	92
Tabela 13: Quadro de áreas da edificação.	98

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo Geral.....	16
1.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Estrutura do Trabalho	17
1.5 Metodologia	19
2. DURABILIDADE, VIDA ÚTIL E DESEMPENHO DAS ESTRUTURAS	19
2.1 Métodos utilizados para estimar a vida útil de uma estrutura.....	24
2.2 Estados Limites	26
2.3 Classificação quanto a agressividade do meio ambiente	28
3. CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO.....	29
3.1 Concreto Armado	31
3.2 Concreto Protendido.....	31
4. DEFINIÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL	36
4.1 Elementos de Concreto Simples Estrutural.....	36
4.2 Elementos de Concreto Armado.....	36
4.3 Elementos de Concreto Protendido.....	38
5. CAUSAS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO	39
5.1 Causas das Patologias	41
5.1.1 Patologias decorrentes do mal planejamento	41
5.1.2 Patologias decorrentes de erros na concepção dos projetos	41
5.1.3 Erros na escolha dos materiais	42
5.1.4 Patologias decorrentes de erros na execução.....	42
5.1.5 Patologias decorrentes de erros na fase de utilização da estrutura	43
5.1.5.2 Degradação das armaduras	48
5.1.5.3 Degradação da estrutura.....	51
8. AVALIAÇÕES DE ESTRUTURAS.....	52
8.1 Ensaios não destrutivos	52

8.1.1	Inspeção visual	53
8.1.2	Esclerometria	53
8.1.3	Resistência à penetração	54
8.1.4	Medição da maturidade	54
8.1.5	Ultrassonografia	55
8.1.6	Termografia infravermelha.....	55
8.1.7	Pacometria	56
8.2	Ensaio destrutivos	56
8.2.1	Ensaio de Tração	56
8.2.2	Ensaio de Compressão.....	58
8.2.3	Ensaio de Torção	59
8.2.4	Ensaio de Cisalhamento	60
8.2.5	Ensaio de Flexão.....	61
8.2.6	Ensaio de Testemunho.....	62
9.	PRINCIPAIS OBJETIVOS DO REFORÇO ESTRUTURAL	63
9.1	Procedimentos de reforço estrutural.....	64
9.1.1	Prolongar a vida útil	68
9.1.2	Nova utilização da estrutura	70
9.2	Materiais utilizados em reforços	74
9.2.1	Elementos metálicos	74
9.2.2	Reforço com Fibra	82
9.2.3	Reforço com modificação de seção	86
10.	RECUPERAÇÃO, REPARO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO	90
10.1	Grauteamento.....	92
10.2	Juntas de dilatação, trincas e fissuras.....	93
10.2.1	Injeção de resina de poliuretano	93
10.2.2	Injeção de resina de gel acrílico	94
10.2.3	Injeções Epoxídicas	94
10.3	Impermeabilização.....	95
10.3.1	Geomembrana de PVC	95

11. ESTUDO DE CASO.....	97
11.1 Procedimentos técnicos	97
11.1.1 Características gerais da edificação	97
11.1.2 Diagnóstico	98
11.1.3 Orientações para escolha de materiais de reparo e reforço	99
11.1.4 Principais técnicas utilizadas na edificação.....	100
11.1.5 Principais causas das anomalias	100
11.1.6 Procedimentos de preparo e limpeza	102
11.1.7 Classificação dos reparos quanto a profundidade.....	104
11.1.8 Procedimentos técnicos de reparos.....	106
11.1.9 Reparo com a utilização de adesivo fluido a base de epóxi	107
11.1.10 Procedimentos de Reforço	108
11.1.10.2 Chapas de aço aderidas com epóxi e chumbadores.....	111
11.1.10.3 Reforço com perfil metálico.....	115
12. CONSIDERAÇÕES ACERCA DO PROCEDIMENTO CORRETO QUE DEVERIA TER SIDO ADOTADO PARA REALIZAÇÃO DO REFORÇO	115
13. CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata-se de um referencial teórico abordando conceitos difundidos na década de 80, ou seja, durabilidade e vida útil de uma estrutura, até procedimentos técnicos a serem adotados com a finalidade de resolver, prevenir e solucionar problemas estruturais causados por envelhecimentos, mudança de utilização, falhas na concepção de projetos, uso, ou na própria execução.

Além disso será apresentado como estudo de caso uma edificação da década de 90, que sofreu mudança na sua utilização e passou por procedimentos de reforço estrutural, para adequar-se a nova funcionalidade. Para isso, foi elaborado um memorial de procedimentos técnicos, apresentado os três tipos principais de técnicas utilizadas na edificação, ou seja, reforço com aumento de seção, reforço com chapas e perfil metálico.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma exposição, por meio da revisão bibliográfica sobre as principais causas, processos e consequências da degradação das estruturas de concreto, assim como apresentar técnicas de avaliação, métodos, recuperação e reforço de elementos estruturais em concreto a fim de prolongar sua vida útil.

Os processos de avaliação de estruturas em concreto também são de grande valia para obtenção da análise crítica dos diversos ensaios utilizados para a verificação da durabilidade de estruturas, como os ensaios destrutivos e não destrutivos do concreto. Para isso, será apresentado procedimentos técnicos desenvolvido com base no estudo de caso de uma edificação que passou por mudança na sua utilização.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Realizar um estudo, por meio de revisão bibliográfica e descrever os principais mecanismos de deterioração do concreto (relacionados às causadas por intempéries, de natureza mecânica, física, química e eletroquímica), juntamente com os respectivos sintomas que se manifestam na estrutura, recomendando a adoção de medidas preventivas ou minimizadoras dos efeitos patológicos resultantes da deterioração do concreto;
- b) Discutir a relação entre durabilidade, vida útil e desempenho das estruturas;
- c) Apresentar os métodos utilizados para estimar a vida útil, de acordo com os estados limites, e também devido a nova utilização da estrutura;

- d) Descrever as consequências de degradação do concreto com relação a agressividade do meio ambiente;
- e) Descrever as medidas corretivas para recuperação e reforço das estruturas;
- f) Relacionar as causas de envelhecimento e deterioração, em relação a cada patologia sofrida;
- g) Apresentar os principais ensaios destrutivos e não destrutivos do concreto;
- h) Apresentar alguns tipos de reforços que são utilizados, como reforço com uso de elementos metálicos, com uso de fibras, e com modificações de seção, ou seja, utilização do próprio concreto;
- i) Apontar fatores determinantes para uma boa execução de reforço estrutural, indicando por meio de autores algumas referências mais aprofundadas.
- j) Apresentar como estudo de caso uma edificação localizada na cidade de Varginha/MG da década de 90, que passou por procedimentos de reforço e recuperação de estrutura, devido a sua mudança na utilização.
- k) Apresentação dos procedimentos técnicos com base na edificação em estudo, apresentando assim os três tipos de reforço realizados nesta, ou seja, reforço por meio de aumento de seção e reforço com a utilização de chapas e perfil metálico.

1.3 Justificativa

Algumas estruturas de concreto deterioram, mais rápido do que o previsto por sua vida útil. Devido as construções presentes no cenário nacional, as falhas de projeto, construção e manutenção. Por isso, o tema recuperação e reforço em estruturas de concreto, foi escolhido, afim de abordar técnicas corretivas para instruir cada vez mais responsáveis na área de proteção estrutural; além de apresentar os procedimentos técnicos executados na recuperação e reforço estrutural de uma edificação que passou por mudança de utilização, com obra interrompida na década de 90.

Este tema despertou-me o interesse devido a ser um assunto não tratado com tanta ênfase no curso de Engenharia Civil e pelo constante crescimento da indústria da construção, necessitar mais de técnicos peritos na área de métodos disponíveis para a recuperação de elementos que não estão mais atingindo aptidão em serviço, bem como, a necessidade de reforço, para aquelas estruturas que por algum motivo, mudou sua categoria de utilização, conforme a ABNT NBR 6120/1980.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho proposto está estruturado em doze capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a introdução, os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento.

O segundo capítulo aborda uma relação entre os conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho das estruturas em concreto, por meio de métodos utilizados para estimativa de vida útil, estados limites e as classificações quanto a agressividade do meio ambiente.

O terceiro capítulo contempla uma classificação generalizada do elemento concreto.

O quarto capítulo aborda uma visão geral sobre o surgimento deste elemento que atualmente conhecemos como concreto armado.

O quinto capítulo aborda sobre o concreto protendido e sobre peças pré-moldadas que são utilizadas em grandes construções, além de abordar sucintamente sobre diferentes tipos de lajes protendidas.

O sexto capítulo descreve as definições de concreto estrutural, elementos de concreto simples, armado, protendido, armaduras passivas, ativas (de protensão), ativas pré-tracionadas e as juntas de dilatação, bem como as vantagens na utilização; com relação à ABNT NBR 6118/2014.

O sétimo capítulo apresenta as principais causas de envelhecimento e deterioração das estruturas, segundo os principais processos, físicos, químicos, biológicos. A definição de patologia, bem como a relação de proporcionalidade dos fatores que ocasionam.

O oitavo capítulo aborda as avaliações que devem ser realizadas por meio de ensaios destrutivos e os não destrutivos.

O nono capítulo trata-se da necessidade do reforço estrutural, decorrente de aspectos construtivos, ou seja, tanto para aumentar a vida útil, como para uma nova utilização. Além de abordar as principais técnicas utilizadas em reforço, sendo elas: reforço com uso de elementos metálicos (perfis e chapas), com fibras e também com o próprio concreto, quando a estrutura sofre modificação de seção, com o reforço por encamisamento de concreto.

O décimo capítulo trata da recuperação, reparo e proteção das estruturas, além de descrever algumas técnicas preventivas, visando a recuperação, proteção por meio de injeção de resinas, impermeabilizações e utilização de elementos como a geomembrana de PVC.

O décimo primeiro capítulo apresenta os procedimentos técnicos elaborado com base no estudo de caso, de uma edificação da década de 90 que passou por mudanças em sua utilização, necessitando assim de reparos e reforço estrutural.

O décimo segundo apresenta as considerações acerca do procedimento correto que deveria ter sido feito para a execução do reforço.

O décimo terceiro apresenta as considerações finais e referências bibliográficas.

1.5 Metodologia

A partir da pesquisa realizada sobre os processos de recuperação e reforço de estruturas em concreto armado, discorrendo sobre a relação entre os conceitos de durabilidade e vida útil e os principais fatores que levam a deterioração destes elementos; será proposto a elaboração de procedimentos técnicos para prolongar a vida útil, tendo como estudo de caso a mudança de utilização de uma edificação na cidade de Varginha-MG. Além de descrever técnicas já utilizadas, será apresentado algumas recentes descobertas, como é o caso do concreto regenerativo, como método sustentável de utilização. Com o principal objetivo de auxiliar os responsáveis técnicos que buscam por novos conhecimento na área.

2. DURABILIDADE, VIDA ÚTIL E DESEMPENHO DAS ESTRUTURAS

Ainda no início da década de 80 o conceito de durabilidade foi formulado e definido pela Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered, e pela ASTM E 632, estando incorporado há mais de 35 anos no âmbito das edificações, e posteriormente às normas de estruturas de concreto no Brasil.

Segundo a ISO 6241:1984, durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

Para a ABNT NBR 6118:2014, item 6.1, prescreve que a durabilidade de estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Vários autores já definiram o que seria durabilidade das estruturas. De acordo com o comitê 201 do ACI, citado por Mehta e Monteiro (1994), durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.

Vários documentos internacionais, tem contribuído para introduzir e consolidar novos conceitos em defesa da durabilidade e do aumento da vida útil das estruturas de concreto, são eles: CEB-FIP Model Code 90, fib Model Code 2010, fib (CEB-FIP) Model Code 2006 for Service Life Design, ACI 201.1R-08, ACI 365.1R 00, a norma europeia EN-206, a ABNT NBR 12655:2006, artigos de especialistas no tema, como Helene (1983), Andrade & Gonzalez (1988), Rostam (1993), e documentos clássicos como a norma CETESB L1 007, entre outros, que têm contribuído bastante nos últimos 20 anos.

Porém o conceito de durabilidade mais difundido e aplicado atualmente foi proposto pelo CEB-FIP MC-90 (1990), que faz algumas considerações para a obtenção de estruturas duráveis. Segundo o Código, as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e a aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos para manutenção e reparo.

Vale salientar que, esta definição pode ser considerada a mais completa, por tratar de todos os aspectos relacionados à durabilidade durante a vida útil prevista das edificações, levando-se em consideração a ação do meio ambiente.

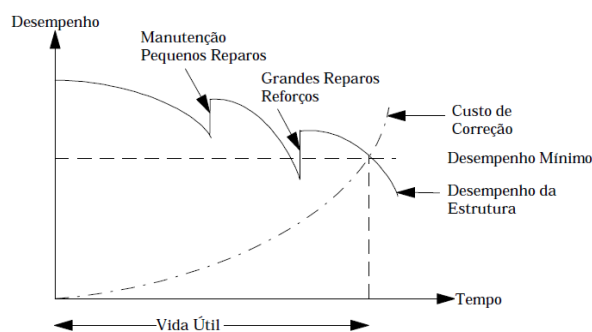
Já para Masters, citado por Mailvaganam (1992), nenhum material é, por si só, durável ou não durável. Segundo o autor, é a interação existente entre o material e as suas condições de utilização que vão determinar a durabilidade do mesmo.

Rostam, (1994) avalia as várias definições o conceito de durabilidade como sendo difícil de ser quantificado e utilizado, no dia-a-dia. Para isto, introduz-se o conceito de vida útil como um termo operacional que aborda de forma quantitativa a questão da durabilidade das estruturas.

Para a ASTM (1982), vida útil é o período de tempo após a instalação de um material, componente ou sistema, em que as propriedades ficam acima de valores mínimos aceitáveis. Admite-se também que um material atingiu o fim da sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, deterioram a tal ponto que a continuação do uso deste material é considerada insegura ou antieconômica.

Sendo assim, a durabilidade de uma estrutura pode ser representada pelo desempenho x tempo, conforme a Figura 1, extraída do CEB (1992) e de HELENE (1992). A partir do momento que se projeta uma estrutura, a definição tanto da vida útil exigida para a construção, adquirida em função das características do material, do meio ambiente e das condições de utilização, quanto dos critérios de desempenho especificados para esse período, já devem ser levadas em consideração, como forma de planejamento. Tais critérios podem ser observados a seguir, em que o valor de desempenho mínimo, é sempre levado em consideração, para mostrar um “equilíbrio”, ou seja, ponto de partida.

Figura 1- Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil.



Fonte: Adaptada do CEB (1992) e HELENE (1992).

Com o passar dos anos, ao longo da vida útil, a estrutura necessita de pequenos reparos ou até mesmo grandes reforços dependendo da gravidade, ou seja, quando a estrutura começa a perder a sua funcionalidade devido a algum tipo de deterioração. Por isso, vale lembrar que, à evolução dos danos gera a necessidade de medidas corretivas a fim de solucioná-los, aumentando exponencialmente o custo, através da chamada Lei de Sitter ou Lei dos Cinco, lei esta que será explicada mais a frente deste trabalho.

Publicada em Fevereiro de 2013, a norma de Desempenho ABNT NBR 15.575-2013 Edifícios Habitacionais prevê que devem ser atendidas as condições estabelecidas no Manual de Uso, Ocupação e Manutenção de imóveis, para que o desempenho mínimo ao longo da vida útil dos principais elementos (como estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura) sejam alcançados, em toda e qualquer edificação.

Ainda segundo a norma ABNT NBR 15575-2013, as estruturas devem apresentar uma Vida Útil de Projeto (VUP) mínima de 50 anos, ou a critério do projetista, com um níveis de desempenho superiores, à 75 anos e intermediário à 63 anos.

De acordo com a ISO 13823:2008, o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do

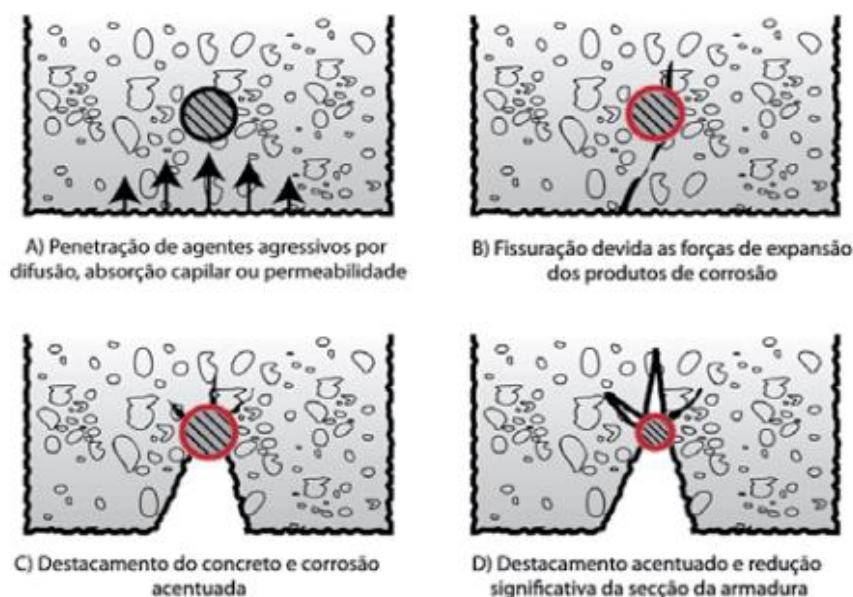
projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo, chama-se vida útil. Sendo que essa definição engloba o conceito de desempenho formulado ainda na década de 80 pela ISO 6241 já citada e que em 2010, foi introduzido pela ABNT NBR 15575:2010.

No item 6.2 da ABNT NBR 6118:2014, entende-se por vida útil de projeto, o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Então, para definir o conceito de vida útil deve-se analisar sempre vários pontos os quais envolvam: o projeto, a execução, os materiais, o uso, operação e a manutenção, mantendo sempre o desempenho, a qualidade e conseqüentemente o pensamento sustentável.

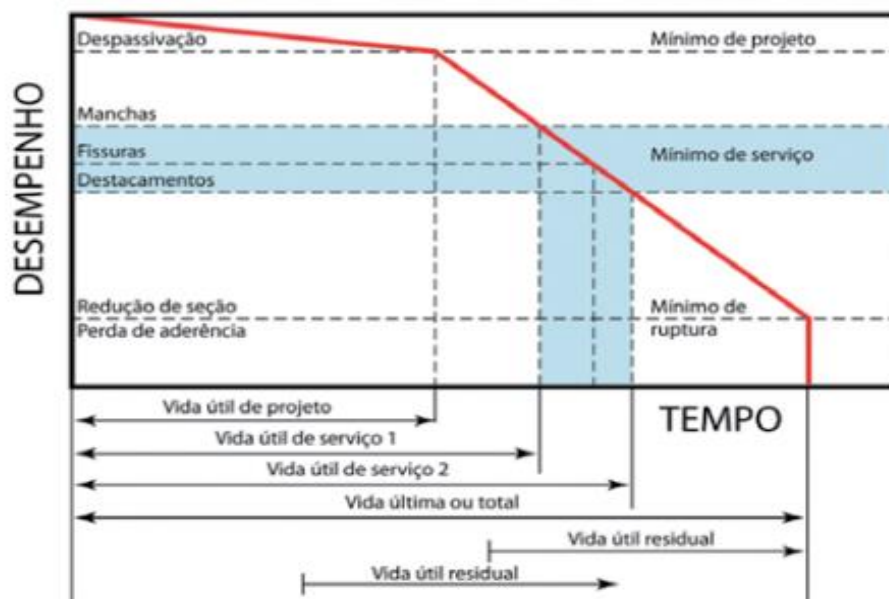
No Brasil a definição de vida útil de projeto desde o início da década de 90 (Helene, 1993), pode ser observado nas Figuras 2 e 3, onde é limitado os fenômenos de corrosão das armaduras.

Figura 2: Evolução esquemática da deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras.



Fonte: (HELENE,1986)

Figura 3: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.



Fonte: (HELENE, 1997).

Conforme as Figura 3 acima, pode-se identificar como:

- Vida útil de projeto: o período que vai até a despassivação da armadura (período de iniciação), corresponde ao tempo necessário para que os agentes agressivos, penetre através dos poros do cobrimento do concreto, sem causar danos a estrutura. Esse é o período que deve ser adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança. Sendo assim, o valor que geralmente é adotado para previsão de vida útil de uma estrutura em concreto armado convencional é de 50 anos, enquanto que para pontes com concreto protendido, este período estende-se de 100 ou até 200 anos, também no caso de barragens;
- Vida útil de serviço ou de utilização: é o período de tempo em que os agentes agressivos começam a se manifestar, ocorrendo a formação de manchas na superfície do concreto e internamente a corrosão das armaduras, levando posteriormente a ocorrência de fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda o “desplacamento” (queda de pedaços de concreto), colocando em risco a integridade de pessoas e bens. Porém, em cada caso, a vida útil é muito variável, pois depende das exigências associadas ao uso da estrutura. Mas quando ocorre o “desplacamento” deve-se considerar terminada a vida útil de serviço;

- Vida útil total: Período que há a redução significativa da seção resistente da armadura ou a perda da aderência entre o aço e o concreto. Podendo acarretar à ruptura e ao colapso parcial ou total.
- Vida útil residual: Corresponde ao período em que a estrutura será capaz de desenvolver as suas funções contado após uma vistoria e/ou possível intervenção na mesma. Sendo que a vistoria e o possível diagnóstico podem ser feitos a qualquer instante da vida em uso da estrutura. Neste caso, pode ser o limite de projeto, o limite de serviço, quanto o limite de ruptura, formando assim as três possíveis vidas úteis residuais; divididas entre a “despassivação” da armadura, a outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto e a outra até a perda significativa da resistência até o momento possível de colapso.

Em função dos crescentes problemas de degradação precoce observados nas estruturas, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade no setor da construção civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido (CLIFTON, 1993).

As estruturas de concreto podem passar décadas sem intervenções de manutenção e reparo, se foram projetadas e executadas adequadamente, bem como forem utilizadas de acordo com a sua finalidade. Mas, o ideal é que toda e qualquer edificações passem por inspeções periódicas para avaliar a necessidade de ações corretivas, devido ao desgaste da estrutura ao longo dos anos. As patologias, infiltrações, deslocamentos e corrosão de armaduras, devem ser tratadas rapidamente, para estender a vida útil de pilares, vigas, lajes e outros elementos estruturais.

2.1 Métodos utilizados para estimar a vida útil de uma estrutura

De acordo com Helene (2004), a estimativa de vida útil de estruturas de concreto pode ser feita por meio de um dos quatro procedimentos a seguir, sendo eles: com base nas experiências anteriores, ensaios acelerados, com base em enfoque determinista e em enfoques estocástico ou probabilista.

Segundo o Fib Model Code for Service Life Design (2006), a questão da vida útil deve ser tratada sob, pelo menos, três aspectos: Métodos de introdução ou verificação da vida útil no projeto; procedimentos de execução e controle de qualidade e procedimentos de uso, operação e manutenção.

Estes métodos são consequências da visão que o meio técnico adquiriu com o passar do tempo. No início do século XX e até a década de 80, comandava apenas o bom senso e a experiência profissional, onde o conceito de durabilidade, era claramente subjetivo e assegurado exclusivamente através de exigências prescritivas.

O princípio básico, no entanto, não se alterou. Há necessidade, por um lado, de conhecer, avaliar e classificar o grau de agressividade do ambiente e, por outro, de conhecer o concreto e a geometria da estrutura, estabelecendo então a correspondência entre ambos, ou seja, entre a agressividade do meio versus a durabilidade da estrutura de concreto (HELENE, 1983).

O conhecimento da durabilidade e dos métodos de previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para:

- a) Auxiliar na previsão do comportamento do concreto em longo prazo. Sendo que o conceito de vida útil deve ser introduzido no projeto estrutural de forma análoga ao de introdução da segurança;
- b) Prevenção de manifestações patológicas precoces nas estruturas. Pois esse conhecimento é fundamental para reduzir riscos de fissuras, corrosão, expansões e outros problemas nas estruturas;
- c) Contribuição para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas. Pois a correlação destes conceitos (manejar bem custos, técnica, recursos humanos e respeito ao meio ambiente), garantem a eficiência do trabalho dentro da engenharia.

Ainda é subjetivo a aplicação dos conceitos de durabilidade e vida útil na construção. Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2002), mesmo que este conceito esteja incorporado a mais de 35 anos.

O não conhecimento exato sobre a vida útil de uma estrutura de concreto durante o período de operação da edificação, é que qualquer intervenção na estrutura de concreto é sempre complicada, tanto sob o aspecto financeiro como da execução, e com o passar do tempo só tende a aumentar exponencialmente.

Em alguns países desenvolvidos os custos gastos com manutenções e reparos em estruturas de concreto, equivalem aos mesmo gasto com novas construções como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Gastos com países desenvolvidos com manutenção.

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparos	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália *	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

* Todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Fonte: MEDEIROS; ANDRADE; HELENE (2011, p.3).

Por isso é necessário o planejamento que vise combater não apenas o alto custo da atividade com manutenção, mais também o aumento da vida útil e consequentemente o desempenho da edificação; evitando assim os gastos desnecessários com as intervenções de manutenção.

2.2 Estados Limites

Os requisitos esperados para uma edificação depreende-se, que a ela deva possuir condições adequadas de segurança, funcionalidade e durabilidade, para que consiga atender todas as necessidades para as quais foi projetada. Mas, quando uma estrutura deixa de atender a qualquer um desses três itens, diz-se que ela atingiu um Estado Limite.

