



PAULO HENRIQUE SILVA DOMINGUES

**ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO PARA A AVALIAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO AVARIADAS EM
ESTABELECIMENTOS PENAIS**

CURITIBA
2020



PAULO HENRIQUE SILVA DOMINGUES

**ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO PARA A AVALIAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO AVARIADAS EM
ESTABELECIMENTOS PENAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Sistemas Estruturais em Concreto, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Sistemas Estruturais em Concreto.

Orientador: Prof. M.Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira.

CURITIBA
2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, fonte de inspiração e de vida, que além de estar sempre presente, multiplicou o tempo, antes escasso, para a elaboração deste trabalho.

Aos pais e familiares, pelo suporte, incentivo e compreensão, permitindo a adequada privacidade nas incontáveis horas de pesquisa e estudo.

Ao Prof. M.Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira pelas orientações e ensinamentos, direcionando apropriadamente cada etapa do TCC.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO PARA A AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO AVARIADAS EM ESTABELECIMENTOS PENAIS

Por

PAULO HENRIQUE SILVA DOMINGUES

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
CONCRETO, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) ____ de _____ de _____.

Kirke Andrew Wrubel Moreira

RESUMO

O complexo carcerário brasileiro conta com um número elevado de detentos, sendo a superlotação uma característica recorrentemente observada. Este fato altera a salubridade no interior dos anexos carcerários, que influi sobre as estruturas de concreto, bem como permite ações de depredação, tendo em vista que a fiscalização se torna menos efetiva. Este trabalho objetiva a elaboração de um procedimento de avaliação de estruturas de concreto avariadas em estabelecimentos penais, com o fim de dar celeridade às tomadas de decisão pelos órgãos públicos, possibilitando a escolha por terapias interventivas adequadas, considerando os custos-benefícios. Para atingir este objetivo, foi realizado um roteiro de avaliação, no qual foi proposto um passo a passo para a inspeção de estruturas de estabelecimentos penais avariadas. Mostrou-se que a existência de um método de avaliação pode ser útil tanto no auxílio das tomadas de decisões em situações emergenciais quanto na realização de manutenções periódicas.

Palavras chave: estabelecimentos penais, estruturas de concreto, avaliação, inspeção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lei de Sitter aplicada na manutenção de estruturas.....	14
Figura 2 – Pavilhão C da Penitenciária do Jucuí-Charqueadas.....	19
Figura 3 – Vazamento de esgoto pelas paredes do Presídio de Porto Alegre	19
Figura 4 – Manchas em estruturas de concreto do Presídio de Porto Alegre	19
Figura 5 – Proporção de manifestações patológicas identificadas no concreto	22
Figura 6 – Trincas em peça de concreto armado	23
Figura 7 – Eflorescências em peça de concreto armado	23
Figura 8 – Viga de concreto armado com corrosão generalizada e lascamento.....	24
Figura 9 – Origem dos problemas patológicos.....	25
Figura 10 – Mecanismo de etringita tardia e micrografia de um pilar com o sintoma	26
Figura 11 – Ataque de cloretos em região de marés	28
Figura 12 – Fissuras devido reação álcali-agregado	29
Figura 13 – Representação dos tipos de corrosão	31
Figura 14 – Corrosão na armadura de concreto.....	32
Figura 15 – Processo de lixiviação em viga de concreto armado	33
Figura 16 – Tipos de fissuras de acordo com os esforços aplicados...	34
Figura 17 – Matriz GUT adaptada à manutenção predial	38
Figura 18 – Ensaio não destrutivos	40
Figura 19 – Modo de funcionamento de um esclerômetro.....	41
Figura 20 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento	42
Figura 21 – Esquema do eletrodo de cobre-sulfato	43
Figura 22 – Propriedades elétricas dos materiais do concreto	44
Figura 23 – Esquema da localização dos eletrodos	45

Figura 24 – Reforço com colagem de chapas de aço	54
Figura 25 – Passos para aplicação de folhas flexíveis de fibras de carbono.....	56
Figura 26 – Reforço de viga com nova armadura	57
Figura 27 – Diferentes configurações da protensão externa	58
Figura 28 – Fluxograma da Pesquisa Bibliográfica	63
Figura 29 – Roteiro de Avaliação de uma Estrutura – Parte 1.....	65
Figura 30 – Roteiro de Avaliação de uma Estrutura – Parte 2.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de presos no Brasil por UF	17
Tabela 2 – Classe de Agressividade Ambiental	30
Tabela 3 – Taxa de corrosão provável a partir do cálculo da resistividade	44
Tabela 4 – Procedimentos de preparo do substrato	47
Tabela 5 – Informações Preliminares	68
Tabela 6 – Histórico da Estrutura de Concreto	70
Tabela 7 – Inspeção Preliminar.....	71
Tabela 8 – Diagnóstico e ensaios.....	74
Tabela 9 – Prognóstico.....	76
Tabela 10 – Terapia.....	78
Tabela 11 – Dimensionamento	80
Tabela 12 – Observações Complementares.....	80