Sendo assim, uma estrutura pode atingir um estado limite de ordem estrutural ou de ordem funcional. Estes estados limites são considerados no cálculo das estruturas de concreto. São eles:

- a) Estado limite último ou de ruptura (ELU ou ULS);
- b) Estado limite de utilização ou de serviço (ELS ou SLS)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, item 10.3, o estado limite último (ELU ou ULS) é aquele relacionado ao colapso ou a qualquer forma de ruína estrutural que determine a paralisação, no todo ou em partes do uso da estrutura, deixando de satisfazer às condições previstas de utilização, sendo que a segurança das estruturas de concreto devem ser sempre verificadas em relação aos seguintes estados limites últimos:

- a) Perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) Esgotamento da capacidade resistente da estrutura, em seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais;

- c) Esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) Provocado por solicitações dinâmicas;
- e) Colapso progressivo;
- f) Esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200:2012;
- g) Esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- a) E outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

Já o estado limite de serviço (ELS ou SLS) prescrito também pela norma (ABNT NBR 6118:2014), são aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, à aparência, ao conforto dos usuários e à boa utilização funcional, seja em relação as pessoas, as máquinas ou aos equipamentos utilizados.

Com isso, a segurança das estruturas podem levar a exigência de verificação de alguns dos seguintes estados limites de serviço definidos no item 3.2 da ABNT NBR 6118:2014:

- a) Formação de fissuras (ELS-F): estado em que se inicia a formação de fissuras;
- b) Abertura das fissuras (ELS-W): estado em que as fissuras se apresentam como aberturas iguais aos valores máximos especificados pela norma (item 13.4.2);
- c) Deformação excessiva (ELS-DEF): estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para utilização normal da estrutura, também definidos pelo item 13.3 da norma;
- d) Vibrações excessivas (ELS-VE): estado em que a vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal das construções.

Os ELS, decorrem de ações que podem ser combinadas de três maneiras, segundo a ABNT NBR 8681:2003, no item 4.1.2.2, de acordo com o tempo de permanência nas estruturas, são elas: combinações quase permanentes, combinações frequentes e combinações raras.

- a) Combinações quase permanentes: combinações de ações que podem atuar sobre a estrutura durante mais da metade do seu período de vida útil;

- b) Combinações frequentes: aquelas que atuam durante o período de vida das estruturas, em torno de 10^5 vezes em 50 anos ou até que tenham duração total ou igual a uma parte não desprezível desse período da ordem de 5%;
- c) Combinações raras: são aquelas que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura.

2.3 Classificação quanto a agressividade do meio ambiente

Segundo o item 6.4 da ABNT NBR 6118:2014, toda e qualquer construção estão sujeitas as ações físico-químicas do ambiente com o qual estão em contato. A agressividade do meio atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Com base nas condições de exposição da estrutura ou de suas partes, a classificação da agressividade do ambiente, deve-se levar em conta o micro e macro clima atuantes sobre a obra e suas partes críticas.

Por isso, nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 2 (ABNT NBR 6118:2014) e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 2: Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana a,b	Pequeno
III	Forte	Marinha a,b Industrial a,b	Grande
IV	Muito Forte	Industrial a,c Respingos de maré	Elevado

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

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

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

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

3. CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO

A resistência do concreto aos diferentes meios agressivos depende, entre outros fatores, da natureza e tipo dos seus materiais constituintes assim como da composição ou dosagem do concreto, ou seja, dependendo assim do tipo e consumo de cimento, tipo e consumo de adições e de água, relação água / cimento, natureza e diâmetro máximo ($D_{máx}$) do agregado.

Para a mistura do concreto deve-se dar preferência a certos tipos de cimento Portland, a adições minerais e a aditivos mais adequados para resistir à agressividade ambiental, em função da natureza dessa agressividade.

Para cada condição existe um tipo adequado de cimento a ser utilizado, como maior resistência à lixiviação, são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV. Para minimizar o risco de reações álcali-agregado são preferíveis os cimentos pozolânicos tipo CP IV. Para reduzir a profundidade de carbonatação são preferíveis os cimentos tipo CP I e CP V sem adições. Já quando se quer reduzir a penetração de cloretos são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV com adição extra de sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz.

Para saber quais concretos deverão ser utilizados nas estruturas, em falta de valores de ensaios experimentais, pode ser adotado a classificação mostrada na Tabela 3, referente à corrosão de armaduras e na Tabela 4, referente à deterioração do concreto.

Tabela 3: Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de corrosão das armaduras.

Classe de concreto	Classe de resistência (ABNT NBR 8953/2009)	Máxima relação a/c	Deterioração por carbonatação Teor de adições	Deterioração por cloretos Teor de adições
Durável	≥ C50	≤ 0,38	≤ 10% de pozolana, metacaulim ou escória de alto forno	≥ 20% de pozolana ou metacaulim ≥ 65% de escória de alto forno aço galvanizado ou inox
Resistente	C35 C40 C45	≤ 0,50	≤ 10% de pozolana ou metacaulim ≤ 15% de escória de alto forno	≥ 10% de pozolana ou metacaulim ≥ 35% de escória de alto forno aço galvanizado ou inox
Normal	C25 C30	≤ 0,62	Qualquer	Qualquer
Efêmero	C10 C15 C20	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Concreto Ciência e Tecnologia – Durabilidade e vida útil das estruturas em Concreto.

Tabela 4: Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de deterioração por lixiviação ou por formação de compostos expansivos.

Classe de concreto	Classe de resistência (ABNT NBR 8953/2009)	Deterioração por expansão		Deterioração por Lixiviação
		Teor de C3A no cimento anidro	Teor de adições	Teor de adições
Durável	≥ C50	≤ 5%	≤ 20% de pozolana ou metacaulim ≥ 65% de escória de alto forno	≥ 20% de pozolana ou metacaulim ≥ 65% de escória de alto forno aço galvanizado ou inox
Resistente	C35 C40 C45	≤ 5%	≤ 10% de pozolana ou metacaulim ≤ 35% de escória de alto forno	≥ 10% de pozolana ou metacaulim ≥ 35% de escória de alto forno aço galvanizado ou inox
Normal	C25 C30	≤ 8%	Qualquer	Qualquer
Efêmero	C10 C15 C20	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Concreto Ciência e Tecnologia – Durabilidade e vida útil das estruturas em Concreto.

Com a constante necessidade de se fazer reforços e recuperações em estruturas, em situações mais críticas de demolição e até reconstrução; nota-se o crescimento na utilização de um concreto mais resistente tanto estruturalmente quanto às agressões sofridas no ambiente.

Com o passar do tempo devido a várias pesquisas chegou-se em um material de alta resistência mecânica, maiores durabilidade, trabalhabilidade e resistência aos agentes agressivos, que é o caso do então chamado Concreto de Alta Resistência (CAR).

A IBRACON, define o CAR em função da resistência à compressão, que pode ser a classe superior à C50, ou seja, concretos com resistência característica à compressão (f_{ck}), superior a 50MPa.

Os concretos de alta resistência, utilizado em grandes estruturas (edifícios, pontes, etc.), são bastante usados, principalmente em colunas de grandes edifícios. Nas lajes e nas vigas dos edifícios, no entanto, não se consegue aproveitar totalmente a alta resistência à compressão desses concretos, pois a esbeltes das peças é muito grande, ficando propício ao surgimento de grandes deformações, imediatas e lentas, e também vibrações não aceitáveis.

O CAR também é muito utilizado em obras especiais, junto ao mar, com grandes exigências de durabilidade, utilizam-se deste concreto com uma crença de que eles são sempre muito mais duráveis, do que os demais. Mas isto nem sempre é verdadeiro, pois a alta resistência não é sinônimo de durabilidade, se não houver uma execução perfeita, com o controle da temperatura do concreto, antes e depois do lançamento, por exemplo, a durabilidade fica muito reduzida pela fissuração nas primeiras idades.

3.1 Concreto Armado

Com criação do cimento Portland, na Inglaterra em 1824, o desenvolvimento do concreto armado e protendido foi alcançado. Anos depois os franceses e os alemães também começaram a produzir cimento e a propor várias formas de melhoria para a capacidade portante do concreto.

Por volta século XIX, já conheciam mundialmente a forma de reforçar elementos de concreto. Em 1867, o francês Monier também se destacou com a fabricação de vasos, tubos, lajes e pontes, utilizando concreto com armadura. E nessa época que as construções em concreto armado começaram a ser empregadas, desenvolvidas em bases puramente empíricas. Porque ainda não se conhecia a função estrutural da armadura de aço no concreto.

E foi em 1877 que o americano Hyatt, após realizar diversos ensaios com construções de concreto, reconheceu claramente o efeito da aderência entre o concreto e a armadura. E a partir de então, passou-se a colocar a armadura apenas do lado tracionado das peças.

3.2 Concreto Protendido

Em 1886, P. H. Jackson de São Francisco (EUA), anunciou a primeira proposição de pré-tensionada do concreto. E no mesmo ano, o alemão Matthias Koenen desenvolveu um método de dimensionamento empírico para alguns tipos de construção de concreto armado, com base em resultados dos ensaios de Monier.

O primeiro trabalho sobre concreto protendido foi apresentado em 1928, por Freyssinet, reconhecendo a importância da protensão da armadura nas construções civis.

A partir de 1949, o desenvolvimento do concreto protendido se acelerou, passando a existir diversos trabalhos, pesquisas, ensaios, comitês, organizações e regulamentações.

No Brasil, a primeira obra em concreto protendido a ser executada foi a ponte do Galeão (Figura 4), no Rio de Janeiro, construída em 1948. Para a realização dessa obra

tudo material foi importado da França, o aço, as ancoragens, os equipamentos e até o projeto.

Em 1952 a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira iniciou a fabricação do aço de protensão. A segunda obra brasileira, a ponte de Juazeiro, já foi feita com aço brasileiro.

Figura 4: Ponte do Galeão (RJ) construída em 1948.



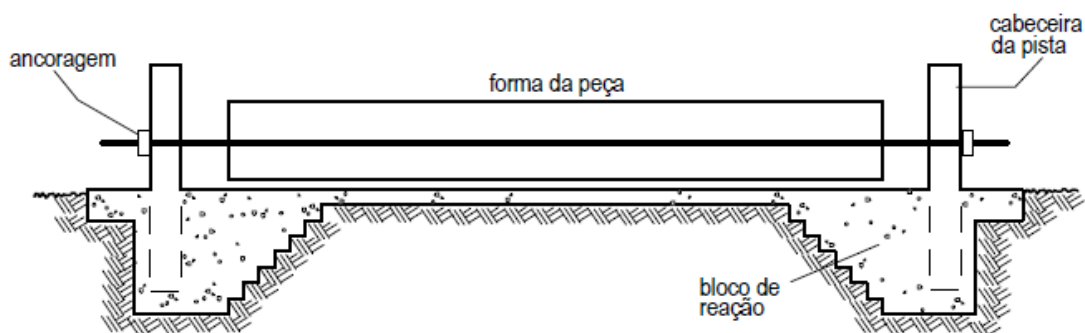
Fonte: Infraestrutura Urbana.

Em 1978 o Comité Euro-Internacional du Béton (CEB/FIP) publicou o Código Modelo para Estruturas de Concreto Armado e Concreto Protendido. Muitas entidades de normalização em vários países usam o Código como base para a elaboração de suas normas técnicas.

Hoje em dia é muito comum tanto as grandes construções em concreto protendido, como a utilização de peças pré-moldadas na constituição desses elementos (Figura 5).

Por envolver uma grande quantidade de equipamentos e materiais no processo construtivo, bem como a necessidade de um concreto de melhor qualidade, fica viável que as peças pré-moldadas sejam produzidas em canteiros de obras apropriadas, onde é possível executar as protensões e processar a cura do concreto em condições favoráveis com rigoroso controle tecnológico.

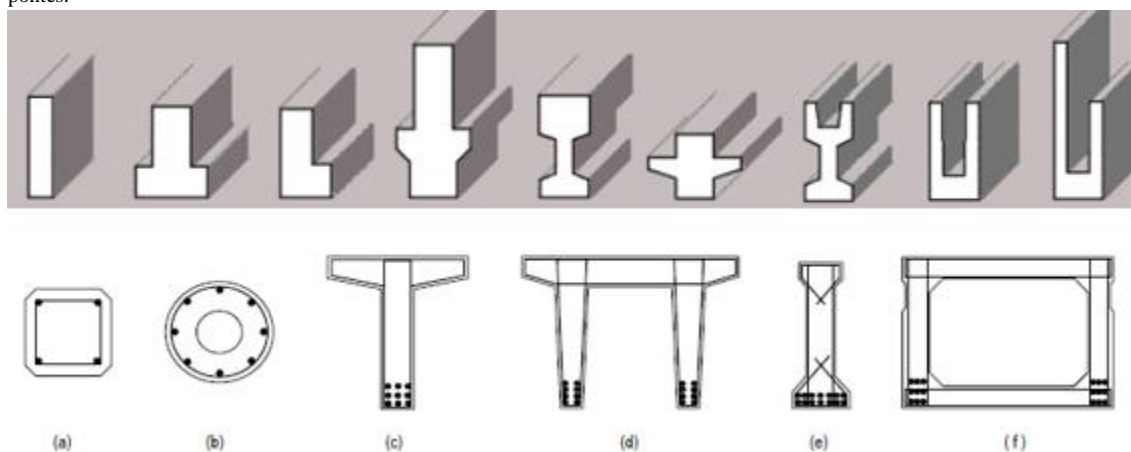
Figura 5: Esquema de uma pista de protensão típica.



Hoje, várias indústrias de pré-moldados, não só brasileiras como internacionais já dominam a tecnologia do concreto protendido, produzindo postes, pilares, painéis, vigas, reservatórios e silos, dentre outros elementos. No Brasil, as seções variam conforme a Figura 6 abaixo.

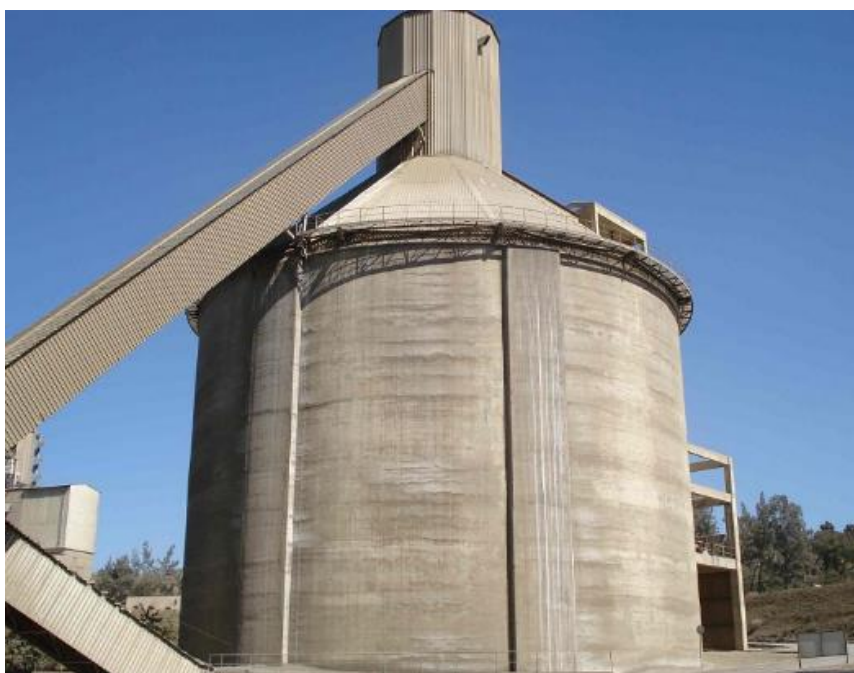
Figura 6: Exemplos de seções de peças com armaduras pré-tracionadas

a) estaca ou poste de seção quadrada; b) estaca ou poste de seção circular oca (podem ser fabricados por centrifugação do concreto); c) viga T simples, usada em construção civil; d) viga T dupla, usada em construção civil; e) viga I para pontes; f) viga celular para pontes.



Existem diversas aplicações para o concreto protendido, como as estruturas de grande porte, plataformas marítimas, torres de concreto, reservatórios, pontes estaiadas, silos (Figura 7), barragens, edifícios, entre outras.

Figura 7: Lafarge – Silos (em concreto protendido) de Cimento e Calcário – Matosinhos/MG



Fonte: mm projetos e consultoria.

A aplicação de soluções em lajes protendidas para edifícios, tanto comerciais como residenciais, oferecem uma grande variedade de arranjos estruturais que resultam em flexibilidade e redução drástica de deformações.

Estes arranjos possibilitam diferentes tipos de lajes protendidas, como as lajes planas maciças (cogumelos) (Figura 8 e 9), que são aquelas sem a presença de vigas de borda, propiciando rapidez na execução em cada piso por ser bastante simplificada.

Figura 8: Laje plana protendida.



Fonte: Concreto Protendido como solução na Arquitetura.

Figura 9: Laje planas maciças, um dos tipos de laje protendida.



Fonte: Procalc Estruturas.

As lajes planas nervuradas, que podem utilizar blocos de polipropileno (isopor) ou cubetas plásticas como elementos de enchimento (Figura 10), propiciam lajes com baixa espessura média e que oferecem um aspecto estético que pode ser explorado arquitetonicamente.

Figura 10: Laje nervurada com cubetas plásticas.



Fonte: Procalc Estruturas.

Uma das vantagens destas lajes é com relação à esbeltez, pois elas são capazes de vencer grandes vãos utilizando pequenas espessuras e apresentando fissuração e flechas reduzidas, além da compressão, a protensão balanceia grande parte das cargas

permanentes e somente uma parte da carga total provoca flechas e tensões de tração no concreto.

4. DEFINIÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL

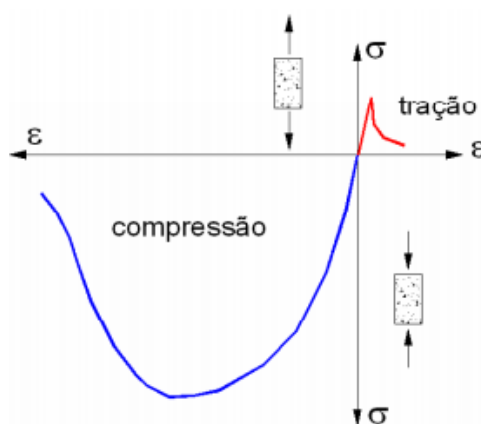
São inúmeras as aplicações do concreto como material estrutural, por isso, o termo concreto estrutural refere-se a toda finalidade que é dada ao seu uso. Podem ser caracterizados três elementos distintos de concreto estrutural: Elementos de concreto simples estrutural, elementos de concreto armado e os elementos de concreto protendido.

4.1 Elementos de Concreto Simples Estrutural

Elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuam em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado, segundo a ABNT NBR 6118.

Este concreto possui como característica razoável a resistência à compressão (concretos convencionais) entre 20 MPa e 50 MPa, baixa resistência à tração, da ordem de 1/10 da resistência a compressão. Conforme a Figura 11 a seguir:

Figura 11: Comportamento uniaxial típico do concreto simples.



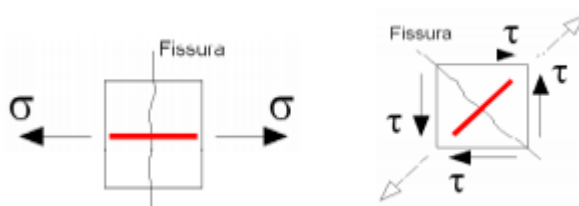
Fonte: Introdução ao concreto estrutural, UFSM.

Este concreto comparado as demais possui um comportamento frágil com pequenas deformações “sem aviso”.

4.2 Elementos de Concreto Armado

Aqueles elementos em que o comportamento estrutural possibilita o trabalho conjunto (aderência) entre o concreto simples e o aço (armadura passiva). Em que a posição das armaduras é chamada de “regra da costura”, ou seja, segue a direção (posição ideal) das tensões principais da tração, como na Figura 12.

Figura 12: Posição das armaduras, segundo a direção das tensões de tração.



Fonte: Introdução ao concreto estrutural, UFSM.

Como todo material que se utiliza, o concreto armado apresenta vantagens e desvantagens em relação ao seu uso estrutural.

As vantagens são:

- a) Boa resistência à maioria das solicitações;
- b) Trabalhabilidade, por isso adapta-se a várias formas, garantindo maior liberdade ao projetista;
- c) Permite obter estruturas monolíticas, o que não ocorre com as de aço, madeira e pré-moldadas. Existe aderência entre o concreto já endurecido e o que é lançado posteriormente, facilitando a transmissão de esforços.
- d) Técnicas de projeto e execução bem dominadas em todo o país;
- e) Solução competitiva economicamente em diversas situações;
- f) Material durável (se bem projetado, executado e com adequada manutenção);
- g) É resistente a choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos, se comparado a elementos estruturais como à madeira e aço.

Já as desvantagens que os elementos de concreto armado apresentam, são:

- a) Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, o que, com o seu peso específico elevado ($\gamma \approx 25 \text{ KN/m}^3$), acarreta em peso próprio muito grande, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo;
- b) Dificuldades para reformas e demolições;
- c) Bom condutor de calor e som, exigindo, em casos específicos, associações com outros materiais para sanar esses problemas;
- d) Necessidade de utilização de escoramento (quando não se faz o uso de pré-moldagem) que geralmente precisam permanecer no local até o concreto adquirir a resistência adequada.

4.3 Elementos de Concreto Protendido

Segundo Pfeil a protensão consiste em introduzir um estado prévio de tensões na estrutura capaz de melhorar tanto sua resistência como seu comportamento, sob diversas condições de carga.

O concreto protendido proporcionam uma série de vantagens, como:

- a) Ideal para projetos com seções mais esbeltas se comparado ao concreto armado convencional, se o fator preponderante é o comportamento em serviço toda a seção de concreto pode trabalhar à compressão;
- b) Permite limitar e controlar a deformação elástica a valores menores que os que seriam obtidos para estruturas similares em aço ou concreto armado;
- c) Possui melhores condições de durabilidade, pois anula totalmente, ou quase totalmente, as tensões de tração, principais responsáveis pela fissuração. Deixando as armaduras mais protegidas;
- d) Após a atuação de uma sobrecarga eventual não prevista a estrutura se recompõe. Caso ocorra fissuras, depois de cessada a propagação dos esforços, elas se fecham devido à ação da força de protensão;
- e) Normalmente possui maior resistência à fadiga, devido a variação de tensão no aço, proveniente de cargas móveis, sendo muito pequena se comparada com o valor da sua resistência característica.

Já as desvantagens na utilização do concreto protendido, são:

- a) Por possuir uma maior resistência exige um melhor controle na execução;
- b) Deve-se ter um cuidado especial (proteção contra a corrosão) com os aços de alta resistência;
- c) De acordo com as posições dos aços impostas no projeto, é necessário a colocação com maior precisão. Como a força de protensão possui em geral um valor muito alto, um pequeno desvio do cabo da posição de projeto pode produzir esforços não previstos, levando ao comportamento inadequado da peça e até mesmo ao colapso;
- d) A execução de elementos em concreto protendido exigem equipamentos e equipes especializadas, em controle permanente;
- e) As construções protendidas exigem atenção e controle superior aos necessários para o concreto armado comum.

Existem duas especificações da ABNT que regulamentam as características e propriedades do aço de protensão:

- a) ABNT NBR 7482 - Fios de aço para concreto protendido;
- b) ABNT NBR 7483 - Cordoalhas de aço para concreto protendido.

Os aços de protensão são encontrados nas seguintes formas: Fios trefilados de aço carbono, cordoalhas e barras de aço liga de alta resistência.

Os elementos de concreto protendido se subdividem em armadura passiva e ativa. As armaduras passivas são aquelas que não são usadas para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada.

Já as armaduras ativas são constituídas por barras, fios isolados ou cordoalhas, na qual se aplica um pré-alongamento inicial, como na Figura 13.

Figura 13: Detalhe da ancoragem ativa.



Fonte: Concreto Protendido como solução na Arquitetura.

5. CAUSAS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO

Segundo Bertolini et al., (2004), era comum que as estruturas de concreto fossem intrinsecamente duráveis e mesmo, quando feitas sem cuidados particulares e expostas a ambientes agressivos, imunes a degradação. Só então, a partir dos anos 1980, mediante a vários casos de degradação, riscos de segurança e altos custos de manutenção, a perspectiva mudou drasticamente e se compreendeu a importância de prevenir a degradação do concreto e, sobretudo, a corrosão das armaduras.

As ações do ambiente nas estruturas de concreto podem determinar danos progressivos, tanto no próprio concreto como nas armaduras (Figura 14). A deterioração então, ocorre como resultado de uma combinação de diferentes fatores, tanto externos quanto internos. Estes danos, podem ser de vários tipos, como:

- a) Físico: devido ao efeito da temperatura, muitas dessas transformações sofridas ao longo do tempo são influenciadas por suas variações;
- b) Químico: por causa de substâncias presentes no ambiente;
- c) Biológico ou mecânico: com conta dos efeitos da abrasão ou de cargas aplicadas à estrutura.

Figura 14: Estrutura danificada por ações do ambiente, apresentando uma degradação tanto do concreto como do aço.



Fonte: A autora.

O primeiro caso, o físico, há uma degradação direta do concreto, que pode ocorrer tanto na pasta de compósitos de cimento como nos agregados, dependendo da causa, sendo que conseqüentemente com a degradação do concreto, a armadura fica mais suscetível a deterioração. Em outros casos, com o processo químico, o ambiente determina a corrosão das armaduras e o concreto pode ser afetado somente em um segundo momento.

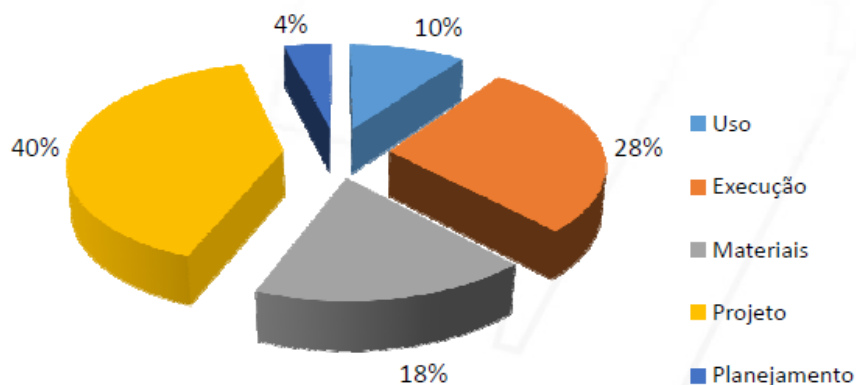
Com isso, estes processos alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente.

Os três principais sintomas que podem surgir isoladamente ou simultaneamente são: a fissuração, destacamento e a desagregação do concreto.

5.1 Causas das Patologias

Conforme Helene (1992), a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (Figura 15).

Figura 15: Fatores que geram as Patologias em estruturas em concreto.



Fonte: Helene (1993)

Fonte: Helene 1993.

É necessário identificar as causas que geram a não conformidade nas estruturas, por isso, o tratamento de patologias de forma eficaz. Tomando como base o gráfico da Figura 19, é possível discorrer sobre cada agrupamento de causas apontadas:

5.1.1 Patologias decorrentes do mal planejamento

Um elevado percentual dos problemas patológicos ocasionados nas construções é originado nas fases de planejamento. E essas falhas são normalmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos de execução. Isso se explica pela falta de investimento dos proprietários, tanto públicos ou privados e, a não preocupação com o cumprimento dos cronogramas, ou seja, o controle versus prazos.

5.1.2 Patologias decorrentes de erros na concepção dos projetos

Segundo Tan e Lu (1995), o projeto é um dos grandes motivos de preocupação nos países desenvolvidos, ele é responsável por grande parte dos problemas patológicos

na construção civil. No Brasil, a fase de realização dos projetos não é tão importante como em outros países, sendo que é na concepção dos projetos que são tomadas as decisões de maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos.

As falhas geradas na realização dos projetos geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser por diversos fatores, tais como:

- a) Projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico, etc.);
- b) Falta de compatibilidade entre o projeto estrutural e o arquitetônico, bem como os demais projetos civis;
- c) Especificação inadequada de materiais;
- d) Detalhamento insuficiente ou errado;
- e) Detalhes construtivos inexequíveis;
- f) Falta de padronização das representações (convenções);
- g) Erros de dimensionamento.

5.1.3 Erros na escolha dos materiais

São muito comuns os problemas patológicos originados pela baixa de qualidade dos materiais, pois estão ligados com a menor durabilidade do que aquela especificada, falta de controle com as dimensões do material e baixa resistência.

A escolha dos materiais e as técnicas de construção devem estar sempre em concordância com o projeto a fim de atender às necessidades e garantir a manutenção de suas propriedades e características iniciais. Não deve tomar por base apenas o preço, pois o que é barato pode se tornar caro.

Por isso, é importante que a obra apresente um sistema de controle de qualidade atuando na seleção, aquisição, recebimento e aplicação dos materiais. Pois o conhecimento técnico de cada material poderá minimizar ou impedir a deterioração das estruturas.

5.1.4 Patologias decorrentes de erros na execução

Os problemas patológicos que aparecem nas edificações durante sua vida útil são originados durante a fase de construção da edificação, com maior percentual na fase de

projeto, isso se dá na fase de execução por isso a grande importância da implementação de um sistema de gestão da qualidade para execução de obra.

Por isso as falhas na fase de execução do serviço, são:

- a) Falta de qualificação dos trabalhadores;
- b) Soluções paliativas;
- c) Local de trabalho inapropriado;
- d) Vícios construtivos;
- e) Prazos curtos, ou seja, tempo insuficiente para a entrega do serviço;
- f) Gestão precária das atividades;
- g) Deficiências de concretagem (transporte, lançamento, juntas de concretagem, adensamento, cura, outros);
- h) Inadequação de escoramentos e fôrmas;
- i) Deficiência nas armaduras (estribos, ancoragem, emendas, cobrimento, espaçamento, posicionamento);
- j) Má utilização ou utilização incorreta dos materiais de construção (Fck inferior ao especificado, aço diferente do especificado, solo com características diferentes, utilização inadequada de aditivos, dosagem inadequada do concreto);
- k) Inexistência de controle de qualidade.

Mas, muitas ações podem ser tomadas para evitar problemas futuros nas edificações como os processos de padronização, racionalidade e controle de qualidade eficiente, garantindo assim o cumprimento das especificações de projeto.

5.1.5 Patologias decorrentes de erros na fase de utilização da estrutura

O uso de uma estrutura inclui as atividades de manutenção realizadas durante toda sua vida útil. O grande problema na maioria das vezes é que os usuários não preocupam com a manutenção, não dando a devida importância o que acarreta maiores custos no futuro da estrutura.

Os problemas mais comuns e de maiores efeitos no concreto, são as eflorescências, as fissuras, as flechas excessivas, a corrosão da armadura, as manchas no concreto aparente, os defeitos de aterro e compactação e os problemas devido à segregação dos componentes do concreto.

Na Tabela 5, está relacionada as principais manifestações patológicas, em ordem crescente de ocorrência estatística:

Tabela 5: Incidência de Manifestações Patológicas.

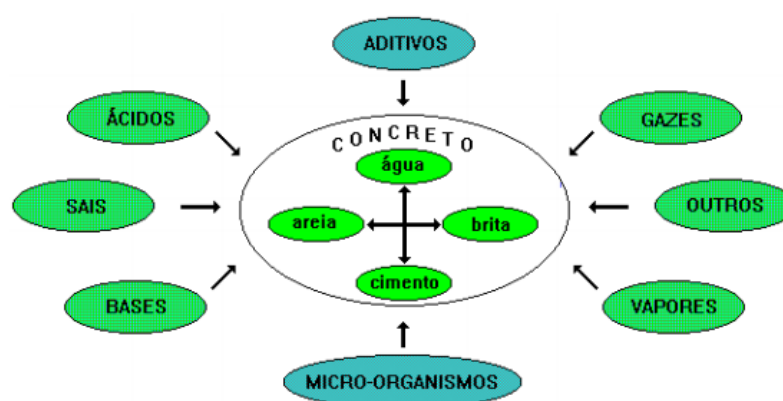
Manifestações Patológicas	Ocorrência (Percentual)
Deterioração e degradação química da construção	7%
Deformações (flechas e rotações) excessivas	10%
Segregação dos materiais componentes do concreto	20%
Corrosão das armaduras do concreto armado	20%
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	21%
Manchas na superfície do concreto armado	22%

FONTE: MACHADO (2002).

5.1.5.1 Degradação do concreto

Para Piancastelli (1997), devido ao concreto armado, ser um material não inerte, ele está sujeito a alterações, ao longo do tempo, por causa das interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço), entre agentes externos (ácidos, bases, sais, gases e outros) e a outros materiais como os aditivos e adições minerais, a Figura 16 a seguir mostra as interações que será discutida ao longo deste item, apresentando todas as interações com o concreto.

Figura 16: Interações no concreto.



Fonte: Piancastelli, 1997.

De acordo com Bauer (2008), o concreto é um material poroso. Os vazios presentes neste são de várias origens, como o excesso de água de mistura, diminuição de volume que acompanha a hidratação do cimento, ar incorporado durante a mistura, erro na dosagem dos insumos, etc. Estes poros facilitam o transporte de substâncias que estão

frequentemente presentes no ambiente. E como os vazios são geralmente interligados, o concreto é normalmente permeável a líquidos e gases.

Portanto, vale salientar que a deterioração do concreto raramente ocorre devido a uma causa isolada. Um concreto pode, muitas vezes, ser satisfatório, mas um único fator adverso suplementar pode provocar a sua deterioração. A permeabilidade é o principal determinante da vulnerabilidade aos agentes externos. Logo, para ser durável, o concreto deve ser impermeável (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2002).

O item 6.3 da ABNT NBR 6118/2014 trata dos mecanismos mais importantes e frequentes de envelhecimento e de deterioração das estruturas de concreto. Estão descrito também pela ABNT NBR 12655/2006 e listados a seguir. Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto são: a Lixiviação (águas puras e ácidas), a expansão (sulfatos, magnésio, reação álcali-agregado) e as reações deletérias (superficiais tipo eflorescências).

A Tabela 6 a seguir apresenta os principais fatores de degradação, com os processos que afetam o desempenho do concreto.

Tabela 6: Fatores de degradação e efeitos sobre o desempenho.

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintomas	Situações Típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
CONCRETO	Lixiviação	Eflorescência	Percolação de água em concretos fissurados ou com alta permeabilidade	Dissolução dos compostos da pasta de cimento por águas puras, carbônicas ou ácidas	Baixa relação água/ cimento; Tratamento de fissura; Tratamento superficial
	Ataques por sulfatos	Fissuração e perda de massa (resistência)	Tubulações de esgoto, blocos de fundações, elementos em contato com solo contaminado	Expansão pela reação dos sulfatos com os aluminatos e o Ca(OH)_2 presente no concreto; Perda progressiva de resistência pela decomposição do C-S-H devida à formação da gipsita	Baixa relação água/ cimento; Emprego de cimento resistente a sulfato
	Reação álcali agregado	Expansão e fissuração	Barragens, blocos de fundação (ambientes úmidos)	Reação química entre a sílica do agregado, com íons alcalinos do cimento e íons hidroxila, formando gel expansivo que circunda o agregado em presença de água	Emprego de agregado não reativo ou agregado ou cimento com baixo teor de álcalis; Controle de acesso de água; Cimento com escória ou Pozzolana (pouco reativos);
	Reação superficial de agregados	Manchas superficial	Superfícies úmidas	Oxidação de produtos ferruginosos presentes nos agregados	Emprego de agregados não deletérios

Fonte: Concreto Ciência e Tecnologia – Durabilidade e vida útil das estruturas em Concreto.

5.1.5.1.1 Biodeterioração do concreto

A ação de microrganismos provoca uma mudança indesejável nas propriedades do material chamada de biodeterioração.

O concreto é considerado um material propenso a sofrer ataques por microrganismos, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, que combinadas com as condições ambientais, como umidade, temperatura e luminosidade, podem promover a biodeterioração. Com isso, a presença de microrganismos atuam (ações deletérias) sobre ele, ou contra a pasta de cimento, interferindo e reduzindo sua durabilidade, comprometendo assim sua integridade.

Segundo Silva et al (2005), os principais microrganismos responsáveis por essas alterações nas estruturas de concreto são algas, fungos, bactérias, líquens e protozoários. Sendo que a deterioração provocada pelos microrganismos está relacionada com seu crescimento e sua reprodução, sua fixação e seu processo metabólico.

Outra forma comum de ataque biológico é o crescimento de raízes de plantas, em fendas ou zonas porosas do concreto, originando forças expansivas que acabam degradando mecanicamente e facilitando a passagem de outros agentes agressivos para o interior.

5.1.5.1.2 Desgaste devido à abrasão, erosão e cavitação

De acordo com Bauer (2002), abrasão é o processo que causa desgaste superficial no concreto por esfregamento, enrolamento, escorregamento ou fricção constante, sendo importante no estudo do comportamento de pisos, pavimentos rodoviários e de pontes.

Segundo Almeida (2000), a resistência superficial e a dureza do concreto influenciam o desgaste por abrasão. A utilização de agregados graúdos mais resistentes e o aumento da resistência à compressão, elevam a sua resistência à abrasão.

Para melhorar a resistência à abrasão, aconselha-se, evitar, ao máximo, a segregação e a exsudação do concreto, através das seguintes medidas:

- a) Cuidado no lançamento do concreto, para evitar segregação;
- b) Garantir a qualidade, coesão e maior envolvimento dos agregados pela pasta de cimento;
- c) Empregar dosagem bem proporcionada e utilizando o abatimento o mais baixo possível (desde que não prejudique o lançamento e acabamento do concreto);
- d) Evitar excesso de vibração, que também resulta em segregação e exsudação;
- e) Respeitar o tempo de cura para garantir a máxima hidratação do cimento na superfície, potencializando a dureza e a resistência superficial do concreto.

A erosão é o desgaste causado pela passagem abrasiva dos fluidos contendo partículas finas suspensas, tornando-se importante para as estruturas sujeitas ao desgaste pelo escoamento das águas, sendo necessário separar o desgaste provocado pelo carreamento de partículas finas pela água dos estragos causados pela cavitação.

Um exemplo de estruturas em concreto usualmente sujeitas ao desgaste por erosão são: galerias de águas pluviais, barragens, calhas de vertedouros, canais de irrigação, pilares de pontes, etc.

O comitê ACI 210R (ACI, 1993 apud ANDRADE, 2005) recomenda que, para se obter um concreto resistente à erosão, deve-se empregar agregados de diâmetros maiores e de elevada dureza, além de utilizar pasta de cimento de baixo fator a/c.

De acordo com Andrade (1992), o processo de cavitação é a degradação da superfície do concreto causada pela implosão de bolhas de vapor de água quando a velocidade ou direção do escoamento sofre uma mudança brusca.

Este desgaste pode ser minimizado mediante o uso de concretos dosados para tal solitação. Entretanto, as medidas mais eficientes seriam aquelas que visam eliminar ou reduzir, desde que possível, as causas que geram a cavitação, tais como as irregularidades na superfície e mudanças bruscas de declividade (ANDRADE, 2005).

5.1.5.1.3 Ação do gelo- degelo

De acordo com Ferreira 2000, o ciclo do gelo de-gelo, não é tão comum no Brasil, mas em outros países atingidos por baixas temperaturas durante o inverno. Pois estes efeitos dependem do estágio de endurecimento do concreto. Caso ocorra o congelamento antes do endurecimento, o processo de hidratação do cimento será suspenso, sendo retomado após o descongelamento, sem perda significativa da resistência, apesar da expansão interna da água. Se o congelamento ocorrer após o endurecimento do concreto, mas sem que ele tenha atingido sua resistência final, a expansão devido ao congelamento da água resultará em perdas significativas de resistência. Já quando o concreto endurecido é exposto a baixas temperaturas, a água presente nos poros capilares congela e expande. Quando esta descongela, verifica-se um acréscimo expansivo nos poros, o que aumenta com a sucessão de ciclos, causando uma pressão de dilatação que provoca fissuração no concreto, e conseqüentemente sua deterioração.

De acordo com Cody (1996), a aplicação de sal pode acelerar o degelo e conseqüentemente a degradação do concreto. As ações de cloros neste processo podem ser danosas ao concreto, contribuindo para a sua degradação em função dos mecanismos de corrosão das armaduras.

5.1.5.2 Degradação das armaduras

A deterioração preponderante à armadura, são em relação aos mecanismos de: corrosão devida à carbonatação e a corrosão por elevado teor de íon cloreto (cloreto).

O aço é a parte mais sensível ao ataque do meio ambiente, numa estrutura de concreto armado e protendido, por essa razão, as armaduras devem ficar protegidas através de uma espessura de concreto chamada de cobrimento.

Esta camada tem uma importância fundamental no que se refere à vida útil das estruturas, assim como os procedimentos executivos têm consequências preponderantes na qualidade desta camada. Por isso, é importante que seja projetado e executado adequadamente, a fim de garantir o desempenho esperado da estrutura. A Tabela 7 abaixo apresenta o principal fatores de degradação das armaduras.

Tabela 7: O fatores de degradação (corrosão) e seus efeitos sobre o desempenho.

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintomas	Situações Típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
ARMADURA	Corrosão	Expansão, fissuração e lascamentos	Peças de concreto sujeitas a agentes agressivos; Formação de célula de corrosão eletroquímica	Perda progressiva de alcalinidade pela carbonatação:	Baixa relação água/cimento; Aumento da espessura de cobrimento
				redução do pH do concreto e despassivação da armadura; Ataque por íons cloreto: penetração de cloreto por difusão até atingir a armadura, tornando-a passível de oxidação.	

Fonte: Concreto Ciência e Tecnologia – Durabilidade e vida útil das estruturas em Concreto.

Na natureza os metais são encontrados geralmente sobre a forma de compostos, como óxidos e sulfetos, entre outros elementos. Para usá-los, é preciso extrair o metal mediante um processo de redução, o que requer aplicar uma certa quantidade de energia. Já o processo inverso, ou seja, quando o metal volta ao seu estado natural ocorre uma redução de energia, isto é, através de uma reação espontânea. Este processo, que corresponde a uma oxidação, é conhecido por corrosão, e representa a lenta destruição do metal.

O aço em corrosão diminui de seção ou converte-se totalmente em óxido, há redução da aderência aço/concreto e conseqüentemente, ocorre uma perda da capacidade estrutural do elemento de concreto, podendo gerar o colapso total ou parcial da estrutura.

De acordo com Aranha 1994, em um concretos com umidade relativa abaixo de 60%, provavelmente não haverá corrosão. O mesmo acontece quando o concreto estiver

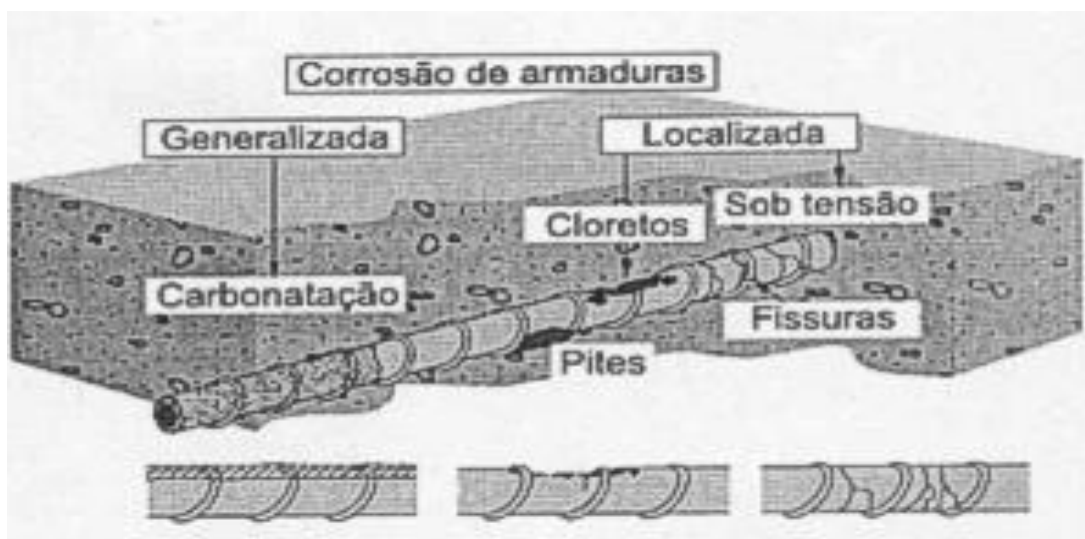
saturado com água. A umidade ótima para ocorrer o processo encontra-se entre 70 a 80%, sendo que, acima deste nível, a difusão de oxigênio é reduzida consideravelmente.

Quanto melhor for a qualidade do concreto e a camada de cobrimento, maior será o intervalo de tempo necessário para que a frente de carbonatação e os íons cloretos atinjam a superfície das armaduras.

Existem vários tipos de corrosão (Figura 17), como:

- a) Corrosão generalizada: ocorre quando há uma perda total da película (camada) de passivação, resultante da frente de carbonatação no concreto e/ou presença excessiva de cloretos. Podendo ocorrer também por efeitos de lixiviação do concreto, ou seja, a percolação e/ou lavagem por águas puras ou ligeiramente ácidas.
- b) Corrosão localizada: forma-se por dissolução localizada da camada passivadora, tipicamente causada pela penetração de íons cloretos, vindos do exterior ou pertencente a algum constituinte do concreto. Esta corrosão forma-se uma célula onde existe uma área passivada intacta, atuando como um cátodo, e uma pequena área atuando como ânodo, que perdeu a película passiva e onde se reduz o oxigênio dissolvendo o aço.
- c) Corrosão sob tensão: ocorre em aços submetidos a elevadas tensões, quando é gerado na superfície microfissura que vai progredindo rapidamente, provocando uma ruptura brusca e frágil do metal, ainda que a superfície não mostre evidências de ataques. Este tipo de corrosão acontece, preferencialmente, em concretos protendidos, sendo um fenômeno muito específico e normalmente associado à má qualidade do concreto (bainhas mal preenchidas, lixiviação do concreto) ou a presença de determinados íons.
- d) Corrosão galvânica: ocorre quando existem diferentes tipos de metais no mesmo meio eletrolítico. O metal com menor atividade eletroquímica é corroído. Uma das situações mais comuns encontradas é o uso de alumínio dentro do concreto armado.

Figura 17: Diferentes manifestações de corrosão.



Fonte: CASCUDO, 1997.

5.1.5.3 Degradação da estrutura

Os mecanismos de deterioração das estruturas são: ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

Na Tabela 8, está apresentada uma visão geral dos principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado e protendido.

Tabela 8: Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado.

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintomas	Situações Típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
ESTRUTURA	Ações mecânicas	Fissuras, ruptura, lascas	Pilares em garagens, guarda-corpos, etc.	Comprometimento da capacidade resistente devido a choques, impactos, recalque diferencial das fundações, acidentes, incêndios, sismos, inundações	Previsão das ações em projeto, quando possível
	Dilatação térmica	Fissuras verticais em contato com o elemento que restringe a contração	Concreto massa: barragens, blocos de fundação de grandes volumes	Devido ao calor gerado na hidratação o do cimento, o concreto aumenta de volume e, após o resfriamento, contrai, ocasionando esforços de tração caso o movimento seja restringido pela base	Cimento com baixo calor de hidratação; Baixo consumo de cimento; Redução da restrição imposta pela base; Concretagem em camadas; Redução da temperatura (pré e/ou pós-resfriamento)
	Retração hidráulica	Fissuras	Pavimentos, grandes lajes, argamassas	Fissuras geradas pelo esforço de tração, provocado, na peça, nas primeiras idades, devido à perda prematura de água	Redução no consumo de cimento; Cura adequada; Controle da ventilação;

Fonte: Concreto Ciência e Tecnologia – Durabilidade e vida útil das estruturas em Concreto.

6. AVALIAÇÕES DE ESTRUTURAS

6.1 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos (END) do concreto permitem verificar as condições do elemento causando pouco ou nenhum dano ao material.

Os fatores que prejudicam o desempenho de todo tipo de estrutura, principalmente as de concreto são: baixa qualidade, irregularidades no processo produtivo, prolongada exposição ao meio de intempéries, como umidade e variações de temperaturas. E por meio de realizações de ensaios, os engenheiros conseguem avaliar a situação das estruturas, diagnosticando as condições e verificando a existência de avarias que podem afetar na sua durabilidade.

Existem vários ensaios não destrutivos, sendo que alguns são realizados durante a fabricação da estrutura, e outros logo após a conclusão do processo. Estes testes vão desde a inspeção visual para detecção de pequenas trincas até ensaios de radiografia, por

exemplo, para descobrir a existência de vazios no concreto em elementos recém fabricados.

Entre os ensaios não destrutivos (END) os mais comuns são: resistência à penetração, esclerometria, termografia infravermelha, inspeção visual, medição da maturidade, ultrassom e pacometria. Mas existem outros, como: prova de carga, partículas magnéticas, líquido penetrante, georadar, entre outros.

6.1.1 Inspeção visual

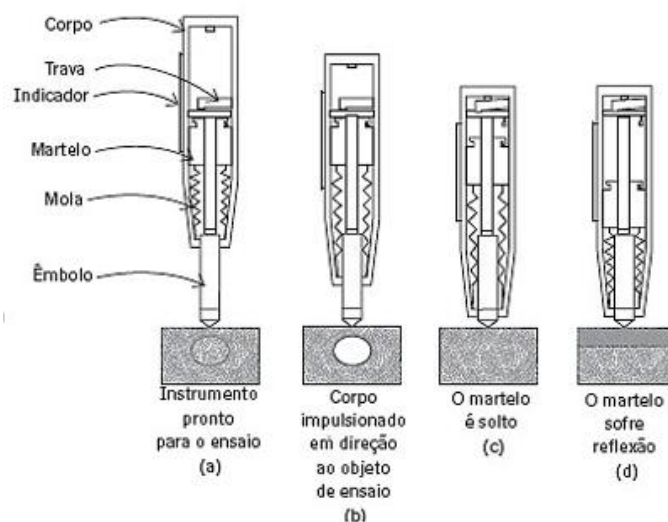
Este ensaio pode ser executado de maneira direta ou indireta, observando as condições da estrutura, com a ajuda de materiais auxiliares, como espelhos, lupas, trena, lanterna, lápis, trado, escada, nível de mangueira, câmeras, ou fibras óticas (fazem a transmissão por imagens de monitores). Por ser o mais simples de ser realizado este método é o mais empregado.

A inspeção visual também consiste em analisar os projetos, obter dados da obra, bem como informações sobre a qualidade da mão de obra, utilização da edificação, ambiente inserido, além de mapear e quantificar as patologias.

6.1.2 Esclerometria

É o processo empregado para determinação do valor aproximado da resistência à compressão superficial do concreto endurecido e de sua uniformidade. A execução deste ensaio consiste na aplicação de nove ou dezesseis impactos com o uso do aparelho esclerômetro de reflexão na área que deseja analisar, onde são obtidos índices que determinam a resistência à compressão. Este ensaio é especificado pela ABNT NBR 7584/1995 (Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão), Figura 18.

Figura 18: Execução do ensaio de esclerometria, por meio do aparelho esclerômetro de reflexão.



Fonte: Mehta e Monteiro, 2008.

6.1.3 Resistência à penetração

Este ensaio utiliza um equipamento chamado de Penetrômetro Windsor (Figura 19), o qual dispara um pino contra a superfície estudada, afim de indicar a resistência gasta para penetrar o elemento de concreto ensaiado. Assim como o ensaio de esclerometria, este também determina a dureza através da penetração de uma sonda que reflete a força de compressão.

Figura 19: Aparelho Peetrômetro Windsor.



Fonte: Téchne.

6.1.4 Medição da maturidade

Consiste em estimar a resistência do concreto a partir do histórico de tempo e da temperatura. Por isso antes de retirar as estruturas da fôrma, é necessário que o concreto

tenha adquirido rigidez e resistência suficiente para evitar trincas e deformações. E com este ensaio é obtida a estimativa da resistência a compressão, devido a evolução da temperatura ao longo do tempo de cura do concreto.