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
FOLHA DE APROVAÇÃO	3
RESUMO	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	7
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	11
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. Objetivo Geral	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
1.4. HIPÓTESE	13
1.5. JUSTIFICATIVAS.....	13
1.5.1. Tecnológica	13
1.5.2. Econômica	13
1.5.3. Social	14
1.5.4. Ambiental	14
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. SITUAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS PENAIIS NO BRASIL ...	17
2.1.1. Dados Estatísticos.....	17
2.1.2. Laudos do IBAPE-RS	18
2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO	20
2.2.1. Conceito.....	20
2.2.2. Manifestação Estrutural e Não Estrutural.....	20
2.2.3. Sintomas, Origens, Mecanismos, Causas e Consequências das Manifestações Patológicas	21
2.2.4. Durabilidade e vida útil.....	35

2.3. INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	36
2.3.1. Inspeção Preliminar.....	36
2.3.2. Inspeção detalhada	37
2.3.3. Diagnóstico.....	37
2.3.4. Prognóstico	37
2.3.5. Terapia	39
2.4. ENSAIOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	39
2.4.1. Ensaios não destrutivos (END).....	39
2.4.2. Ensaios destrutivos	45
2.5. TÉCNICAS DE REPARO, RECUPERAÇÃO, REFORÇO E DEMOLIÇÃO.....	46
2.5.1. Características e Peculiaridades.....	46
2.5.2. Técnicas de Reparo e Recuperação.....	47
2.5.3. Técnicas de Reforço	53
2.5.4. Métodos de Demolição	59
2.6. REQUISITOS DE ESTRUTURAS DE ESTABELECIMENTOS PENAIIS	61
3. METODOLOGIA	62
4. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO	64
5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO	68
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	68
5.2. PREENCHIMENTO DO ROTEIRO.....	68
5.2.1. Informações Preliminares.....	68
5.2.2. Histórico da Estrutura de Concreto.....	69
5.2.3. Inspeção Preliminar.....	70
5.2.4. Diagnóstico e Ensaios	73
5.2.5. Prognóstico	75
5.2.6. Terapia	77
5.2.7. Dimensionamento.....	79
5.2.8. Observações Complementares	80

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	82
ANEXO 1	95

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os estabelecimentos penais no Brasil contêm diversos problemas estruturais, tanto na falta de infraestrutura para acomodar o elevado contingente de presidiários, quanto em avarias em estruturas de lajes, vigas e pilares.

Em um levantamento do Sinclapol-PR (Sindicato das Classes Policiais Civis do Estado do Paraná), em abril de 2019, estimou-se que ao menos 200 cadeias públicas no Paraná tinham problemas estruturais diversos, com algumas apresentando risco de desabamento de laje, como a cadeia pública de Piraí do Sul (BRONOSKI, 2019).

Há diversas notícias que mostram um panorama de superlotação nas cadeias públicas. Um estudo liderado pela jornalista Clara Velasco, elaborado em parceria entre “G1” e “GloboNews”, revela que nos últimos anos (2018-2019) houve um aumento de cerca de 2,6% no abarrotamento de presos provisórios no Brasil.

Esta realidade, de cadeias com número de presos muito superior à sua capacidade, contribui com a deterioração das estruturas de concreto no interior dos anexos carcerários, tendo em vista que a fiscalização torna-se mais laboriosa, o que permite aos detentos executar avarias às peças de concreto, com o objetivo de fuga ou de arrancar armaduras para servir como arma (FRANÇA, 2017).

Diante disso, observa-se que, além das manifestações patológicas recorrentes nas estruturas em concreto armado, também se deve atentar às ações antrópicas de depredação, que se tornaram fatores importantes a serem considerados para a realização da avaliação de uma peça de concreto componente da estrutura de um estabelecimento penal.