6.1.5 Ultrassonografia

Este ensaio consegue analisar através de ondas e controle remoto todos os parâmetros da peça em estudo. É prescrito pela ABNT NBR 8802/1994 e busca analisar diversas aplicações como: análise de falhas, avaliação da integridade física de juntas de concretagem, avaliação de injeções de resina aplicadas em fissuras, análise de falhas no interior das estruturas de concreto com consequente avaliação de sua qualidade e/ou comprometimento estrutural além da determinação da resistência do concreto, Figura 20.

Figura 20: Aparelho de Ultrassonografia.



Fonte: Engracon.

6.1.6 Termografia infravermelha

Este ensaio consegue detectar abaixo da superfície dos materiais as anomalias que o afetam de acordo com a temperatura e consegue detectar grandes defeitos, de laminações dentro das estruturas de concreto e vazios internos. O ensaio pode ser realizado por meio da técnica passiva ou ativa.

A técnica passiva, busca analisar a temperatura presente no material, já na técnica ativa realiza o aquecimento ou resfriamento artificial da estrutura. E quanto maior for a profundidade do problema, maior será a mudança de temperatura observada. Sendo que, abaixo de 10 cm de profundidade, só são perceptíveis passada mais de uma hora da alteração de temperatura.

A Figura 21 mostra o aparelho de Termografia infravermelha utilizado para ensaios.

Figura 21: Aparelho de Termografia infravermelha.



Fonte: Engracon.

6.1.7 Pacometria

Utiliza-se este ensaio para determinar a localização ou condição das armaduras no concreto. Também consegue verificar o diâmetro e o comprimento. Isso acontece devido a um campo magnético criado, com a perturbação do aço, por um sistema de bobinas dentro do aparelho. Abaixo segue a Figura 22 do aparelho de Pacometria.

Figura 22: Aparelho de Pacometria.



Fonte: Engracon.

6.2 Ensaios destrutivos

Os ensaios destrutivos são aqueles que provocam algum sinal no elemento em estudo ou corpo de prova submetido ao ensaio.

Os tipos de ensaios destrutivos são: Tração, compressão, cisalhamento, dobramento, flexão, embutimento, torção, dureza, fluência, fadiga e impacto.

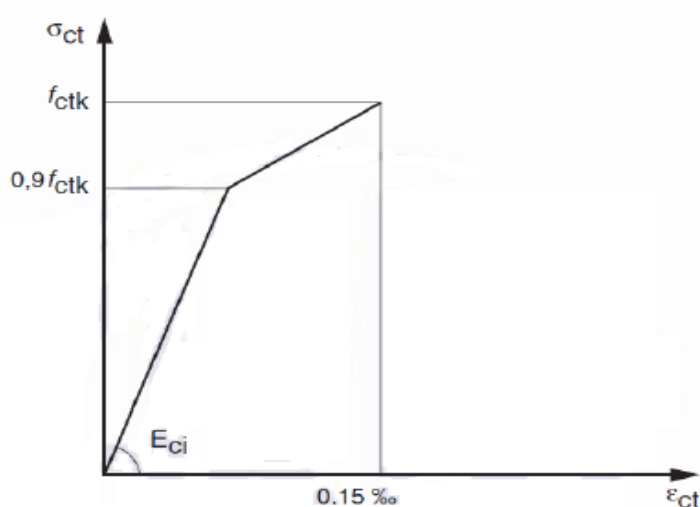
6.2.1 Ensaio de Tração

Consiste em submeter o material a um esforço axial que tende a alongá-lo até a ruptura. Este ensaio permite observar como os materiais, no caso, o concreto, consegue reagir ao esforço, quais os limites que suportam e a partir de que momento se rompem. A força aplicada e a deformação obtida são registradas e analisadas através de um diagrama Tensão x Deformação.

As propriedades avaliadas (Figura 23) em um ensaio de tração são:

- a) Alongamento: Deformação de um corpo de prova (aumento do seu comprimento com diminuição da área da seção transversal) devido a aplicação de uma força axial.
- b) Estricção: Quando ocorre uma redução percentual da área da seção transversal onde se localiza a ruptura. Quanto maior for a estricção, maior será a ductibilidade do material.
- c) Deformação elástica: Quando a deformação não é permanente, ou seja, depois de cessado os esforços, o material volta à forma original.
- d) Deformação plástica: A deformação plástica é permanente, depois de cessado os esforços o material não consegue voltar à sua forma original.
- e) Limite de Proporcionalidade: Quando as deformações são diretamente proporcionais às tensões aplicadas.
- f) Limite Elástico: Tensão limite para a qual o material deixa de comportar de forma elástica.

Figura 23: Ensaio de tração



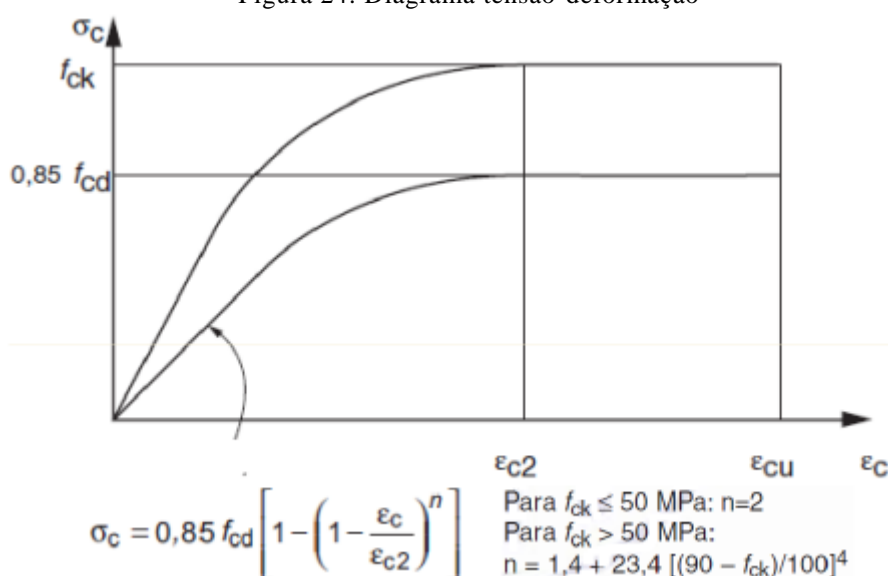
Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.27).

6.2.2 Ensaio de Compressão

Este ensaio (conforme o Figura 24) apresenta-se de forma contrária ao ensaio de tração. Neste, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro da sua estrutura, distribuída uniformemente por toda seção transversal.

Pode ser realizado utilizando a mesma máquina do ensaio de tração (máquina universal de ensaios), com a adaptação das placas lisas, fixa e móvel, que apoiam o corpo de prova.

Figura 24: Diagrama tensão-deformação



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.27).

De acordo com a ABNT NBR 6118, 2014, p.26, tem-se que os valores a serem adotados para os parâmetros (deformação específica do encurtamento do concreto no início do patamar plástico) e (deformação específica do encurtamento do concreto na ruptura) são definidos a seguir, como na Figura 25:

- para concretos de classe até C50:

$$\epsilon_{c2} = 2,0\%$$

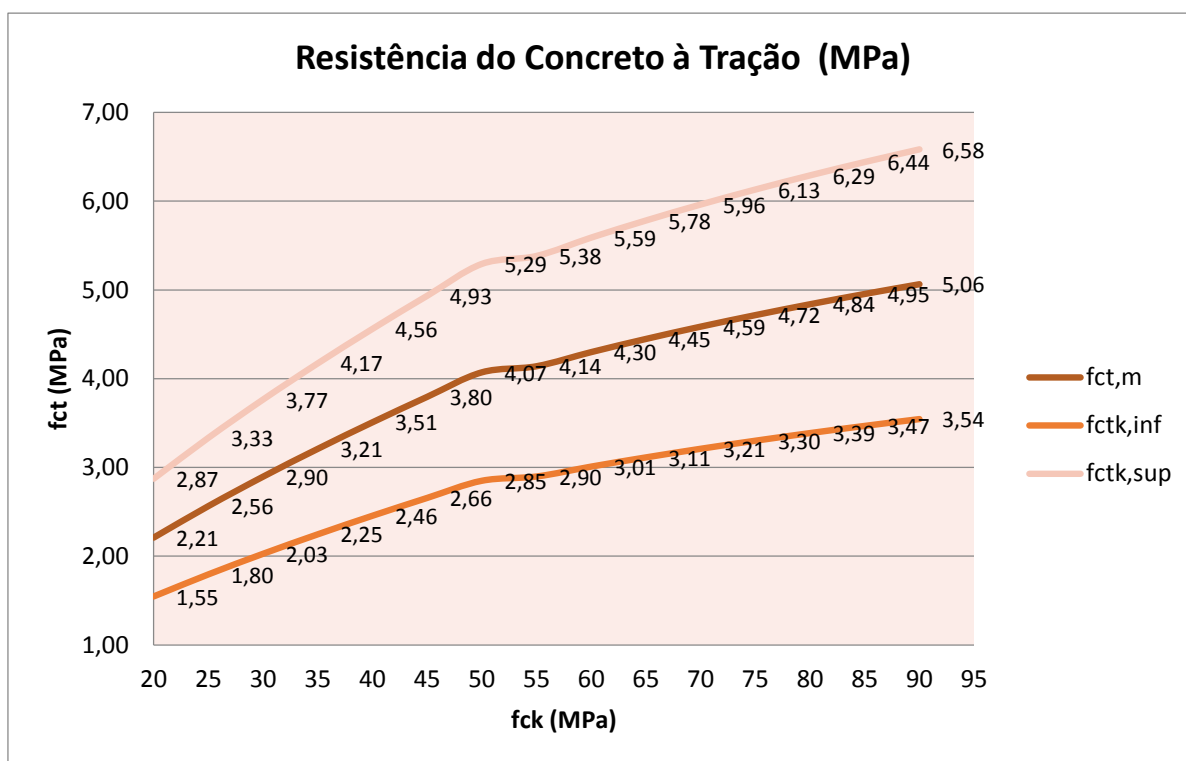
$$\epsilon_{cu} = 3,5\%$$

- para concretos de classe até C55 a C90:

$$\epsilon_{c2} = 2,0\% + 0,085\% \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53}$$

$$\epsilon_{cu} = 2,6\% + 3,5\% \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4$$

Figura 25: Resistência do concreto à tração (MPa)



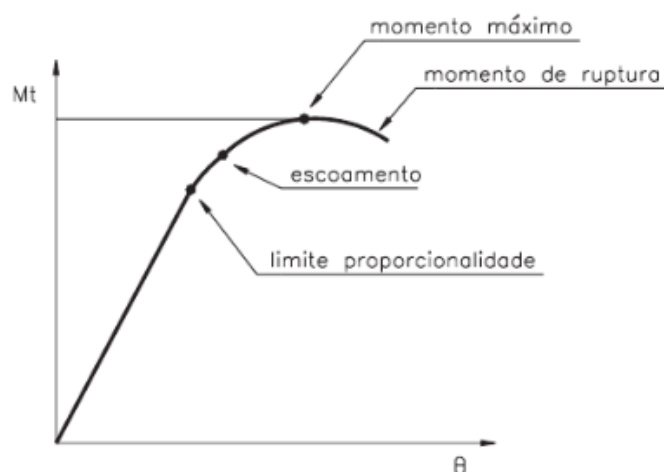
Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.27).

6.2.3 Ensaio de Torção

Neste ensaio os esforços são aplicados no sentido longitudinal ou transversal, no sentido de rotação.

A partir do momento torsor e do ângulo de torção pode-se elaborar um gráfico (Figura 26) que permite analisar as propriedades do corpo de prova, ou seja, o momento máximo, o momento de ruptura, escoamento do material e o limite de proporcionalidade.

Figura 26: Propriedades avaliadas em um ensaio de torção.



Fonte: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

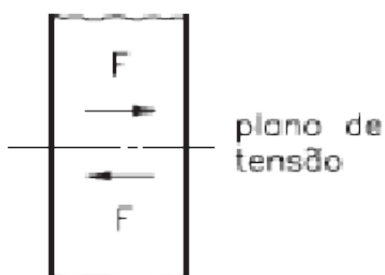
Estas propriedades também são determinadas no ensaio de tração e têm a mesma importância. É necessário levar em conta que o máximo torque que deve ser aplicado a um eixo tem que ser inferior ao momento torsor no limite de proporcionalidade. E este ensaio é realizado em máquina específica.

6.2.4 Ensaio de Cisalhamento

Todo material apresenta certa resistência ao cisalhamento. E saber até onde vai esta resistência é muito importante, para analisar especificamente cada elemento e suas propriedades.

A execução do ensaio, consiste na aplicação de uma força na direção perpendicular ao eixo longitudinal. Esta força cortante, aplicada no plano da seção transversal (plano de tensão) conforme a Figura 27, provoca o cisalhamento do corpo de prova.

Figura 27: Plano de tensão da região cisalhada.



Fonte: Ferramenta de corte dobra e repuxo- UFRJ.

Depois de ensaiado o material desenvolve em cada um dos pontos de sua seção transversal uma reação chamada resistência ao cisalhamento (Figura 28). Este ensaio também é realizado na máquina universal, apenas com adaptação de alguns dispositivos para encaixe do corpo de prova.

Figura 28: Plano de tensão da região cisalhada.



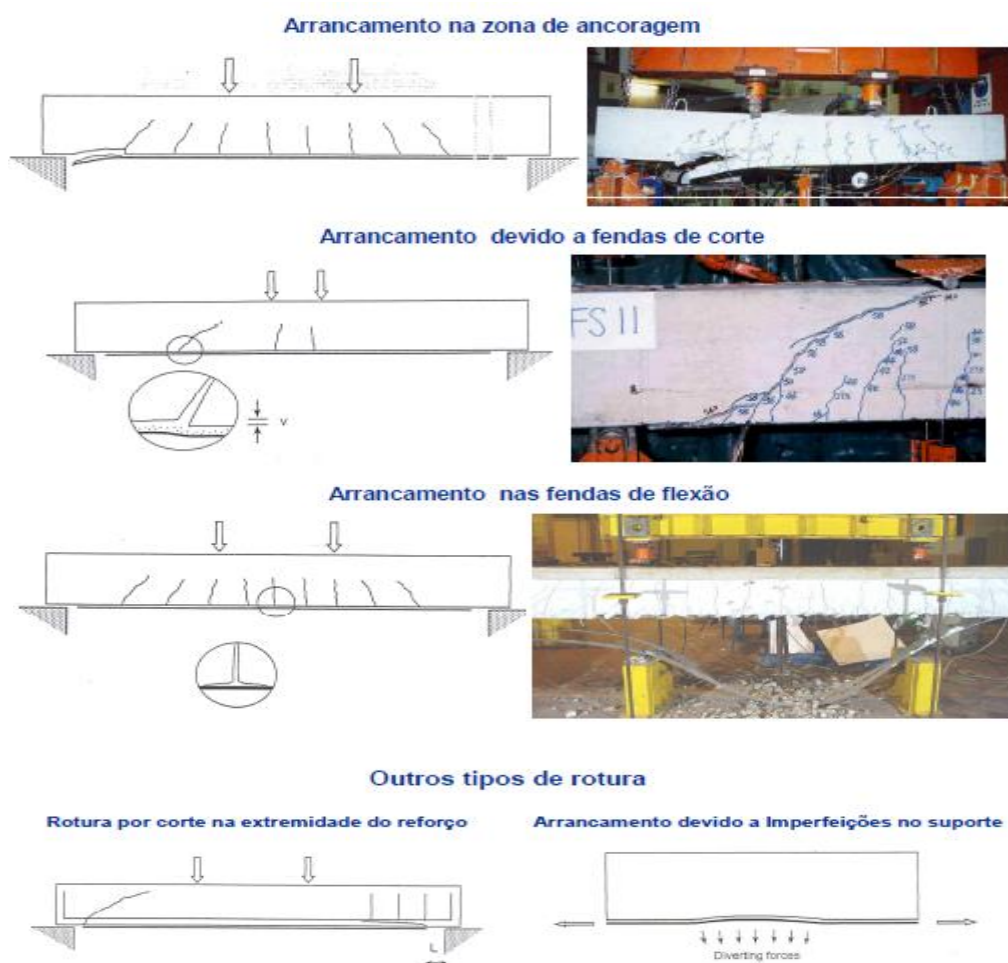
Fonte: Engracon.

6.2.5 Ensaio de Flexão

É realizado tanto em materiais frágeis quanto materiais resistentes, como o ferro fundido, alguns aços, estruturas de concreto, entre outros.

O ensaio consiste em dobrar um corpo de prova de seção circular (maciça ou tubular), retangular ou quadrada, no seu eixo retilíneo assentado em dois apoios afastados a uma distância especificada (conforme a Figura 29), de acordo com o tamanho do corpo de prova por meio de um cutelo, que aplica um esforço perpendicular no eixo, até que seja atingido um ângulo desejado determinando a severidade do ensaio que é geralmente de 90, 120 ou 180°. Além disso coloca-se também um extensômetro no centro e embaixo do corpo de prova para fornecer a medida da deformação, ou seja, à flecha, sendo correspondente à posição de flexão máxima.

Figura 29: Ensaio de Flexão.



Fonte: Engracon.

Algumas propriedades avaliadas pelo ensaio de flexão é a tensão de flexão, momento de inércia da seção transversal e módulo de resistência da seção transversal. Sendo que este ensaio também auxilia no ensaio de fadiga.

6.2.6 Ensaio de Testemunho

Este ensaio pode ser realizado por diversas razões, como verificar a qualidade da concretagem, determinar a altura do piso etc. Mas a principal delas é determinar a resistência do concreto, quer seja porque os ensaios de controle ficaram não conformes, ou porque há faltas de registro de um piso antigo e que agora terá nova função ou carregamento.

É preciso empregar broca rotativa ou oscilante, refrigerada a água, sem uso de percussão (marteleto). O diâmetro do exemplar deve ser de 15 cm, exceto quando isso

não for exequível, porém nunca menor que três vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

A ABNT NBR 7680-1/2015 Análise de Testemunho em Estruturas de Concreto prescreve, em todas as suas partes, os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

7. PRINCIPAIS OBJETIVOS DO REFORÇO ESTRUTURAL

O reforço estrutural é recomendado para estruturas que apresentam áreas de manifestações patológicas. Sua finalidade é restabelecer a integridade física do elemento, buscando restituir suas características mecânicas originais e reestabelecer as condições de uso, além de prolongar a vida útil.

Nas grandes estruturas em concreto, na maioria dos casos, o concreto é, o principal elemento, ou seja, em maior quantidade, portanto, o reforço deve ser prontamente realizado para que a estrutura volte à estar em perfeitas condições, como foi projetada. Basicamente as etapas de reforço de estrutura em concreto, são:

- a) Diagnosticar o problema;
- b) Definir as técnicas de reforço;
- c) Preparar a área para recuperação;
- d) Aplicar as técnicas de recuperação mais adequadas, de acordo com cada caso.

Para cada tipo e gravidade de problema, há pelo menos uma técnica a ser empregada no conserto, devido à altas tecnologias encontradas no mercado.

Mas, vale salientar que, para toda e qualquer recuperação adotada, inicialmente deve-se fazer a limpeza do substrato e conseqüentemente a retirada dos resíduos retidos, pois estes podem prejudicar a aderência dos produtos de reforço estrutural que estão para serem aplicados. Segundo o manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit), os principais cuidados são:

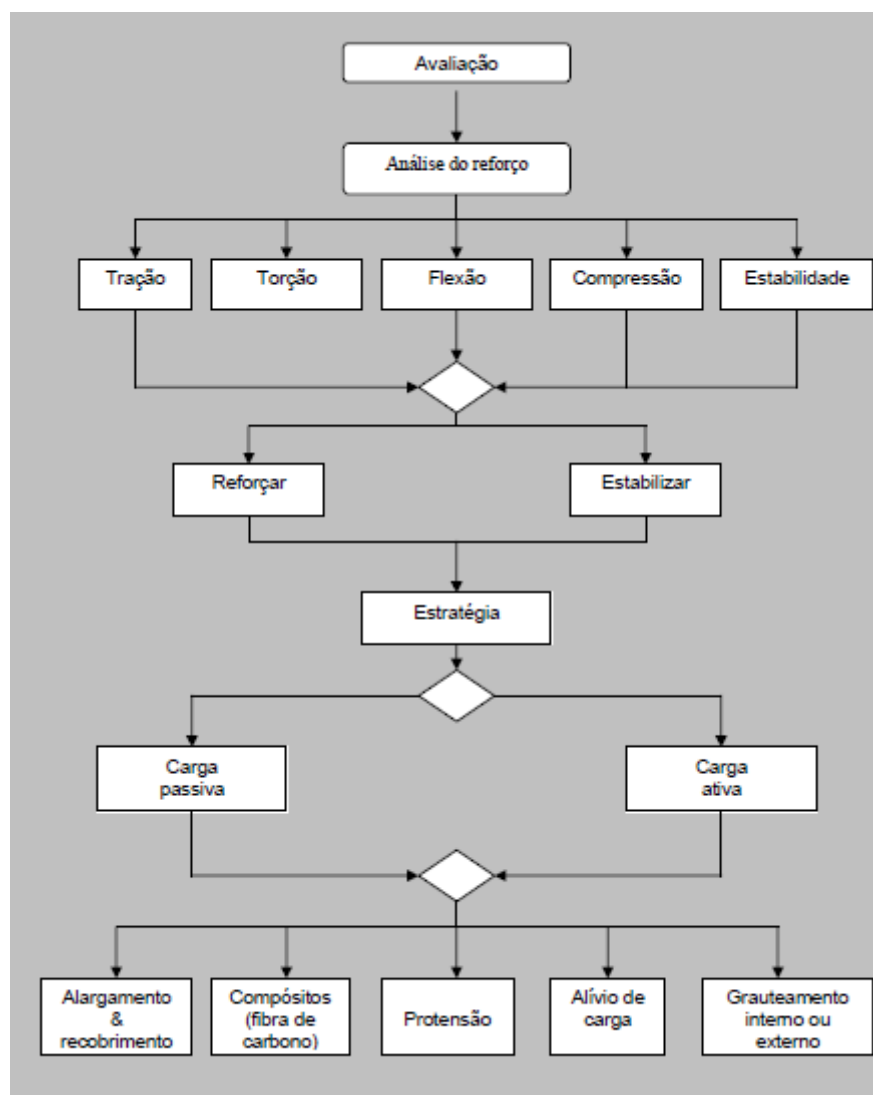
- a) Após verificar a estabilidade do elemento estrutural, ou ter certeza de que a obra não será prejudicada, deve-se iniciar a remoção das partes de concreto danificada.
- b) Quando a parte retirada de concreto é inferior ao cobrimento da armadura, é chamada de camada superficial. Agora, quando é removida uma camada mais profunda ultrapassando o cobrimento da armadura e a própria armadura, é chamada de remoção profunda.

- c) Dependendo da localização, extensão e espessura da camada a ser retirada, pode ser utilizado meios mecânicos, térmicos ou químicos.
- d) Meios mecânicos são os mais utilizados, sendo também os mais comuns, como a utilização de ponteiros, cinzéis, rompedores, ou a remoção por jato de areia, ar ou água em alta pressão.
- e) A limpeza pode ser feita com jato de ar comprimido.
- f) Em todos os métodos mecânicos deve-se controlar barulho, poeira e vibração.
- g) Depois de ser removido todas as parte do concreto com patologia, a superfície remanescente deve ser sadia e áspera o bastante para garantir a aderência com o novo concreto, argamassa, micro concreto etc.

7.1 Procedimentos de reforço estrutural

Quando a estrutura, ou parte dela apresenta comportamento inesperado pode ser possível modifica-la utilizando várias técnicas de estabilização e reforço. Por isso são apresentados um cronograma (Figura 30) de etapas para averiguação de cada particularidade sofrida pelas estruturas que necessitam de reforços.


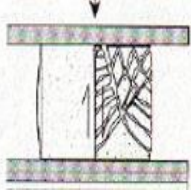
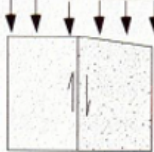
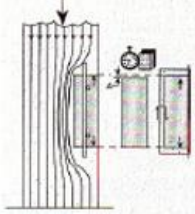
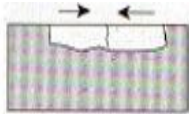
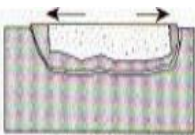
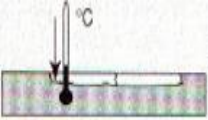

Figura 30: Etapas para averiguação de cada particularidade sofrida pelas estruturas que necessitam de reforços.









Fonte: Peter H Emmons.

As tabelas a baixo (Tabela 9) mostra detalhadamente as principais propriedades exigidas dos materiais de reparo e auxilia na escolha dos mais adequados meios para o reforço.

Tabela 9: Principais propriedades exigidas dos materiais de reparo e auxiliando na escolha dos mais adequados meios para o reforço.

Exigências no suporte de cargas				
Requisitos de desempenho	Falhas no desempenho do reparo		Exigências de desempenho	Evitar
Aderência		Perda de aderência delaminação	Resistência de aderência. Tensão interna baixa.	Elevada retração. Módulo de elasticidade muito diferente da estrutura.
Aplicação de ações		Aplicação de carga antecipada	Equalizar o módulo de elasticidade do material de reparo e do concreto estrutural.	Baixo ou alto módulo de elasticidade, comparado com o do concreto estrutural
		Deformação lenta do reparo	Material de reparo com baixa deformação lenta.	Material com alta deformação lenta.
		Retração de secagem do material de reparo, reduzindo sua capacidade de suportar cargas	Equalizar o módulo de elasticidade do material de reparo e do concreto estrutural.	Material de reparo com retração de secagem.
Variação de temperatura		Retração causando trinca no material de reparo	Equalização do coeficiente de expansão térmica	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato
		Compressão do substrato, causando delaminação	Equalização do coeficiente de expansão térmica	Material com coeficiente de expansão térmica diferente do substrato
Mudança da temperatura do reparo durante a execução		Retração do reparo, causando trinca	Baixa exotermia durante a execução e cura	Alta isotermia durante a execução e cura
Gases atmosféricos	Condições de umidade 	Corrosão do aço desintegrando o concreto de proteção	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras	Alta permeabilidade ou fissuras no material de reparo.

Contato químico		Corrosão do aço	Baixa permeabilidade do substrato, sem fissuras	Alta permeabilidade ou fissuras no material de reparo.
		Desintegração do concreto	Resistente à ataques químicos	Material com baixa resistência química.
Exposição ao ultra violeta do sol		Mudança das características do material de reparo	Elevada resistência ao U.V do sol	Baixa resistência do U.V do sol
Condições climáticas		Gelo e degelo/ desintegração do concreto	Baixa permeabilidade	Elevada permeabilidade e do material
		Expansão e retração, causando trincas	Baixa permeabilidade e expansão e retração por umidade	Elevada permeabilidade e ou expansão e retração so material devido a umidade
Movimento de líquidos			Elevada: Densidade/ Compressão/ Tensão	Baixa: Densidade/Co mpressão/Tens ão
Movimento de líquidos e sólidos em suspensão				
Rodas de Veículos		Abrasão- dano na superfície	Alta densidade e resistência à compressão e abrasão	Baixa densidade resistência à compressão e à abrasão
Impacto		Bordas das juntas	Alta resistência à compressão, tração e aderência ao substrato.	Baixa resistência à compressão e aderência
		Juntas	Alta resistência à tração e elevada coesão	Baixa resistência à tração
			Alta resistência à compressão	Baixa resistência à compressão
			Baixo modulo de elasticidade	Alto módulo de elasticidade
Perda de aderência	Alta aderência e ancoragem ao substrato	Baixa aderência		

Fonte: Peter H Emmons.

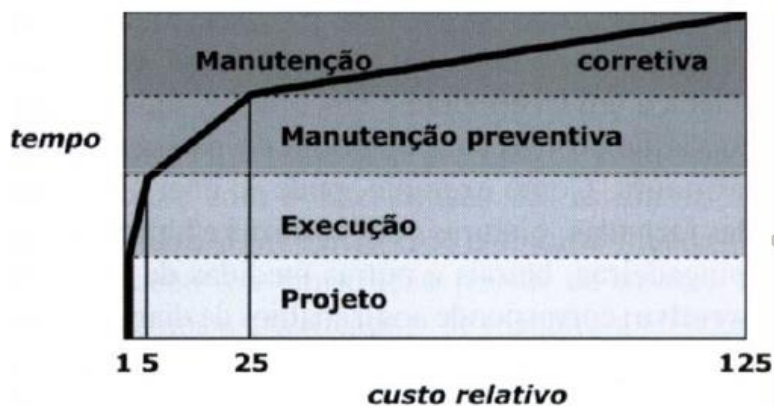
7.1.1 Prolongar a vida útil

Assim como o conceito de durabilidade, a vida útil também trata-se de uma visão global da obra, ou seja, deve ser resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo, desde a concepção, passando pelo planejamento, projeto, materiais e componentes, até a execução correta e principalmente durante a ocupação da estrutura, pois é nesta etapa que serão feitas as operações de vistoria, monitoramento e manutenção preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil, como já abordado em tópicos anteriores neste trabalho.

Como mencionado anteriormente, para Helene (1997) os custos de intervenção na estrutura, para atingir um certo nível de durabilidade e proteção e conseqüentemente aumentar a vida útil, crescem exponencialmente como uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5” ou regra de Sitter, representada na Figura 31, que representa a evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção seja feita. O significado da regra de Sitter, pode ser exposto, conforme a intervenção ocorra na:

- a) Fase do projeto: onde todas as medida tomada à nível de projeto tem o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura implicando em custos que podem ser associados como número 1;
- b) Fase de execução: medidas que são tomadas na fase de execução, ou seja, aquelas que não constam nos projetos, são extra projetos. Estas implicam em um custo ainda mais elevado sendo cerca de cinco vezes mais ao custo de projeto, para obter-se o mesmo resultado final de durabilidade.
- c) Fase de manutenção preventiva: esta fase pode custar durante a vida útil da estrutura até 25 vezes mais que as medidas corretas tomadas em fase de projeto estrutural ou arquitetônico. Podendo ser cinco vezes mais econômicas que aguardar a manutenção corretiva.
- d) Fase de manutenção corretiva: as medidas para reforço e proteção da estrutura podem associar-se a um custo 125 vezes maior que aquelas realizadas em fase de projeto, com a mesma finalidade.

Figura 31: Progressão geométrica na razão de 5.



Fonte: Peter H Emmons.

Segundo John 2001, a norma ISO 15686-2:2001 apresenta métodos para previsão de vida útil de edifícios e seus componentes, submetidos a diversas condições de exposição.

Este termo de previsão pode referir-se a um dos quatro métodos ou a uma combinação entre eles, sendo:

- a) Aceleração da dimensão tempo (em exposições aceleradas de curta duração);
- b) Interpolação/extrapolação de dados obtidos em componentes semelhantes;
- c) Interpolação/extrapolação de dados coletados em condições de serviço semelhantes;
- d) Extrapolação na dimensão tempo (em exposições de curta duração nas condições de uso).

Todavia para aumentar a vida útil de estruturas em concreto, incluem o uso de diversas misturas inibidoras (como será mostrado adiante), possuindo sempre uma relação custo x benefício.

Para a tomada de decisões afim de aumentar a vida útil é preciso determinar uma série de dados. O conhecimento da capacidade resistente da estrutura a ser recuperada ou reforçada é de grande valia, como a determinação da profundidade e largura das fissuras, ou seja, para se obter o grau de capacidade que o elemento ainda conserva para transmitir os esforços. Nestes casos, os elementos sofrem alterações na rigidez dando lugar a novas distribuições na estrutura.

Cánovas 1988, sugeriu um método que consiste empregar um modelo de deterioração da rigidez com carga pré-fixada usando como comprovação a prova de carga.

E somente deve ser realizado quando indicar (através de cálculos), que o coeficiente de segurança é suficiente para não promover o colapso durante o ensaio.

Andrade (1992) e Cánovas (1988) indicam ainda, um procedimento o qual estabelece a resistência residual relativa, da estrutura, ou seja, a partir de uma definição prévia do nível de deterioração aceitável, baseando-se em modelos empíricos. A margem de segurança é definida através da relação entre as duas fórmulas:

$$m = \frac{R' - S'}{R'} \quad [1]$$

Onde: m = margem de segurança

R' = capacidade resistente residual atual da estrutura

S' = solicitação que a estrutura deveria resistir de acordo com a norma nacional

$$v = \frac{R'}{S'} \quad [2]$$

Sendo v = relação de capacidade.

De acordo com Cánovas 1988, a relação da capacidade é aquela existente entre a resistência atual e a ação x efeito a que esse sistema deve resistir de acordo com as normas.

7.1.2 Nova utilização da estrutura

A prova de carga é um dos testes mais eficientes para verificar a segurança de uma estrutura já concluída. É recomendado quando existem dúvidas quanto à estabilidade de uma estrutura, devido a diversos fatores, como a qualidade dos materiais de construção, utilização ou manutenção inadequada ou até mesmo uma nova utilização da edificação, diferente da prevista inicialmente no projeto.

Os requisitos mínimos esperados de uma estrutura em concreto é: segurança funcionalidade, aptidão em serviço e os aspectos estéticos; exigido em função das ações e influências ambientais que venham a atuar durante toda sua vida útil.

Conforme Plewes e Schousboe (1967), duas alternativas podem ser empregadas na avaliação de uma estrutura existente: o método analítico ou o método experimental.

De acordo com Doebelin (1990) o método analítico é feito através de hipóteses matemáticas, simulando um problema real com modelagem numérica. Devido a tecnologia presente nos dias atuais, os computadores permitem uma simulação cada vez mais próxima da realidade, o que não era possível no passado.

Já em relação aos métodos experimentais, Doebelin (1990) revela o comportamento real das estruturas sob a carga, através do ensaio de prova de carga.

Porém, as fases de execução dos testes, coleta de dados e aferição dos equipamentos devem ser precisas.

O processo de desenvolvimento histórico em relação ao estudo de prova de carga vem de grandes obras há milhares de anos. Mas não há registros documentais dos critérios de avaliação dos materiais utilizados. No século XV Leonardo da Vinci, foi quem documentou o primeiro teste de carregamento com a finalidade de avaliar o comportamento estrutural de uma edificação. Depois diversos estudiosos colaboraram com este estudo, como Galileo Galilei (1564-1642), que realizou diversos testes de carregamentos com o intuito de analisar as tensões que atuavam sobre elas.

A Tabela 10, de Hall e Tsai (1989), relata um histórico dos testes de carregamento, destacando às práticas de engenharia empregada e a relação com os resultados obtidos previstos pelos procedimentos analíticos de dimensionamento.

Tabela 10: Histórico de testes de carregamento.

Período	Práticas de engenharia empregada	Teste de carregamento x cálculo
Antiguidade	Uma arte passada através de experiência de construção para construção	Intuição, erros e acertos / Testes de carregamento e procedimentos de dimensionamento quase inexistentes.
Renascimento	Primeiras tentativas de padronização de testes e procedimentos de dimensionamento (compressão, tração, flexão)	Teste de carregamento, utilizados para calibrar modelos teóricos de resistência
Século XIX	Manuais que davam pequenas informações sobre a resistência dos materiais (elevados coeficientes de incerteza)	Torna-se usual o emprego de procedimentos- padrão para testes de carregamento, principalmente destinados à caracterização de materiais.
Início do século XX	Primeiros equipamentos de ensaios para caracterização de materiais (Irmãos Wright e indústria automobilística) / Primeiros códigos de normalização (ASTM).	Grandes incrementos na utilização de testes de carregamento em elementos estruturais e estruturas. / Grande desenvolvimento de procedimentos analíticos de dimensionamento.
Tempos atuais	Uma ciência baseada em normalizações de comportamento resistente de materiais e procedimentos de dimensionamento	Estruturas tipicamente projetadas mediante procedimentos analíticos padronizados. / Testes de carregamento especificados e padronizados.

Fonte: Hall e Tsai (1989),

De acordo com a ABNT NBR-9607 (1986), prova de carga é definida como sendo um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

Existem dois tipos de prova de carga: estática, que consiste na observação do comportamento da estrutura sob uma carga imóvel, e o teste com prova de carga dinâmica, que consiste, na vibração da estrutura e na análise sobre comportamento quando vibrada.

O ensaio envolve a análise da resposta da estrutura, tanto em concreto armado, como protendido, quando estas estão sob a influência das cargas e interpretação dos resultados através de deformações e deslocamentos.

Cánovas (1988) salienta que uma prova de carga pode ser realizada em elementos que se deformam mediante a aplicação de carga, como vigas, lajes e outros elementos fletidos, mas não são recomendados a pilares que trabalham à compressão ou vigas submetidas a esforços cortantes, devido a uma possível ruptura sem aviso, quando carregados.

Os elementos que são utilizados nos testes como prova de carga pode ser bolsas de água, sacos de areia, sacos de cimento, reservatórios confeccionados com lonas plásticas e preenchidos com água e, no caso de pontes, caminhões, locomotivas, agregados graúdos ou por meios mecânicos, como macacos hidráulicos.

Conforme Veneziano (1978), os procedimentos de testes variam de acordo com o país que está sendo realizado, a variação está no tipo e localização das cargas, tempo de duração, ciclos de carregamentos, instrumentação, valores a serem medidos e intensidade do carregamento.

A norma brasileira, ABNT NBR 9607 (1986), menciona como o valor da carga de teste, o "fator de carregamento", tem por finalidade indicar o nível de solicitação a que deve estar submetida uma seção ou ponto da estrutura durante uma prova de carga. O fator de carregamento Ψ é expresso por:

$$\Psi = \frac{F_e}{F_d} \quad [3]$$

Onde:

F_e = é o esforço solicitante teórico devido ao carregamento de prova de carga;

F_d = é o esforço solicitante teórico devido ao carregamento de projeto.

Existem mais dois parâmetros estabelecidos pela norma (ABNT NBR 9607/1986 - Provas de cargas em estruturas de concreto armado e protendido), a "eficiência do carregamento" e o "fator de segurança do ensaio". A eficiência do carregamento é o menor valor obtido para o fator de carregamento e o fator de segurança do ensaio, F_s , é o menor valor obtido para as relações entre os esforços resistentes (F_u) e os esforços solicitantes (F_e), ocasionados pelo carregamento de prova. F_s é expresso pela fórmula:

$$F_s = \frac{F_u}{F_e} \quad [4]$$

A ABNT NBR 9607 (1986) ainda apresenta uma Tabela 11 que classifica os ensaios de provas de carga em três categorias estabelecendo os fatores de eficiência do carregamento em função do tipo e emprego do ensaio de prova de carga.

Tabela 11: Classificação das provas de carga.

Ensaio	Eficiência do Carregamento	Emprego
Básicos	$0,5 < \psi \leq 1,0$	- Recuperação de estruturas em condições normais de projeto e construção. - Estudo do comportamento da estrutura.
Rigorosos	$1,0 < \psi \leq 1,1$	- Dimensões, quantidades e/ou propriedades dos materiais não atendem aos requisitos de projeto. - Desconhecimento do projeto e/ou das condições construtivas. - Alteração das condições de utilização previstas para a estrutura. - Após acidentes ou anomalias observadas durante a execução ou vida útil de uma estrutura.
Excepcionais	$\psi > 1,1$ (A)	- Passagem de carga excepcionais. - Fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em partes da estruturas.

(A) O coeficiente de segurança do ensaio em relação ao estado - limite último de estrutura deve ser superior a 1,4, salvo nas condições de se ter objetivo de levar a estrutura à ruptura.

Fonte: ABNT NBR 9607/1986.

Ainda referente a ABNT NBR 9607 (1986), existem alguns critérios que estabelecem a aceitação conforme a comprovação do comportamento esperado em projeto. Para isso devem ser analisados, na memória de cálculo, aspectos como: critérios de projeto, normas utilizadas, materiais especificados, carregamentos de projeto, coeficientes de segurança e relações entre as quantidades de materiais resultantes do dimensionamento e as existentes na estrutura. Já em condições excepcionais, quando os registros técnicos não são conhecidos ou são insuficientes, os procedimentos para

investigações sobre as estruturas devem ser desenvolvidas através de inspeções à obra e também em consultas devendo ser avaliados os seguintes aspectos:

- a) Características geométricas: execução de plantas "como construído", das fôrmas, vinculações, juntas, etc.
- b) Utilização prevista originalmente para a estrutura: sua finalidade original ou classe de rodovia ou ferrovia para a qual foi projetada.
- c) Condições de solicitações a que a estrutura já foi submetida: intensidade e frequência das cargas atuantes.
- d) Idade da estrutura.
- e) Normas vigentes por ocasião de sua execução: hipóteses de cálculo, materiais disponíveis e coeficientes de segurança prescritos.
- f) Análise de obras similares construídas na mesma época.

Por isso, estes testes de carga são mais indicados quando há dúvidas sobre o comportamento estrutural, em decorrência de várias ações, como a degradação das estruturas de concreto, devido ao envelhecimento e/ou por razões associadas à mudança de uso inicialmente previsto.

7.2 Materiais utilizados em reforços

7.2.1 Elementos metálicos

7.2.1.1 Armaduras de complementação

A utilização de reforço por meio de armaduras de complementação servem para aumentar a área de resistência à tração na estrutura, logo após o termino da obra, é decorrente de duas situações principais:

- e) Deterioração de armaduras pré-existentes devido à sua corrosão;
- f) Necessidade de aumentar a capacidade resistente da peça.

Segundo Souza e Ripper (1998), quando a área de aço existente for inferior a 85% da área de aço do projeto inicial, admite-se a necessidade de um reforço, ou seja, quando 15% da área de aço já tiver sido oxidadas. Esses valores podem ser levados em consideração quando analisados para efeitos locais (barras isoladas) ou efeitos globais (várias barras em uma região).

Para a utilização desta técnica é necessário alguns cuidados com relação ao projeto e a execução. O projeto precisa ser bem detalhado, com indicações de cobrimento,

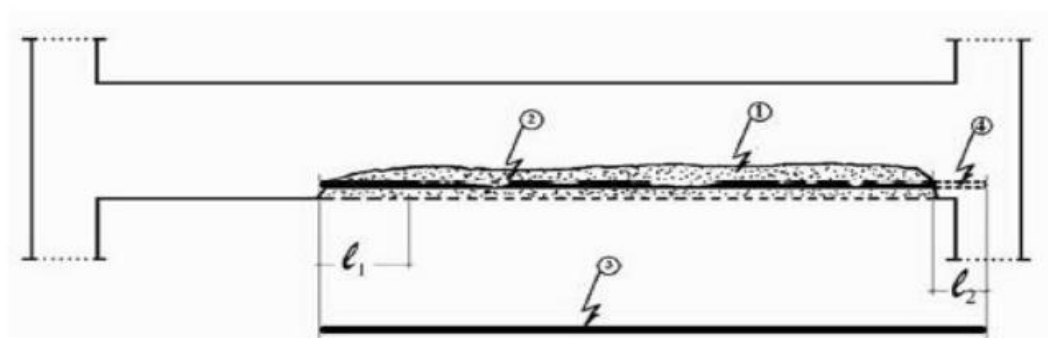
espaçamento entre barras, sistemas de ancoragem e emendas, ângulos de dobragem e curvaturas, todos claramente especificados. Já na execução, deve-se tomar cuidado com a limpeza das barras, com a ancoragem, remoção das áreas contaminadas, entre outros.

Quando os comprimentos são insuficientes, é comum fazer emendas, apesar de serem de difícil execução, são necessárias, já que se tratam de casos de recuperação e reforço de estruturas.

Existem diversas formas de realizar emendas, cada uma com suas vantagens e desvantagens. A mais recomendada é o transpasse, pois aquelas realizadas por soldas, não são tão eficiente.

Para o perfeito funcionamento do reforço a ancoragem das barras é fundamental, pois esta técnica visa a furação do concreto. Como na Figura 32.

Figura 32: Furação de concreto para ancoragem.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Explicando a Figura 32 acima, foi realizado um corte (4) para complementação da armadura insuficiente e, com essa nova barra (3), surge a necessidade de ancorá-la. O corte é prolongado na área esquerda (L1), para facilitar o transpasse/ancoragem. Já no lado direito observa-se um espaço insuficiente (L2) devido à presença do pilar. Por isso, há a necessidade de se fazer uma furação no pilar para ancorar a barra.

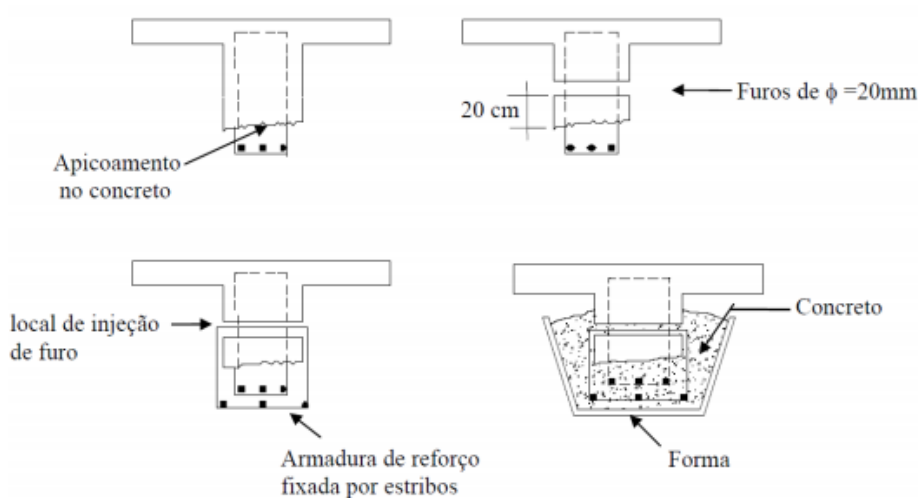
Depois de ser realizado o furo, a área da cavidade interna deve ser limpa e seca para posteriormente ser injetado o material de enchimento, evitando a penetração do ar. Logo depois, esses furos podem ser preenchidos por graute ou resina epoxídica.

Em casos de compressão, como é o caso de pilares e fundações, é necessário a realização de furos (furação) com diâmetro superior ao dobro do diâmetro da barra e com folga mínima de um centímetro e a utilização de graute para preenchimento. O comprimento de ancoragem é ligeiramente inferior ao tradicional, podendo-se adotar 0,4 (Lb).

Deve-se ressaltar que para a realização dessa técnica é necessário equipe especializada, bem como um engenheiro capacitado para supervisionar os procedimentos deste tipo de reforço, sendo que a perfeita ancoragem só será garantida com o cumprimento de todas as etapas.

Na Figura 33 são apresentados mais casos de furação para ancoragem de armaduras complementares. De acordo com Souza e Ripper (1998), em todos os casos devem ser realizados ensaios de arrancamento, reproduzindo a real situação da obra, para garantia da ancoragem. A Figura 34 ilustra um caso real da utilização desta técnica.

Figura 33: Reforço de viga com nova armadura atada à mesma.



Fonte: CÁNOVAS, 1998 apud REIS, 1998.

Figura 34: Armadura de complementação.



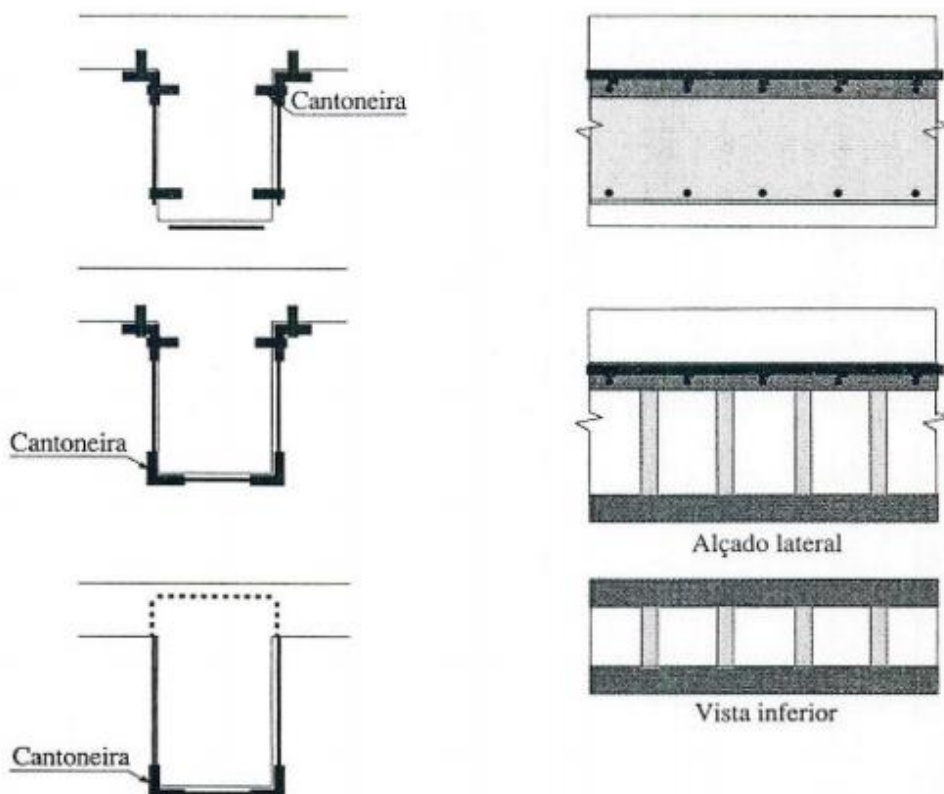
Fonte: Techniques.

7.2.1.2 Chapas metálicas

A técnica de colagem de chapas metálicas é consagrada devido à grande quantidade de obras que foram realizadas e que atestam a eficiência (procedimento utilizado no estudo de caso que será apresentado adiante). Essa medida é rápida e permite pouca alteração na geometria das peças.

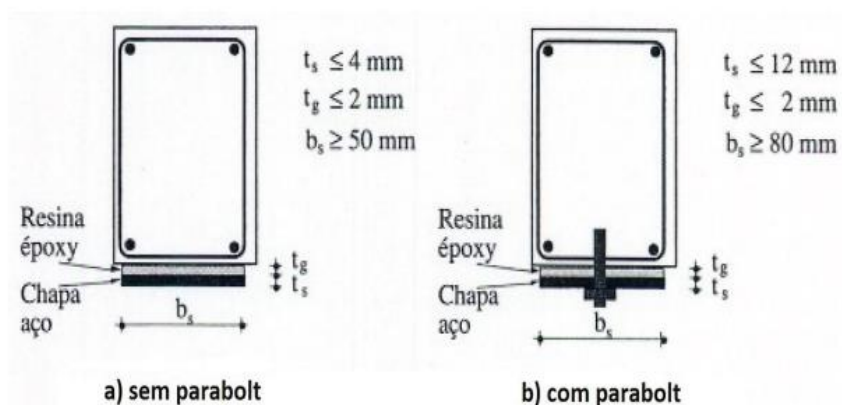
Segundo Appleton e Gomes (1997), os reforços com aplicação de chapas são posicionados através de parabolt (Figura 35, 36, 37) de alta resistência, introduzidos em furos executados na superfície já previamente preparada. É feita a selagem no entorno da chapa com adesivo epóxi, deixando-se pequenos “tubos” de diâmetros para a saída do ar e injeção do adesivo epóxi, entre o concreto e a chapa de aço.

Figura 35: Reforços ao cisalhamento.



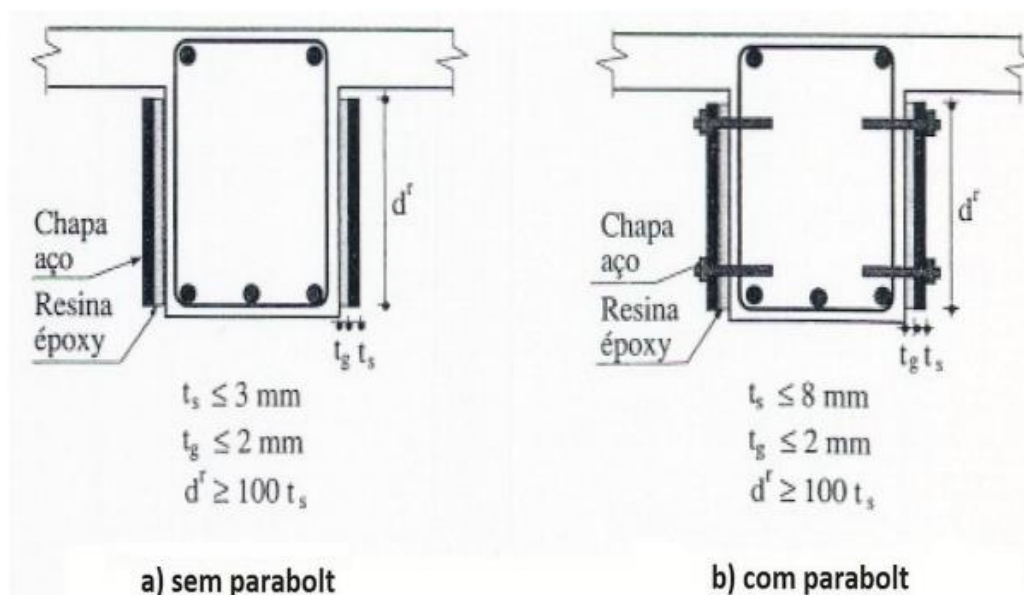
Fonte: APPLETON e GOMES, 1997.

Figura 36: Reforço à flexão.



Fonte: APPLETON e GOMES, 1997.

Figura 37: Reforço ao cisalhamento.



Fonte: APPLETON e GOMES, 1997.

Juvandes (2002) ainda salienta que as chapas e perfis de aço deverão ser protegidos contra a ação do fogo através de barreiras de proteção ou pinturas que garantam proteção de, no mínimo, 30 minutos.

Podem ser utilizadas chapas contínuas e chapas descontínuas. As contínuas demandam uma maior área de concreto a ser preparada do que as descontínuas.

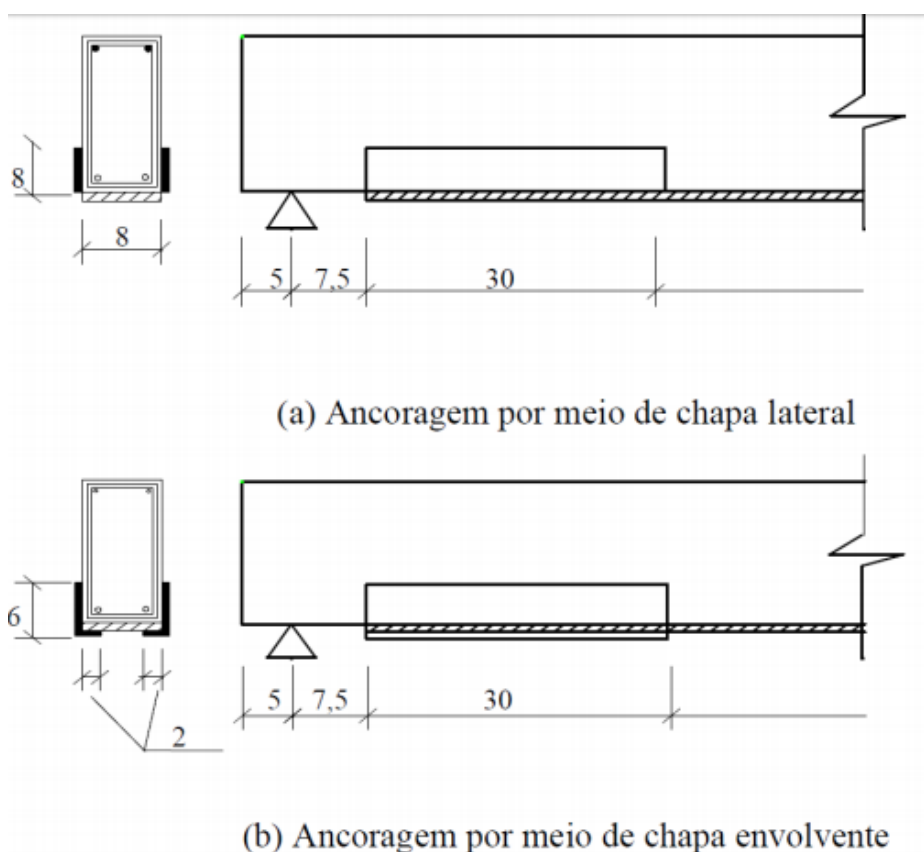
Appleton e Gomes (1997) indicam para as chapas contínuas a utilização de uma cantoneira fixada através de parabolte à face superior, e para chapas descontínuas, é recomendado que além da cantoneira superior (Figura 38, 39), sejam utilizadas cantoneiras na zona inferior, ligadas por barras, de modo a garantir amarração eficiente.

Figura 38: Chapas metálicas.



Fonte: Techniques.

Figura 39: Ancoragens estudadas por Campagnolo.



Fonte: Campagnolo, 1993 apud REIS, 1998.

Para o resultado desejado com o reforço, o conjunto deve funcionar perfeitamente, ou seja, a aderência entre os materiais, concreto, chapa e resina. Mas alguns cuidados devem ser tomados, como:

- a) Superfície do concreto:

Responsável pela aderência química entre as partes. Se essa superfície for muito rugosa, o acesso homogêneo de resina em toda a área será difícil. Criando assim, descontinuidades na cola e a formação de bolhas de ar localizadas, ocasionando o desprendimento da cola.

Por isso a superfície deve ser uniformemente rugosa. Recomenda-se que essa aspereza seja resultante de submissão de jatos de areia ou pela percussão de martelo de agulhas. Logo após isso, deve ser feito, a limpeza com jatos d'água sob pressão e a secagem por jatos de ar comprimido de modo que a superfície fique limpa e seca para aplicação da cola.

b) Resina epoxídica:

Essas resinas são feitas com a mistura e solidificação de polímeros fornecidos em dois componentes, resultando em uma cola com alta aderência entre o concreto e o aço.

Para que o processo de cálculo assegure e não haja rompimento de ligações ou da resina, deve-se tomar os devidos cuidados no dimensionamento. A ruptura deve ocorrer no concreto, independentemente da solicitação (flexão, cisalhamento, compressão, tração, etc.). Isso é garantido, quando se respeita uma espessura mínima da resina (em milímetros) e se utiliza nos cálculos a resistência à tração do concreto (pois a resistência à tração da resina é superior à resistência do concreto).

c) Chapa metálica:

A superfície do concreto e da chapa metálica, devem passar por um tratamento para potencializar a aderência na hora da ligação. Logo depois da limpeza, deve ser feita a decapagem com jato abrasivo. Em seguida, a chapa deve ser protegida com uma película autocolante apropriada para proteção durante o transporte, manuseamento e armazenagem, a qual deve ser retirada no momento da aplicação.

Elas são coladas na superfícies de concreto por meio de uma fina camada de resina. Ao aplicar, devem ser submetidas a pressões constantes para expulsar o excesso de cola e, simultaneamente, deve ser feito o escoramento das chapas até a resina estar completamente seca (Figura 40).

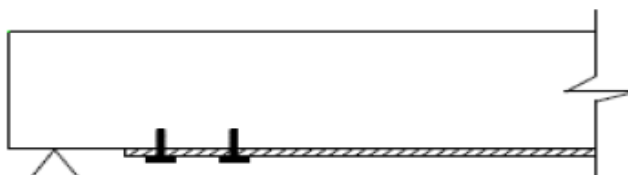
Figura 40: Escoramento do reforço.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Mesmo a resina tendo uma aderência química, é aconselhável o uso de um pino chumbador nas extremidades das chapas para obter uma contribuição mecânica na resistência como mostra na Figura 41.

Figura 41: Detalhe de chumbador.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

As chapas metálicas são dimensionadas para suportar o esforço adicional à estrutura. Para isso, devem ser tomado alguns cuidados em relação ao traspasse, pois nestas área pode ter a concentração de tensões, o que torna possível à ruptura nestes pontos. Sendo que o traspasse deve ser feito por solda e depois a colagem das chapas com a resina epóxi.

Esse sistema de reforço é vantajoso por ser de rápida execução, não apresentar ruídos ou vibrações durante sua execução, apresentar pouco acréscimo de seção e pouca interferência na estrutura. Com relação as desvantagens, tem-se o impedimento de visualização de futuras fissuras e deteriorações até a baixa resistência ao fogo em caso de incêndio (por causa da resina e da chapa).

7.2.1.3 Perfis metálicos

A utilização de perfis metálicos em reforço, se assemelha com o processo de utilização de chapas metálicas, em relação à preparação da superfície, tanto do concreto

como da superfície metálica. Mas, a diferença está na ligação, que neste caso é feita por chumbadores e o preenchimento do vazio entre o concreto e o perfil metálico pela cola, Figura 42.

Figura 42: Reforço com perfis metálicos.



Fonte: nucleofix.

7.2.2 Reforço com Fibra

O reforço com fibras poliméricas (PRF) ou de sigla internacional FRP “Fiber Reinforced Polymer”, são bastante empregados pois possuem uma elevada resistência à tração, baixo peso específico e resistência à corrosão e à fadiga.

Existem várias fibras comercializadas para o utilização de reforço estrutural, as principais são de carbono, vidro e a aramida, sendo que cada uma possui uma classes de resistência, módulo de elasticidade e características próprias quanto ao seu desempenho e conseqüentemente diferenças na faixa de preço. A Figura 43 mostra as formas gerais de reforço com PRF.

Figura 43: Formas gerais de reforço com PRF.



Fonte: JUVANDES, 2002.

A fibra de carbono é indicada se há exigência maior de resistência da estrutura sem o aumento de peso, pois trata-se de um sistema leve de alta resistência e grande flexibilidade de aplicação, Figuras 44 à 49. Possuindo como vantagens:

- a) Sistema eficiente, econômico e de rápida aplicação;
- b) Leve, não carrega a estrutura;
- c) Elevada resistência a tração;
- d) Resistência a flexão, cisalhamento compressão e impactos;
- e) Possui propriedades anti corrosivas;
- f) Grande flexibilidade de aplicação, uma vez que se molda as mais diversas formas;
- g) Ótima relação resistência / espessura;
- h) Controle da propagação de trincas.

Figura 44: Reforço de vigas e pilares com fibra de carbono.



Fonte: Techniques.

Figura 45: Reforço com Fibra de carbono – Parque Shopping Barueri –SP



Fonte: Pires | Giovanetti |Guardia.

Figura 46: Reforço com Fibra de carbono – Parque Shopping Barueri –SP



Fonte: Pires | Giovanetti |Guardia.

Figura 47: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT.



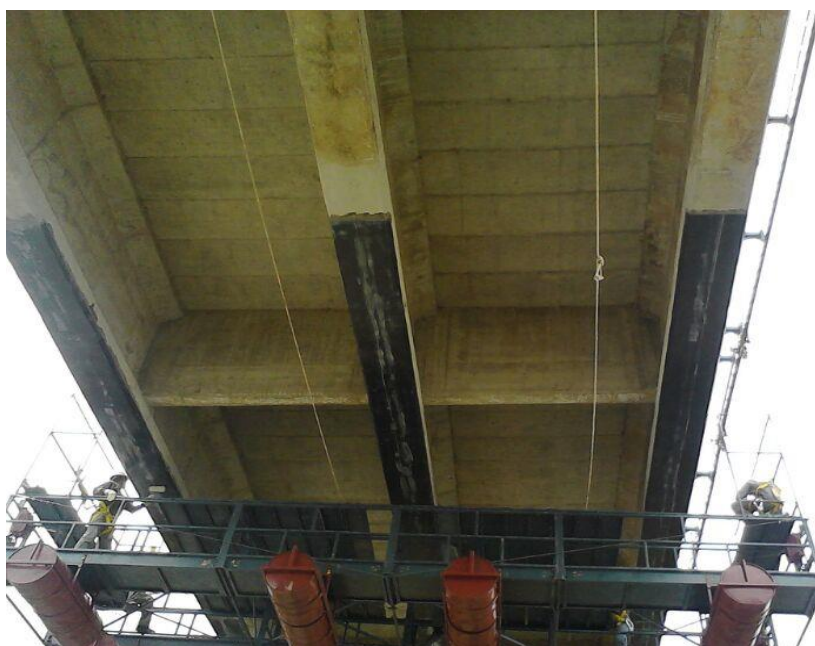
Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

Figura 48: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT.



Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

Figura 49: Reforço com Fibra de carbono – Ponte Teles Pires- MT



Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

7.2.3 Reforço com modificação de seção

7.2.3.1 Reforço com encamisamento de concreto

A técnica de reforço por encamisamento é constituída pelo envolvimento de concreto armado no pilar já deteriorado, como na Figura 50. Alguns autores tratam da técnica como modificação seção transversal da estrutura.

Figura 50: Técnica para o encamisamento de concreto - Modificação de seção.

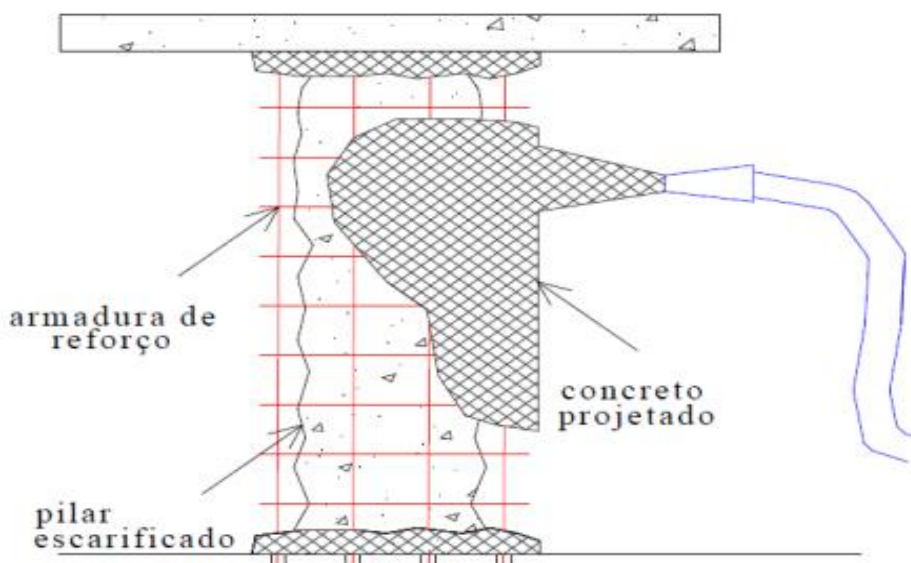


Fonte: Techniques.

A aderência entre o concreto existente na peça e o que será adicionado é favorecida pela própria compressão gerada devido à retração transversal do novo concreto de reforço, causando então uma pressão lateral no pilar original.

Para Souza e Ripper (1998, p.166), o procedimento para aumentar a seção retangular ou quadrada com concreto armado deve respeitar algumas regras, com a utilização de concreto projetado, utiliza-se guias para evitar a perda excessivas de concreto, como na Figura 51 a seguir.

Figura 51: Esquema de reforço com utilização de concreto projetado.



Fonte: modificação de HELENE, 1992 apud TAKEUTI, 1999.

Já com concreto convencional geralmente empregado com aditivos plastificantes e expansores, a concretagem deve ser feita em partes, ou seja, a cada metro.

De acordo com Takeuti (1999), com o acréscimo de seção (Figura 52, 53 e 54), devido ao encamisamento, não precisa ser necessariamente em todo contorno do pilar, mas também apenas em algumas faces, ou seja, este tipo de reforço pode envolver totalmente a seção original da estrutura ou parcialmente. A Figura 52 mostra as configurações possíveis do reforço dependendo da necessidade do encamisamento e da carga a ser suportada pelo pilar.

Figura 52: Técnica para o encamisamento de concreto - Modificação de seção.



Fonte: Techniques.

Figura 53: Modificação de seção.



Fonte: Techniques.

Figura 54: Modificação de seção.



Fonte: Techniques.

Figura 55: Tipos de configurações de reforço de pilares.



Fonte: TAKEUTI, 1999.

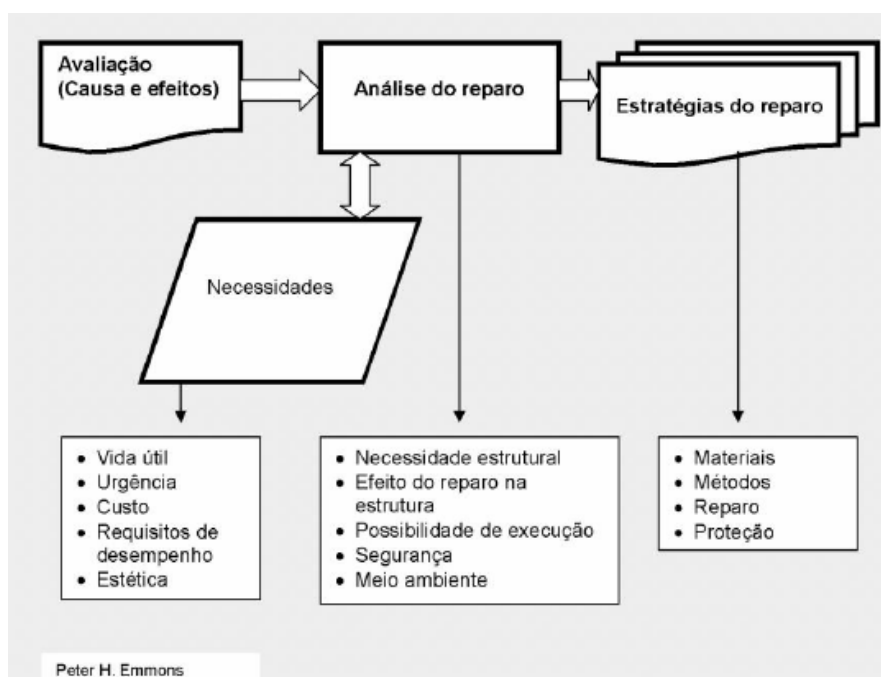
8. RECUPERAÇÃO, REPARO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO

O processo de recuperação está vinculado à necessidade de se restabelecer a integridade física de um elemento estrutural, buscando-se restituir as suas características mecânicas originais. Pois a recuperação é entendida como a substituição de algo que se tenha perdido com o tempo como, por exemplo, a proteção do concreto por meio da camada de cobrimento.

Já o processo de reparo estrutural visa o concerto, ou seja, o auxílio devido a falhas ou defeitos encontrados por meio de análises feitas através de ensaios.

Para as soluções dos problemas de recuperação, reparo e proteção de estruturas em concreto existem vários processos para a tomada de decisões, sendo assim as fases são: a análise do reparo, a estratégia e o projeto/ metodologia conforme Figura 56.

Figura 56: Processos de análise para as tomadas de decisões.



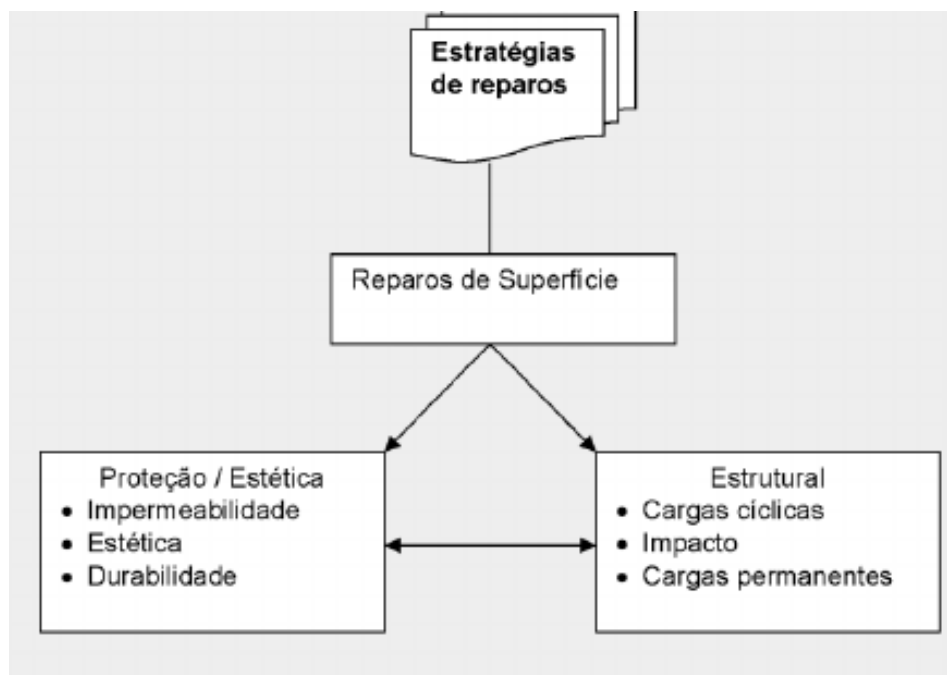
Fonte: Peter H Emmons.

A análise do problema deve ser compreendida, inclusive as causas e os efeitos da deterioração.

Como visto anteriormente os problemas de deterioração são diversos e, cada situação permite uma compreensão clara do que é esperado do reparo. Três requisitos de desempenho em geral são: proteção, aptidão em serviço (suporte as carga) e preservação das características estética conforme a Figura 57.

Este processo de análise do reparo serve para determinar a exata função e quais os possíveis materiais que serão empregados.

Figura 57: Processos de análise para as tomadas de decisões.



Fonte: Peter H Emmons.

É elevada a quantidade de materiais disponíveis para a utilização em reparos, sendo suas propriedades e campo de utilização variáveis.

Os materiais de reparos podem também ter sua classificação de indicação relacionada a profundidade do reparo, como por exemplo:

- a) Rasos: reparos de profundidade variando entre 3 mm à 30 mm (ponto de atingir as armaduras).
- b) Médios: reparos com profundidade entre 30 mm 60 mm.
- c) Profundos: reparos com profundidade superior a 60 mm.

Abaixo está apresentado uma Tabela 12 com o resumo dos principais materiais utilizados em reparos:

Tabela 12: Principais materiais utilizados em reparos.

Materiais	Componentes			Requisitos de Aplicação		
	Base	Adições	Aditivos	Limitação de Espessura	Temp. de Aplicação	Cura
Gaude de Cimento Portland	Cimento Portland	Brita para maiores espessuras	Redutor de água/ Incorporador de ar	3,5 a 10 cm	5- 32 °c	Água 7 dias / Líquido de cura
Concreto Comum	Cimento Portland	-	Redutor de água/ Incorporador de ar	5 cm	5- 32 °c	Água 7 dias / Líquido de cura
Concreto/ argamassa com microsilica	Cimento Portland	Micro- silica	Fluidificante ou superfluidificante	3 cm	5- 32 °c	Água 7 dias / Líquido de cura
Concreto com Látex	Cimento Portland	-	Redutor de água Látex de SBR	3 cm	7- 35 °c	Água 3 dias / Líquido de cura
Argamassa com Polímero	Cimento Portland	Agente Tixotrópico	Látex Acrílico	0,3 a 7 cm	Consultar o Fabricante	Consultar o Fabricante
Argamassa com Polímero e Fibras	Cimento Portland	Agente Tixotrópico Fibras	Látex Acrílico	0,6 a 7 cm	Consultar o Fabricante	Consultar o Fabricante
Argamassa com Fosfato de Magnésio	Cimento Portland	-	-	2 cm	10- 40 °c	Líquido de Cura 1 hora a 2 dias
Concreto Modificado	Cimento Portland	Pozolana	Fluidificante	8 cm	5- 32 °c	Água 7 dias / Líquido de cura
Argamassa de Epóxi	Cimento Portland	-	-	0,6 a 2 cm	10- 32 °c	4 horas a 2 dias
Argamassa com Metilmetaclilato	Cimento Portland	-	-	0,6 a 2 cm	-6 -50 °c	Água 7 dias / Líquido de cura
Concreto Projetado	Cimento Portland	Pozolana	Redutor de água/ Acelerador	2 a 10 cm	5- 32 °c	Água 7 dias

8.1 Grauteamento

O Grauteamento (Figura 58) é indicado para preenchimento de espaços vazios confinados em locais de difícil acesso. É um tipo específico de concreto e tem como objetivo a solidarização da armadura e o aumento da capacidade portante. O graute é composto por: cimento, agregados miúdos, graúdos, água, cal e outras adições.

Figura 58: Grauteamento.



Fonte: Planus.

As vantagens na utilização em relação a um concreto comum modificado com aditivo superplastificante (concreto fluido), são:

- a) Maior facilidade para preencher vazios e cavidades com elevada concentração de armaduras, sem deixar vazios ou bolsões de ar;
- b) Menores prazos de execução;
- c) Maior proteção contra a corrosão, devido à baixa permeabilidade, destacando-se, em geral, nas seções de reparo ou reforço que são utilizados cobrimentos menores;
- d) Expectativa de melhor qualidade nos trabalhos e consequente alto desempenho dos elementos grauteados, sob severas condições de serviço.

Por ser bem fluido, o graute permite o preenchimento total da seção, sem a necessidade de adensamento. Com a alta resistência inicial e a liberação das fôrmas mais cedo, aumentando assim a agilidade no processo de fixação de equipamentos, e a rápida colocação da estrutura reparada ou reforçada em carga. Além de possuir elevada resistência final e deformação compatível com o do concreto. Garante um bom desempenho frente a esforços elevados, mesmo que para reforço de concretos de alta resistência.

8.2 Juntas de dilatação, trincas e fissuras

8.2.1 Injeção de resina de poliuretano

Uma das soluções indicadas para o problema de aparecimento de trincas aparentes (Figura 59) a é a injeção de resinas de poliuretano que possui alta resistência à

compressão, capacidade de impermeabilização e selamento mesmo na presença de água durante a obra.

Figura 59: Aplicação de resina de poliuretano.



Fonte: Techniques.

8.2.2 Injeção de resina de gel acrílico

A utilização de resina de gel acrílico para reparos, tem a finalidade de impermeabilizar as fissuras das estruturas de concreto e selar trincas e juntas de dilatação.

Apresentando as seguintes características:

- a) Baixíssima viscosidade, o que garante a injeção em fissuras a partir de 0,1 mm;
- b) Excelente aderência;
- c) Grande durabilidade;
- d) Flexibilidade: podendo ter alongamento maior do que 200%;
- e) Hidro estrutural;
- f) Controle sobre o tempo de reação, permitindo a injeção do gel acrílico mesmo com fluxo de água.

A resina pode ser aplicada no lado posterior da estrutura (ao qual não se tem acesso), para formar uma membrana impermeabilizante e como esta área possui baixa viscosidade, permite a percolação entre a interface solo/concreto.

Com relação ao preenchimento de trincas, juntas de dilatação e fissuras, é recomendável a injeção de resina de acrílico polimérico para selar trincas, com ou sem fluxo de água, proporcionando total preenchimento dos vazios e a perfeita vedação dos espaços propícios a infiltrações.

8.2.3 Injeções Epoxídicas

A resina epóxi é outro tratamento recomendado para trincas e fissuras. Estas resinas possuem boa adesão, boa resistência mecânica e química, mantendo suas propriedades em uma grande variedade de meios, mesmo nos de elevados teores de umidade, para a recuperação da capacidade portante de estruturas de concreto.

A Injeção desta resina epóxi (Figura 60) apresenta as seguintes características:

- a) Isenta de solventes;
- b) Possui grande durabilidade;
- c) Excelente aderência ao substrato;
- d) Baixa viscosidade, que garante maior injetabilidade: penetra em fissuras maiores ou iguais a 0,1 mm.

Figura 60: Aplicação da resina epóxi



Fonte: Techniques soluções em engenharia.

8.3 Impermeabilização

8.3.1 Geomembrana de PVC

A Geomembrana de PVC é o tipo mais comum de geossintético utilizado no reparo a fim de impermeabilizar e prevenir situações patológicas em estruturas, como é o caso do Metrô linha 4 Amarela de São Paulo que foi revestido ao longo da via (gastando cerca de 100.000 m² de geomembrana de PVC), como as Figuras 61, 62 e 63; que passou por recuperação.

Essa membrana é um produto bidimensional com baixa permeabilidade, utilizada na contenção de rejeitos líquidos e sólidos, desde água potável até resíduos perigosos ou radioativos.

Figura 61: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP.



Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

Figura 62: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP



Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

Figura 63: Recuperação da estrutura do Metrô com a utilização de Geomembrana de PVC, Libra 4 Amarela – SP



Fonte: Pires | Giovanetti | Guardia.

9. ESTUDO DE CASO

9.1 Procedimentos técnicos

9.1.1 Características gerais da edificação

Estes procedimentos foram elaborados a partir da necessidade de reforço e recuperação da edificação (Figura 64). Com obra iniciada em 1992, a edificação predial foi projetada para atender fins comerciais, mas atualmente funciona como rede hoteleira conforme projeto em Anexo prancha 01/06. A mudança na utilização proporcionou alterações no projeto, como a construção de: Academia (localizada na cobertura), lavanderia, 125 suítes, estacionamento (em dois níveis), bar, restaurante, salão de conferências, festas e reuniões, de acordo com o quadro de áreas abaixo:

Figura 64: Foto da edificação localizada em Varginha/MG.



Fonte: A autora.

Tabela 13: Quadro de áreas da edificação.

Quadro de Áreas	m²
Subsolo 2 (Garagem)	1002,75
Subsolo 1 (Garagem)	954,29
Térreo	916,56
1º Pav.	926,59
Pav. Tipo x 4	3450,36
Cobertura	246,16
Ampliação	44,54
Total	7541,25
Terreno	1002,75
Taxa de ocupação	100%

Fonte: A autora.

9.1.2 Diagnóstico

A edificação apresentada passou por processos de reforço e reparo estrutural apenas no quinto andar e no pavimento cobertura, devido a degradações sofridas ao longo de décadas e pela mudança em sua utilização, devido ao acréscimo de cargas.

O Engenheiro Civil responsável pelo cálculo estrutural ainda na década de 90 foi contratado em Belo Horizonte – MG pelo então, primeiro dono do edifício, que havia

pensado em construir salas comerciais. Mas, pelo mal planejamento e constante atraso, a obra foi interrompida e embargada, devido a diversos fatores decorrentes.

Em 2010 retomaram-se as obras, estando à frente, o empresário que adquiriu a edificação. Este empresário contratou novos engenheiros, sendo o calculista, um engenheiro Português. Mas, o projeto exigiu não só conhecimento técnico, como também prática e experiência afim de analisar estruturalmente o que seria empregado e por quais processos a edificação necessitaria passar, pois não possuíam mais o projeto estrutural inicial, e nem mesmo um “as built” para seguir.

Atualmente a edificação apresenta um layout composto por: duas garagens, pavimento térreo (hall, recepção, restaurante, bar, salas de vídeo conferência e reuniões), cinco andares de quartos/suítes e uma cobertura (academia, bar, área livre, central de gás e central de reservatórios de boilers), como mostrado na prancha em Anexo 01/06.

Com todo conhecimento e prática do engenheiro; chegou-se aos principais materiais que seriam utilizados no reforço, sendo eles: chapas metálicas, perfis metálicos e a técnica de aumento de seção, conhecida como encamisamento de concreto (projeto de reforço em Anexo prancha 05/06).

Devendo salientar que os procedimentos de reforço foram feitos apenas no quinto andar e na cobertura da edificação.

- a) Reforço com aumento de seção: Laje da cobertura que recebeu os reservatórios boilers, passando de 12 cm para 20 cm, ou seja, um ressalto de 8 cm.
- b) Procedimento técnico com a utilização de chapas metálicas: Vigas do quinto andar.
- c) Procedimento técnico com a utilização de perfis metálicos: Vigas localizadas no quinto andar da edificação.

A utilização desses procedimentos de reforço foi necessário devido a carga acrescida aos elementos estruturais na cobertura e no quinto andar da edificação, ou seja, em decorrência dos reservatórios e a academia.

9.1.3 Orientações para escolha de materiais de reparo e reforço

É de extrema importância a escolha adequada do material a ser utilizado, estes devem possuir características especiais, tais como:

- a) Maior durabilidade;
- b) Baixa permeabilidade;

- c) Boa resistência estrutural;
- d) Boa aderência ao concreto e ao aço;
- e) Baixa retração;
- f) Boa trabalhabilidade;
- g) Fácil aplicação;
- h) Propriedades compatíveis com o concreto e o aço, com objetivo de garantir a eficiência do processo de reparo e/ou reforço.

9.1.4 Principais técnicas utilizadas na edificação

- Técnicas de reforço:
 - a) Reforço com aumento de seção (laje);
 - b) Reforço com chapas metálicas;
 - c) Reforço com perfis metálicos.
- Técnicas de reparo com a utilização de:
 - a) Argamassa;
 - b) Concreto;
 - c) Adesivo fluído de base epóxi;
 - d) Aumento de seção com novas armaduras.

9.1.5 Principais causas das anomalias

Através da inspeção visual, o responsável técnico consegue diagnosticar as primeiras causas visíveis dos problemas estruturais. Em casos mais complexos, no entanto, quando as causas não são claras, é necessário recorrer à análise mais profunda, incluindo coleta de amostras e realização de ensaios no local, o que não foi realizado.

As anomalias mais frequentes são: fissuras e trincas, corrosão de armaduras, deformações excessivas e desagregações.

As principais causas das anomalias no concreto diferenciam-se bastante no tempo de ocorrência: podem iniciar antes da construção (erros de projeto), durante (erros de execução), no decorrer da obra (ações biomecânicas, ação do ambiente), por consequência de problemas imprevisíveis (ações de acidentes) ou ainda pela mudança, ou seja, por meio das alterações das condições de serviço.

- a) Anomalias decorrentes do processo de construção:

Diversas variáveis podem afetar este processo, principalmente porque o concreto é preparado, ou pelo menos colocado e moldado, em obra, o que potencializa a ocorrência de enganos ou defeitos na construção, como: vazios e zonas porosas, segregação, erros de geometria, descontinuidades visíveis, manchas, fissuração.

b) Anomalias estruturais:

As anomalias estruturais traduzem-se normalmente pelo aparecimento de fissuras significativas ou deformações severas. É de notar que, na maioria dos casos (excetuam-se nomeadamente os casos de carregamento excessivo), a fissuração significativa surge após processos de deformação nos quais o movimento da peça está restringido.

c) Anomalias de durabilidade:

Estes tipos estão relacionadas com a degradação das construções ao longo do tempo (Figura 65), como: a coloração do concreto, exposição / corrosão das armaduras, fissuração e destacamento.

Figura 65: Demonstração das anomalias de durabilidade na estrutura.



Fonte: A autora.

9.1.6 Procedimentos de preparo e limpeza

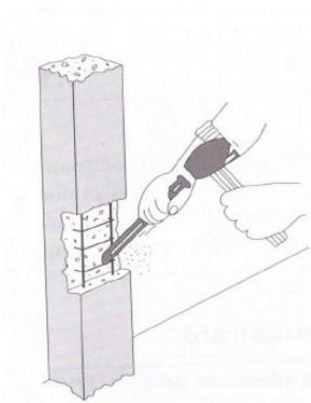
Os procedimentos de limpeza e preparo do substrato são tão importantes que alguns autores tratam como 50% de importância em todo o processo de recuperação e reforço da estrutura.

A limpeza do substrato é um tratamento prévio da superfície dos componentes estruturais. Sendo assim, os procedimentos utilizados na edificação em estudo foi:

- a) Escarificação manual: preparação de pequenas superfícies com equipamentos manuais, como marreta, ponteiro e talhadeira. Este método escarificador (Figura 66) de fora para dentro evita golpes que possam lascas arestas e contornos da região em tratamento. Tem a finalidade então, de retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto.

Este procedimento possui como vantagens poucos ruídos e ausência de poeira excessiva além de não exigir instalações específicas de água ou energia e mão de obra especializada. Já as desvantagens são a baixa produção, uso restrito, após a escarificação é necessário a limpeza com ar comprimido, além de requerer cuidados para não comprometer a estrutura;

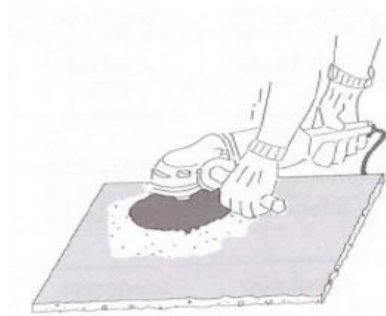
Figura 66: Execução da escarificação manual.



Fonte: Manual P. Helene.

- b) Disco de desgaste: preparação e desgaste de grandes superfícies, com lixadeiras industriais com disco, adequado para desgaste de pisos (polimento) úmido ou a seco. O procedimento é aplicar o disco com lixa (Figura 67) sobre superfícies, aproveitando o peso do próprio equipamento, efetuando o desgaste em camadas ou passadas cruzadas a 90°, possui como vantagem a alta produção. Mas requer mão de obra especializada.

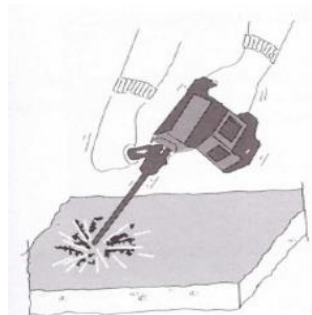
Figura 67: Utilização do disco de desgaste.



Fonte: Manual P. Helene.

- c) Escarificação mecânica: preparação de grandes superfícies com rebarbador eletromecânico ou fresas (para piso). O método de utilização é o mesmo da escarificação manual, mudando apenas os equipamentos utilizados, conforme Figura 68. Porém, as vantagens são o alto rendimento na preparação e a não necessidade de mão de obra especializada.

Figura 68: Execução da escarificação mecânica.



Fonte: Manual P. Helene.

- d) Demolição: utilizando equipamentos como martetele (± 20 Kg) pneumático com compressor ou eletromecânico, como na Figura 69.

Figura 69: Utilização do martetele pneumático.



Fonte: Manual P. Helene.

- e) Lixamento manual: preparo da superfície com lixa d'água para concreto ou lixa de ferro para aço.
- f) Lixamento elétrico: com a utilização do disco de lixa acoplado a uma lixadeira eletromecânica provida de um protetor.
- g) Jato de areia seco.
- h) Disco de corte.

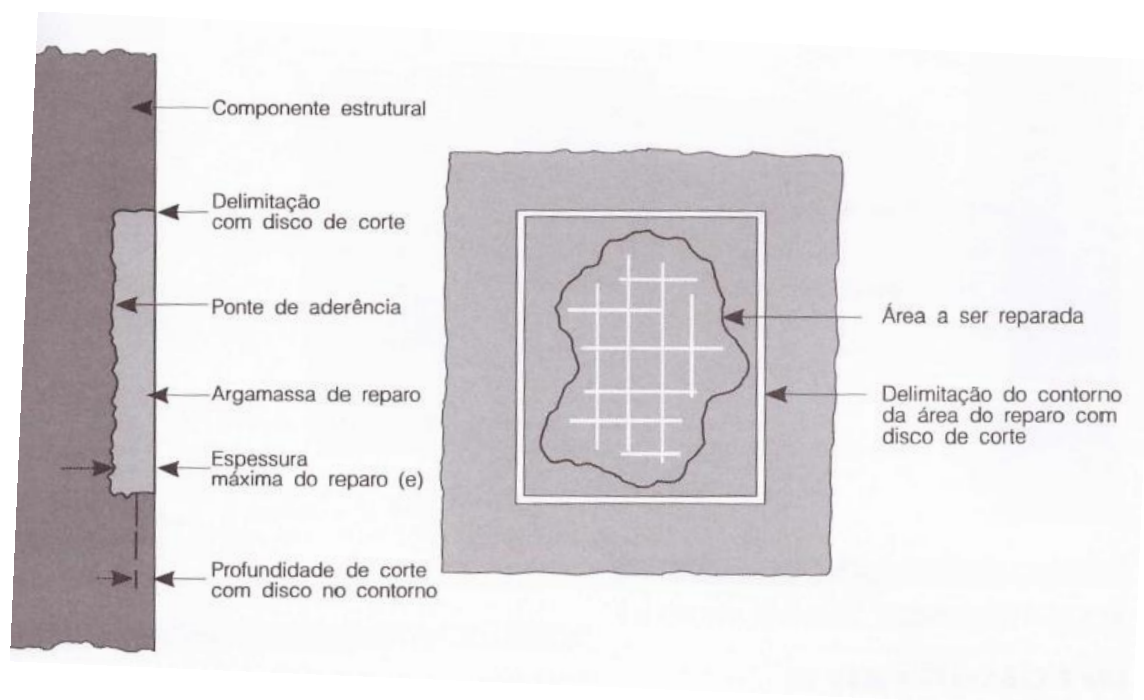
9.1.7 Classificação dos reparos quanto a profundidade

9.1.7.1 Reparos Superficiais - Localizados

Reparo com a utilização de argamassa polimérica a base de cimento:

- Alcance: $0,5 \text{ cm} \leq e \leq 2,5 \text{ cm}$.
- Corte do contorno: espessura $\geq 0,5 \text{ cm}$ para superfícies em geral e $\geq 1,0 \text{ cm}$ para pisos.
- Substrato: saturado e com superfície seca.
- Preparação: em um misturador mecânico, adiciona-se os componentes e mistura por 3 minutos.
- Aplicação: aplicar ponte de aderência constituída por pasta de cimento aditivada, na relação 3:1:1 (água/cimento), em volume. Pressionar fortemente a argamassa contra o substrato, em camadas sequenciais de 1,0 cm até atingir a máxima espessura desejada ($\leq 2,5 \text{ cm}$).
- Acabamento: desempenadeira de madeira, de feltro (espuma) ou de aço.
- Cura: úmida por 7 dias. Nas primeiras 36 horas evitar radiação solar direta através de anteparos.

Figura70: Delimitação da área a ser reparada.



Fonte: Manual P. Helene.

9.1.7.2 Reparos Profundos

Reparo com a utilização de Graute base cimento / microconcreto fluido:

- Alcance: profundidade ≤ 6 cm de profundidade e de 3 cm a 30 cm.
- Substrato: saturado e com superfície seca ou seco com adesivo epóxi.
- Preparação: em um misturador mecânico, adiciona-se água ao pó na relação água/pó de 0,140 ou até 0,126 para devidas marcas encontradas no mercado. Misturando até homogeneizar por 3 minutos.
- Aplicação: preparar as fôrmas estanques e rígidas, com cachimbo ou funil alimentador. Retirar as fôrmas, se necessário, para efetuar a saturação do substrato ou com as superfícies secas aplicar o adesivo e recolocá-las. Lançar o adesivo, respeitando o prazo de colagem. Evitar bolhas de ar lançando calma e continuamente sempre pelo mesmo lado, até atingir altura de 10 cm acima do limite da cavidade a ser reparada. Observar prazo de no máximo 20 minutos após a mistura, para o lançamento total do material.
- Acabamento: após remover as fôrmas e depois de 24 horas, cortar os excessos, sempre de baixo para cima para evitar lascamentos.

- Cura: úmida por 7 dias. Nas primeiras 36 horas evitar radiação solar direta através de anteparos.

Reparos profundos com a utilização de concreto:

- Alcance: qualquer profundidade.
- Substrato: seco com aplicação de ponte de aderência por adesivo base epóxi.
- Preparação: relação água/cimento $\leq 0,50$, abatimento de 100 a 150 mm, aditivo super plastificante, dimensão máxima característica do agregado igual a 1/4 da menor dimensão da peça.
- Aplicação: preparar fôrmas estanques e rígidas. Retirar as fôrmas, aplicar o adesivo (ponte de aderência e recolocar as fôrmas. Lançar o concreto respeitando o tempo de manuseio e o tempo de colagem. Evitar bolhas de ar lançando devagar e continuamente até atingir altura 10 cm acima do limite da cavidade. Adensar com soquetes ou vibradores.
- Acabamentos: após remover as fôrmas e depois de pelo menos 48 horas, cortar os excessos sempre de baixo para cima para evitar lascamentos.
- Cura: saturar com água por 14 dias.

9.1.8 Procedimentos técnicos de reparos

9.1.8.1 Reparo com a reconstrução da camada de cobrimento

Uma das principais técnicas utilizadas, não só na edificação em análise, mas, como em todas de uma forma geral é o reparo das estruturas com a necessidade da reconstrução da camada de cobrimento, de preferência com concreto bem adensado. Este cobrimento tem a finalidade de:

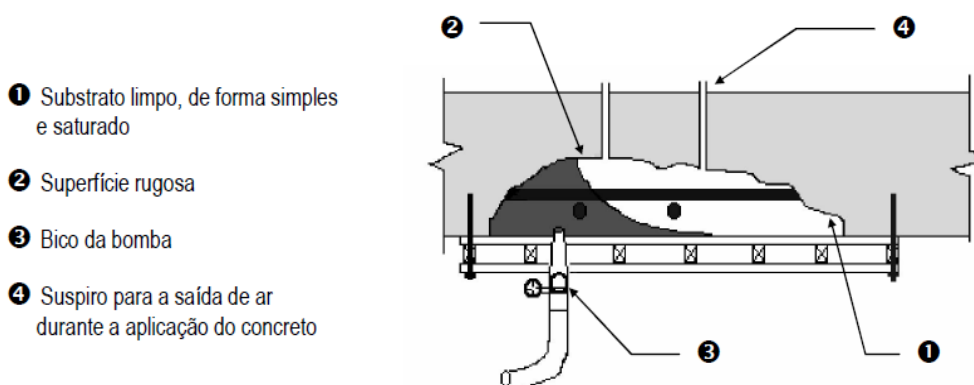
- Impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até as armaduras;
- Recompor a área da secção de concreto original;
- Propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora do aço.

A execução deste novo cobrimento, deve atender a qualquer um destes procedimentos:

- a) Concretos e argamassas poliméricas: produzidas na mistura de argamassas convencionais com resinas à base de epóxi.

- b) Concreto projetado com espessura mínima de 50 mm: apresentando boa aderência ao concreto "velho", não precisando de fôrmas; ideal para grandes áreas, como paredes, mas tem a desvantagem de acarretar muita reflexão (perda de material) e "sujar" o ambiente.
- c) Concretos e argamassas especiais para grauteamento: não apresentam retração, possui boa aderência e podem ser auto adensáveis, não exigindo aumento de seção além da original. Porém, requerem a utilização de fôrmas muito estanques, sendo ideais para locais densamente armados ou com dificuldade de acesso, pois podem ser facilmente bombeados. Em caso de bombeamento, a aplicação deve ser de modo contínuo até o completo preenchimento do reparo (verificar pelos suspiros, Figura 71). Vedar os suspiros, aumentar, então, a pressão da bomba em 5,0 psi e encerrar o bombeamento, tampando o furo de entrada do bico da bomba, como mostrado a seguir.
- d) Concretos e argamassas convencionais: bem proporcionados, com baixa relação água/cimento e aplicados com fôrma. Esse procedimento exige aumento de seção e requer alto conhecimento de tecnologia de concreto para assegurar a aderência do concreto "velho" ao "novo".

Figura 691: Esquema de aplicação de concreto por bombeamento.



Fonte: Ijt – Reabilitação e reforço de estruturas.

9.1.9 Reparo com a utilização de adesivo fluido a base de epóxi

Resinas sintéticas de alto desempenho que melhoram a aderência das argamassas e concretos aos mais diversos substratos. Podem ser aplicadas com broxa e são utilizadas como ponte de aderência. Úteis não apenas em reforços, mas também em reparos e em serviços de recuperação e de recomposição de estruturas de concreto (Figura 72).

Figura 72: Aplicação do adesivo epóxi.



Fonte: A autora.

Vantagens:

- a) Elevado poder de aderência;
- b) Apresenta viscosidade ideal para aplicação em superfície com inclinações variáveis;
- c) Simples e fácil de aplicar com trincha ou pincel;
- d) Desempenho e rendimento superior pela sua consistência pastosa /fluída;
- e) Pode ser aplicado sobre superfície úmida;
- f) Ideal para aplicações em regiões de altas temperaturas, possibilitando maior tempo de manuseio;
- g) Pode ser fornecido em embalagem de maior volume, em quantidade para trabalhos em grande escala.

9.1.10 Procedimentos de Reforço

9.1.10.1 Aumento de Seção – Laje

Devido a mudança na utilização da edificação, foi preciso fazer reforço em várias áreas, tanto do quinto pavimento, como na cobertura. Os procedimentos de reforço realizado neste projeto foram: reforço com aumento de seção (adição de armaduras

suplementares e concreto), reforço com chapas metálicas aderidas com epóxi e reforço por meio de perfis metálicos.

O projeto proposto para reforço na laje foi realizado na cobertura do hotel, o qual recebeu cargas dos reservatório (13 boilers com 880 litros cada) (Figuras 73). Nesta área houve um aumento da seção em 8 cm com adição de armaduras e concreto, conforme pode ser analisado nos projetos em Anexo prancha 02/06.

Figura 73: Reservatórios (boilers) que foram colocados no quinto andar.



Fonte: A autora.

Este procedimento técnico tem como objetivo:

- Aumentar a resistência de zonas comprimidas;
- Pode ser realizado em todos os elementos estruturais, ou seja, lajes (como é o caso), vigas, pilares e paredes para todos os esforços e em especial, edificações que sofrem ações sísmicas.

Os aspectos principais dessa solução de reforço implica:

- O aumento das dimensões;
- Grande interferência na utilização da estrutura;
- Relativamente o reforço com chapas metálicas apresenta as vantagens do reforço à ação sísmica, melhor proteção ao fogo e à corrosão das armaduras de reforço;
- Requer preparação de superfície cuidada do concreto existente.

Os materiais utilizados nesse procedimento devem ser de alta qualidade, garantindo:

- Elevada resistência à compressão;
- Boa aderência;
- Boa trabalhabilidade;
- Baixa retração
- Compatibilidade de deformações com os materiais iniciais.

O concreto e a argamassas utilizadas devem ser:

- a) Materiais à base de ligantes hidráulicos;
 - b) Materiais à base de ligantes sintéticos (resinas).
- Sensibilidade à humidade, retração por vezes elevada; não passivam as armaduras; baixa resistência ao fogo; preço elevado concreto e argamassas projetadas; fácil de colocar; acabamento irregular; boa aderência; sujidade; elevada resistência.

O procedimento técnico realizado neste reforço por meio do aumento de seção (Figura 74) de concreto seguiu os seguintes passos:

- a) Inicialmente foi preciso fazer um escoramento para controlar deformações das seções e possíveis deslocamentos. Além de evitar colapsos durante a reparação;
- b) Preparação da superfície para garantir melhor a ligação entre o material de adição e o concreto já existente na laje inicial e a remoção de concreto alterado com o objetivo de tornar a superfície rugosa, por meio de equipamentos como o martetele e jacto de água em alta pressão;
- c) Colocação das armaduras adicionais;
- d) Concretagem com aplicação direta (à colher);
- e) Para finalizar, o processo de cura da laje.

Figura 74: Execução da técnica de reforço com aumento de seção na laje da cobertura.



Fonte: A autora.

9.1.10.2 Chapas de aço aderidas com epóxi e chumbadores

Devido ao novo carregamento da estrutura, foi observado em algumas vigas o surgimento de fissuras, localizadas próximo a região dos Boilers, como mostra a (Figura 75). Por isso foi necessário reforçá-las.

Figura 75: Viga fissurada perto dos Boilers.



Fonte: A autora.

- Este procedimento técnico tem como objetivo: Aumentar a capacidade resistente à flexão simples e esforço transversal.

- Os aspectos principais dessa solução de reforço implicam: na fixação de armaduras exteriores, por colagem, a estruturas pré-existentes: Chapas de Aço.

Reforço de Vigas:

- a) Por substituição/complemento de estribos;
- b) Flexão.

Condições de aplicação:

- Deficiência de armaduras;
- Adequadas dimensões dos elementos;
- Adequada qualidade do concreto.

Os materiais utilizados nesse procedimento devem ser de alta qualidade, garantindo:

- Permite uma melhoria significativa da capacidade resistente (até 50%);
- Manutenção da secção geométrica do elemento original;
- Intervenções sem interrupção do uso da estrutura;
- Rapidez de execução;
- Evita demolição;
- Estados Limites de Serviço:
 - a) Controlo da fendilhação;
 - b) Reposição do monolitismo (eliminação de fendas p/ injeção)
- Ausência de ruído excessivo ou pó.

Desvantagem:

- Sensibilidade aos agentes atmosféricos;
 - a) Corrosão das chapas (humidade/sais);
 - b) Deterioração do adesivo epóxi (em decorrência da variação de temperatura).

Vantagem na utilização de chapas de aço aderidas com epóxi:

- Aderência a diferentes tipos de suporte;
- Resistência mecânica;
- Resistência à corrosão;
- Rapidez de cura.

Características pretendidas pela utilização do adesivo epóxi:

- Retração reduzida;
- Baixa fluência sob carga constante ao longo do tempo;
- Bom comportamento face a diferenças de temperatura;
- Adesão perfeita ao aço e concreto;
- Estabilidade de características ao longo do tempo;
- Bom comportamento em serviço em atmosferas húmidas ou agressivas;
- Elevadas resistências mecânicas;
- Adequado módulo de elasticidade transversal

O procedimento técnico de execução segue os seguintes passos:

- a) Determinação das condições do suporte:
 - Remoção do concreto deteriorado das faces laterais das vigas;
- b) Descarregamento da estrutura
- c) Tratamento das superfícies da viga que receberão as chapas:
 - Redução de irregularidades;
 - Produção de rugosidade no suporte (martelo pneumático);
 - Limpeza da superfície (escovagem, aspiração, ar comprimido);
 - Decapagem das chapas (remoção da proteção).
- d) Fases da execução:
 - Aplicação do adesivo epóxi;
 - Aplicação das chapas com prumos e buchas metálicas (parabolt);
 - Aplicação de pressão (0,1 a 0,5 MPa), mantendo um controle da espessura da cola.
 - Desmontagem do sistema de aperto (após ± 7 dias);
 - Aplicar proteção contra corrosão e ação do fogo.

Nos casos mais críticos, foi necessário executar também o reforço na parte superior da viga, e para isso, parte da alvenaria do pavimento superior, teve que ser desmanchada para a colocação de uma chapa de aço contínua sobre a região a ser reforçada. A aderência da chapa foi garantida com a utilização de um adesivo epóxi, como mostrado na Figura 76.

Figura 76: Reforço com a utilização de chapas metálicas.



Fonte: A autora.

Como exemplo, uma das alternativas empregadas para ligação das chapas para reforço ao cisalhamento e à flexão nas vigas segue em Anexo prancha 04/06.

O CEB (1983) recomenda alguns cuidados para que se obtenha resultados confiáveis, como:

- A espessura máxima da camada aplicada do adesivo epóxico igual a 1,5 mm;
- Quando não se utilizar dispositivos especiais de ancoragem, como chumbadores, a espessura da chapa não deve ser maior que 3,0 mm.
- Para a colagem da chapa, deve manter uma pressão leve e uniforme contra a superfície de concreto, de acordo com o tempo especificado pelo fabricante do adesivo para início de cura e aderência inicial (mínimo de 24 horas);
- Proteção do reforço contra mudanças de temperatura e, em especial contra o fogo.

Para a execução deste procedimento de reforço as chapas devem ser coladas prevendo uma largura um pouco menor que a seção da viga, cobrindo as extremidades com adesivo para evitar a penetração de água.

Quando o objetivo deste procedimento for o reforço ao cisalhamento, as chapas devem ser coladas com o uso de chumbadores, pelo menos nas extremidades, pois há grande tendência de descolamento nesta região devido à concentração de tensões. Os chumbadores servem para evitar o descolamento por excesso de esforço na cola, além de fixar os estribos externos de chapa durante o período de cura, e se acontecer a ruptura, se dará de forma mais dúctil, como foi executado na estrutura (Anexo prancha 06/06).

9.1.10.3 Reforço com perfil metálico

O reforço à flexão deve sempre ser instalado antes dos reforços para o corte e para o confinamento, ou seja, são aplicados sobre o reforço por flexão. Essa sequência executiva tem por objetivo garantir para o reforço à flexão e para o reforço ao corte a condição denominada “colagem crítica”, onde é exigida uma aderência entre o concreto e o sistema composto.

No caso dos pilares foi feito um reforço típico, com a colocação de quatro cantoneiras provisoriamente posicionadas com perfis U (Anexo prancha 03/06), atirantados e ligados transversalmente mediante chapas soldadas.

Este tipo de intervenção (reforço) pode ser deixado aparente, com a utilização de perfis de várias seções e dimensões ligados entre si por parafusos conectores (parabolts), proporcionando um aumento da resistência em uma direção ou em ambas.

Este tipo de reforço também foi empregado nas vigas da edificação em estudo, como nas Figuras 77 abaixo:

Figura 77: Reforço a Flexão com a utilização do perfil U metálico.



Fonte: A autora.

10. CONSIDERAÇÕES ACERCA DO PROCEDIMENTO CORRETO QUE DEVERIA TER SIDO ADOTADO PARA REALIZAÇÃO DO REFORÇO

Vale salientar que a edificação foi reforçada seguindo um novo projeto de concepção estrutural, ou seja, foi feito um estudo com base nas características estruturais já construídas. Mas, não foi realizado nenhum tipo de ensaio para estimar a capacidade

resistente sob os elementos de concreto armado. O indicado seria o ensaio de prova de carga, seguindo a ABNT NBR 9607/1986, que consiste em analisar o desempenho de uma estrutura por meio de medições e controle dos efeitos causados pela aplicação das ações externas, com intensidade e natureza previamente estabelecidas.

A avaliação do estado de conservação e utilização da estrutura também é prescrita pela norma. Segundo ela deve ser efetuada uma inspeção criteriosa, visando confrontar os dados disponíveis, ou seja, o que foi executado na edificação com o estado atual da estrutura. Outro item da norma visa a investigação (inspeção da obra) sobre o projeto estrutural, relativo à época em que a edificação foi construída, sendo avaliado os seguintes critérios:

- a) Características geométricas: execução de plantas “como construído” das formas, vinculações, juntas etc;
- b) Utilização originalmente prevista para a estrutura;
- c) Condições de solicitações a que a estrutura já foi submetida: intensidade e frequência das cargas atuantes;
- d) Idade da estrutura;
- e) Normas vigentes por ocasião de sua execução: hipóteses de cálculo, materiais disponíveis, coeficientes de segurança prescritos;
- f) Análise de obras similares construídas na mesma época.

Além dos dados relativos as condições executivas, a ABNT NBR 9607/1986 também prescreve a realização de investigação sobre os materiais utilizados, visando quantificar e qualificar os materiais empregados, devendo considerar sempre que possível:

- a) Extração de testemunhos para ensaios mecânicos: resistência característica e módulo de deformação;
- b) Ensaios não destrutivos destinados a observar a homogeneidade dos materiais utilizados;
- c) Quantificação das armaduras por meio de métodos não destrutivos ou pela remoção de seu cobrimento de concreto;
- d) Avaliação do estado de conservação e utilização conforme da estrutura, conforme item 5.4 da norma.

Logo após a caracterização da estrutura e análises deve ser realizado o ensaio de prova de carga, sendo de condições necessária para a execução a realização de estudos teóricos para determinar os critérios do ensaio a:

- a) Determinação da capacidade portante da estrutura;
- b) Dimensionamento do carregamento;
- c) Escolha dos efeitos e pontos da estrutura a serem controlados;
- d) Tolerâncias dos desvios entre as medidas realizadas e as previsões teóricas para as medidas que devem ser adotadas como critérios de aceitação;
- e) Critérios de aceitação ou liberação para as várias fases de carregamento, permanência de carga e descarregamento.

O carregamento da estrutura deve ser dimensionado conforme as ABNT NBR 6118/2014, ABNT NBR 6120/1980, ABNT NBR 7187/2002 e ABNT NBR 7188/2013, de modo a submeter a estrutura, ou parte dela, às solicitações de intensidade previamente estabelecidas. No seu dimensionamento devem ser considerados:

- a) Hipóteses de projeto;
- b) Avaliações prévias relativas aos materiais, vinculações, restrições e estado de conservação da estrutura;
- c) Finalidade do ensaio;
- d) Classificação da prova de carga;
- e) Parcelamento do carregamento;
- f) Limitações dos efeitos do carregamento.

Adotando para edificações o seguinte carregamento conforme a ABNT NBR 9607/1986:

$$Q = 0,85 \cdot [1,40 \cdot (G_1 + G_2) + 1,40 (Q_1 + Q_2)] - (G_1 + Q_1)$$

Onde:

- Q é a carga a ser aplicada na prova de carga;
- G_1 e Q_1 são as ações permanentes e variáveis atuantes no momento do ensaio;
- G_2 e Q_2 são as ações permanentes e variáveis previstas ao longo da vida útil da estrutura.

Admitindo-se para edificações, o carregamento de prova de carga o valor correspondente a 70 % do valor característico das ações variáveis. Não pode ser considerada a parcela correspondente ao valor de cálculo das cargas permanentes.

Para comparação dos valores durante a execução da prova de carga, devem ser previstas as medições necessárias aos controles indicados nos estudos, por meio do acompanhamento dos seguintes efeitos, respeitando os limites da norma ABNT NBR 6118/2014:

- a) Deslocamentos lineares;
- b) Rotações;
- c) Deformações específicas;
- d) Influência das condições ambientais;
- e) Abertura de fissuras.

O ensaio de prova de carga deve ser realizado em etapas. O cálculo das previsões teóricas deve ser desenvolvido para cada uma das etapas de carregamento, considerando-se o parcelamento das cargas e as diferentes posições que estas ocupam na estrutura.

No caso, o engenheiro responsável deve estabelecer o número de etapas de carregamentos ou carregamentos parciais/posições da carga sobre a estrutura, de acordo com o projeto do ensaio, não podendo ser inferior a quatro etapas para carregamento e duas etapas para descarregamento.

A intensidade da carga em cada etapa é limitada a 25 % do carregamento de prova (Q), assim como sua posição na estrutura, que devem ser facilmente identificadas durante os ensaios.

Com a análise dos resultados do ensaio devem ser admitidos alguns desvios. Considerados os seguintes aspectos:

- a) Incertezas na caracterização dos materiais;
- b) Aproximações numéricas decorrentes das hipóteses, métodos e modelos estruturais adotados nos cálculos;
- c) Tempo de duração da aplicação de cada parcela do carregamento;
- d) Carregamentos já efetuados na estrutura.

A edificação testada na prova de carga pode ser considerada aprovada se o deslocamento residual Δr satisfizer a equação abaixo e o deslocamento máximo Δl

determinado durante o ensaio satisfizer o deslocamento teórico obtido por meio do modelo representativo da estrutura e os limites prescritos na ABNT NBR 6118/2014.

$$\Delta_r = \Delta_l / 4$$

Onde:

- Δ_r é o deslocamento residual, medido logo após a finalização das etapas de descarregamento da estrutura ensaiada;
- Δ_l é o deslocamento máximo, medido após a aplicação da carga de ensaio Q .

O desempenho do ensaio depende de vários fatores, entre eles, a perfeita coordenação entre a aplicação do carregamento na estrutura, medição de seus efeitos, análise imediata dos resultados e liberação das etapas de execução seguintes.

Estas atividades devem ser supervisionadas pelo engenheiro capacitado a decidir, em cada etapa do ensaio, sobre o prosseguimento ou não do carregamento.

Este responsável deve dimensionar o pessoal técnico necessário para garantir rapidez e confiança nos procedimentos, planejar as atividades a serem desenvolvidas e um sistema eficiente de comunicação entre as várias equipes.

Devem ser indicados os responsáveis técnicos para as seguintes atividades:

- a) Conferência, movimentação e posicionamento do carregamento;
- b) Instalação e leitura dos aparelhos de medida;
- c) Análise imediata das leituras pelo confronto entre as medidas realizadas e previsões teóricas;
- d) Supervisão geral dos trabalhos (responsável pela continuidade ou não do carregamento em cada etapa do ensaio).

Os aparelhos utilizados na leitura das medidas de controle devem ser instalados de forma a medir os efeitos nas seções e pontos indicados pelo responsável técnico.

Concluído o ensaio, os dados devem ser analisados de modo a estabelecer uma relação entre os objetivos declarados para sua execução e os obtidos; comentando sobre o desempenho da estrutura e as eventuais ocorrências inesperadas ou desvios das previsões em relação às medidas efetuadas. E em caso de interrupção do carregamento antes de atingida a carga máxima prevista para o ensaio, devem ser apontados os motivos desta decisão.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante ao exposto neste trabalho analisou-se a importância de procedimentos de recuperação e reparos, pois algumas estruturas de concreto apresentam índices de degradação e deterioração, algumas antes de cumprirem com sua vida útil prevista, devido a falhas na concepção de projetos, planejamento, execução, manutenção e seu correto uso e outras porque simplesmente necessitam de manutenção ou mudarem sua utilização como a edificação apresentada no estudo de caso.

Para o procedimento correto de reabilitação estrutural, os técnicos responsáveis precisam analisar por meio de ensaios qual a melhor solução, bem como conhecer as características dos materiais para saber emprega-los da melhor forma e prologar a vida útil e conseqüentemente a durabilidade da edificação.

A reabilitação por meio de reparos, reforços, proteção e manutenção, geram grandes acréscimos no custo total das obras; à medida que aumenta a demanda, tanto para corrigir erros em construções recentes, tanto em obras pequenas como em recuperação de grandes estruturas, como é o caso de pontes e edifícios.

Com base no estudo de caso apresentado e nos procedimentos técnicos pode-se observar técnicas eficazes adotadas na reabilitação da edificação apresentada, a qual teve mudança na sua utilização, passando de comercial para residencial (hotel). Porém a estrutura foi reforçada sem a realização de ensaios mais adequados e aprofundados, como o ensaio de prova de carga, primeiramente devido a custos com este procedimento, bem como a contratação de equipe especializada e até mesmo os impactos que por ventura viesse acontecer. Pois este ensaio é considerado um dos mais convincentes de segurança de uma estrutura já executada, porque ao colocarmos a estrutura nas condições para a qual foi calculada, construída ou reforçada, estamos em condição de observar o seu comportamento.

Por isso, a estrutura deveria ter passado por este procedimento técnico de ensaio, antes de ter sido reforçada e depois, caso o engenheiro achasse pertinente, a comprovação de projeto e a garantia da confiabilidade e conseqüentemente segurança a estrutura.

Vale salientar que foram realizados apenas inspeções visuais e ensaios não destrutivos, que devido a experiência do engenheiro civil responsável pelo projeto de reforço e, as condições estruturais da edificação, possibilitou a opção por reforço com a utilização de chapas e perfil metálico e aumento de seção, também conhecido como procedimento de encamisamento de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

_____. ABNT NBR 8681/2003. Ações de Segurança nas Estruturas.

_____. ABNT NBR 7680-1/2015 Análise de Testemunho em Estruturas de Concreto.

_____. ABNT NBR 6120/1980. Cargas para o cálculo de estruturas de Edificações.

_____. ABNT NBR 7584/1995. Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão.

_____. ABNT NBR 8802/1994. Concreto endurecido- Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.

_____. ABNT NBR 12.655/2006. Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento.

_____. ABNT NBR 7483/2005. Cordoalha de Aço para Estruturas em Concreto Protendido.

_____. ABNT NBR 15.575/2013. Edifícios Habitacionais.

_____. ABNT NBR 14931/2004. Execução de estruturas de Concreto.

_____. ABNT NBR 7482/2008. Fios de aço para Estruturas em Concreto Protendido.

_____. ABNT NBR 7197/1989. Projeto de Estruturas de Concreto Protendido.

_____. ABNT NBR 15200/2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

_____. ABNT NBR 15421/2006. Projeto de estruturas resistentes a sismos- Procedimento.

_____. ABNT NBR 9062/2006. Projetos e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

_____. ABNT NBR 9607/1986. Prova de Carga em Estruturas de Concreto Armado e Protendido.

_____. ABNT NBR 15577/2008. Reatividade álcali-agregado.

AGUIAR, José Eduardo de. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp022906.pdf>>. Acesso em: 11 Fevereiro 2017.

ALMEIDA, I. R. **Influência da resistência à abrasão do agregado na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho**. In: Congresso Brasileiro do Concreto – REIBRAC, 42, 2000, Fortaleza. Anais. São Paulo: IBRACON, 2000 (CD Rom).

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Introdução ao concreto estrutural**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Aulas_3_4_1sem2011_imp.pdf> Acesso em: 21 Março 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201 Guide to Durable Concrete: reported by ACI Committee 201. **ACI Materials Journal**, v. 88, n. 5, p. 544-82, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Service Life of Rehabilitated Buildings and Other Structures. STP 1098. Stephen J. Kelley & Philip C. Marshall, 1990.

_____. Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials. ASTM E-632-82. In: Annual book of ASTM Standards. West Conshohocken, 1996.

ANDRADE, C. & GONZALEZ, J. A. Tendencias Actuales en la Investigación sobre Corrosion de Armaduras. **Revista Informes de la Construcción**, Madrid, v. 40, n. 398, p. 7-14, nov.-dic. 1988.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2. v, cap. 31, p. 923- 951. ISBN 85- 98576- 05- 0.

ANDRADE, Maria del Carmem. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992. 104 p. ISBN 85- 7266- 011- 9.

APPLETON, J.; GOMES, A. **Reforço de Estruturas de Betão Armado por Adição de Armaduras Exteriores**. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE), Série I, nº 41, p. 15-20, 1997.

ARANHA, P. M. F. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado da região da Amazônia**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994, 144p.

BAUER, R. J. F. et al. **Influência dos endurecedores de superfícies sobre a resistência ao desgaste por abrasão**. In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 44, 2002, Belo Horizonte - MG. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002 (CD Rom).

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra Carbono**. 2003. 317f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibra de Aramida Kevlar**. 2003. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BERTOLINI L.; ELSENER B.; PEDEFERRI P.; POLDER R.(8), Corrosion Of Steel In Concrete, pages 277 a 283. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley. 2004.

CAMPAGNOLO, J.L.; CAMPOS F., A.; SILVA F., L.C.P **Técnicas de ancoragem com vigas de concreto armado reforçadas com chapas de aço coladas, Anais. 34"** REIBRAC, São Paulo, 1995.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas**. Co-edição, São Paulo: Ed. PINI, Goiânia: Ed. UFG, 1997.

CLIFTON, James R. Predicting the Service Life of Concrete. **ACI Materials Journal**, v. 90, n. 6, p. 611-16, 1993.

Clube do Concreto. **Concreto com armadura em corrosão**. Publicado em: Agosto 2013. Disponível em:< <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/corrosao-das-armaduras-do-concreto.html>>. Acesso em: 20 Março 2017.

Clube do Concreto. **Sistema de proteção para estrutura em concreto armado**. Publicado em: Agosto 2015. Disponível em:<<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/08/sistemas-de-protecao-para-estruturas-de.html>>. Acesso em: 20 Março 2017.

CODY, R. D. et al Experimental deterioration of highway concrete by chloride deicing salts. *Environment & Engineering Geoscience*. V. 2, n. 4, Winter , 1996. p. 575- 588.

COMITE EURO-INTERNATIONAL du BETON (CEB) e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAINTÉ (FIP). **CEB-FIP Model Code 1990. Design Code**. Lausanne: CEB, p. 437, 1993.

COMPANHIA de TECNOLOGIA de SANEAMENTO AMBIENTAL do ESTADO de SÃO PAULO (CETESB). **Agressividade do Meio ao Concreto**. CETESB L1 007. São Paulo: CETESB, 1995.

DOEBELIN, E.O. **Measurement systems - applications and design**. New York: McGraw-Hill. 1990.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Manual de Recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. 2010.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FILHO, Antônio Carmona. **Boletim Técnico**. ALCONPAT BRASIL. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B3-Fissura%C3%A7%C3%A3o-nas-estruturas-de-concreto.pdf>> Acesso em: 21 Março 2017.

GARCEZ, M. R. **Alternativas para Melhoria no Desempenho de Estruturas de Concreto Armado Reforçadas pela Colagem de Polímeros Reforçados com Fibras**. 2007. 267f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HALL, W.B.; TSAI, M. **Load testing, structural reliability and test evaluation**. Structural Safety, Elsevier Science Publishers, v.6, p. 285-302, (1989).

HANAL, João Bento. **Fundamentos do Concreto protendido**. E-Book de apoio, Curso de Engenharia Civil, USP. São Carlos, 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf> Acesso em: 21 Março 2017.

HELENE, P. A Nova ABNT NBR 6118 e a **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Seminário de Patologia das Construções, 2, 2004, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, LEME, UFRGS, 2004. v. 1. p. 1-30

HELENE, P. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo, 1993, 271 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HELENE, P. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. PINI, 2ª ed. São Paulo, 1992. 213 p.

Instituto Brasileiro de Concreto- IBRACON. **Recuperação Estrutural: Diagnóstico e terapias para prolongar a vida útil das obras**. Revista Concreto e Construção, Ano XXXV/ N°49. 2008. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_49.pdf>. Acesso em: 16 Fevereiro 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Bases for design of structures – General requirements. ISO 22111. 2007.

_____. Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered. ISO 6241/1984.

_____. General principles on reliability for structures. ISO 2394. 1998.

_____. General principles on the design of structures for durability. ISO 13823:2008

JOHN, V. M. ET ALL, (2001). **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.

JUVANDES, L. F. P. **Reforço e Reabilitação de Estruturas: Módulo 2**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. 184f. Formação Profissional – Ordem dos Engenheiros – Universidade do Porto, Madeira, Portugal, 2002.

LIAH Elias Rodrigues, REIS Andréa Prado Abreu. **Análise do comportamento de vigas reforçadas por acréscimo de concreto à face comprimida em função da taxa de armadura longitudinal tracionada pré-existente**. Mestrado em Engenharia Civil – CMEC Universidade Federal de Goiás – Escola de Engenharia Civil.

MALLMAN, William. **Concreto Protendido como solução na Arquitetura**. Curso de Arquitetura, Faculdade Meridional, IMED. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgY5kAA/concreto-protendido-como-solucao-na-arquitetura>> Acesso em: 23 Março 2017.

MAILVAGANAM, N. P. **Repair and Protection of Concrete Structures**. Boca Raton, CRC Press, 1992. 470p.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de, et al. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Concreto: Ciência e Tecnologia. 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Ed. São Paulo. PINI, 1994. 580p.

NAKAMURA, Juliana. **Reparo, reforço e recuperação de concreto**. Revista Técnica – Ed. 146, Maio de 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/146/concreto-reparo-reforco-e-recuperacao-de-concreto-285462-1.aspx>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2017.

NAKAMURA, Juliana. **Intervenções corretivas estendem a vida útil das estruturas de concreto armado**. Revista Técnica – Ed. 201, Dezembro 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/201/artigo302536-1.aspx>>. Acesso em: 12 Março 2017.

NTC Brasil. **Entenda o concreto protendido**. Publicado em: Agosto 2015. Disponível em: <<https://ntcbrasil.com.br/blog/entenda-o-concreto-protendido/>>. Acesso em: 20 Março 2017.

OLIVEIRA, Clayton R. de. **Considerações sobre prova de carga em estruturas de concreto**. Revista escola de Minas. Publicado em: Agosto 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672007000100005> Acesso em: 20 Março 2017.

PIANCASTELLI, E.M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

PLEWES, W. G., SHOUSBOE, I. **Strength evaluation of existing concrete buildings**. ACI Committee 437, n.64-61, p.1-6, 1967.

Projetos - Recuperação estrutural. Revista Técnica – Ed. 84, Maio de 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo286279-1.aspx>>. Acesso em: 18 Fevereiro 2017.

Recuperação de estruturas em concreto armado exige planejamento e documentação dos serviços. Rodrigo Carvalho – Engenharia de Estruturas. Publicado em: Setembro 2015. Disponível em: <<http://rodrigocarvalho.com.br/artigos/recuperacao-de-estruturas-de-concreto-armado-exige-planejamento-e-documentacao-dos-servicos/>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2017.

REIS, A. P. A. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho**. 1998. 239f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 102p.

ROSTAM, S. Design Concepts for Durability and Performance. In: **Advanced Studies on Structural Concrete**. CEB Bulletin D'Information nº 221, Lisboa, Portugal, 1994, p. 173-191.

ROSTAM, Steen. Service Life Design - The European Approach. USA, Revista **Concrete International**, v. 15, n. 7, p. 24-32, July 1993.

SILVA, E. A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 2006. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, Moema Ribas; PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Biodeterioração do concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 28, p. 857- 878. ISBN 85- 98576- 04- 2.

SILVA, Turíbio José da. **Predicción de la vida útil de forjados unidireccionales de hormigón mediante modelos matemáticos de deterioro**. 1998. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola técnica superior d'enginyers de Camins, Universidade Politècnica da Catalunya, Barcelona, 1998.

SITTER, W. R. Interdependence Between Technical Service Life Prediction. In: **CEB-RILEM International Prediction of Service Life of Concrete Structure**. Bolonia, out, 1986.

SOUZA, V. C., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1998. 255 p.

SOUSA, A. F. V. S. **Reparação, Reabilitação e Reforço de Estruturas de Betão Armado**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

SILVA, Luiza Kilvia. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no Estado do Ceará**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2011/Luiza_Kilvia_Levantamento> Acesso em: 21 Março 2017.

S. S.. **Dimensionamento de vigas de concreto armado reforçadas com chapas coladas com resina epóxi**. 114 f. Dissertação (Engenharia Civil). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1997. SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de Pilares de Concreto Armado por meio de Encamisamento com Concreto de Alto Desempenho**. 1999. 205f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. **Structural Engineering International**, v. 4, p. 359-366, 2007.

VENEZIANO, D.; MELI, R.; RODRIGUEZ, M. Proof loading for target reliability. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol.104, NoST1, January, pp.79-93, (1978), apud OLIVEIRA, C.R. **Prova de carga em estruturas de concreto**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006).