Embora não tenha sido encontrado um mapeamento estatístico das principais manifestações patológicas que afetam as estruturas de concreto de penitenciárias, o Promotor Maurício Kalache, em julho de 2015, fez a seguinte

petição à Comissão Interamericana de Direitos Humanos sobre a cadeia pública de Maringá:

“... (O Parecer Técnico) destacava **presença de umidade** em toda unidade de carceragem devido a **infiltrações de teto, parede e piso; paredes com fissuras, rachaduras**; presença de fiação exposta em toda ala e com gambiarras (ligações elétricas improvisadas e precárias) em todas as 6 celas; colchões em péssimos estados de conservação e sem revestimentos impermeáveis; **ausência de ventilação e iluminação adequadas** às celas...”.

Conforme destacado no texto do Promotor, pode-se induzir que os principais problemas em estabelecimentos penais abrangerão sintomas correlacionados com a insalubridade (falta de ventilação e excesso de umidade, gerando manchas e bolores) e com a presença de fissuras, trincas e rachaduras nos elementos estruturais.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Diante dos fatos expostos, pretende-se com este trabalho elucidar o seguinte questionamento: Como elaborar um procedimento padronizado com potencial de auxiliar os órgãos públicos na avaliação de estruturas de concreto avariadas em estabelecimentos penais?

1.3. OBJETIVOS

Frente ao problema enunciado, delineiam-se o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.3.1. Objetivo Geral

Elaborar um procedimento de avaliação de estruturas de concreto avariadas em estabelecimentos penais, permitindo respaldo técnico na escolha da técnica interventiva proposta pelos órgãos públicos.

1.3.2. Objetivos Específicos

Em complemento ao objetivo geral, pretende-se:

- a) Contextualizar a situação dos estabelecimentos penais no Paraná e no Brasil;
- b) Caracterizar as principais manifestações patológicas do concreto;
- c) Analisar diferentes métodos de recuperação, reparo, reforço e demolição de estruturas.

1.4. HIPÓTESE

É possível criar um procedimento de avaliação de estruturas de estabelecimentos penais padronizado para auxiliar na escolha de ações interventivas em peças estruturais avariadas.

1.5. JUSTIFICATIVAS

As justificativas deste trabalho abrangem quatro áreas de atuação: tecnológica, econômica, social e ambiental.

1.5.1. Tecnológica

Sob o ponto de vista tecnológico, este trabalho investiga novas soluções aos órgãos públicos quando se confrontarem com elementos de concreto avariados, permitindo a aplicação da tecnologia disponível para garantir a durabilidade das estruturas de concreto.

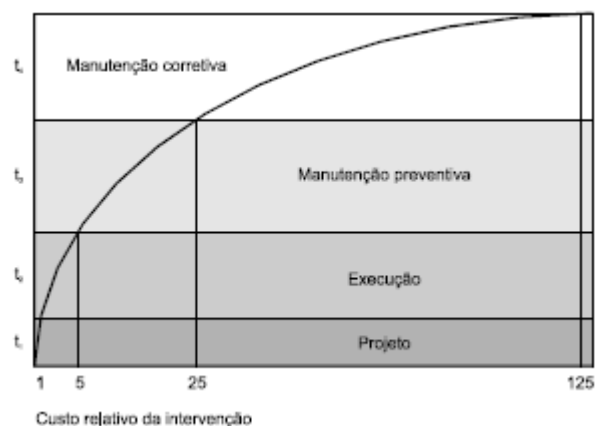
1.5.2. Econômica

Sob o enfoque econômico, atenta-se para o grande número de prisões com problemas estruturais. A adequada avaliação dos danos em peças avariadas de concreto permite a adoção de técnicas que visem a um melhor custo-benefício.

Quanto mais cedo for realizada a intervenção, menores serão os custos despendidos, conforme o modelo proposto pela “Lei de Sitter” ou “Lei dos 5”: os

custos são proporcionais a múltiplos de cinco, a depender do momento em que a intervenção é realizada (projeto, execução, manutenção preventiva ou manutenção corretiva), conforme mostra a Figura 1 (HELENE, 1997).

Figura 1 – Lei de Sitter aplicada na manutenção de estruturas



Fonte: HELENE, 1997.

Portanto, a celeridade nas tomadas de decisão auxilia a evitar a realização de manutenções corretivas (necessidade de reforço ou demolição), muito mais dispendiosas que as manutenções preventivas (como os reparos).

1.5.3. Social

No aspecto social, este trabalho permite trazer maior segurança aos presos e à sociedade, pois ajuda a acelerar os processos de interdição de presídios devido a problemas estruturais, contribuindo com a redução do problema de superlotação.

1.5.4. Ambiental

A adoção de reforço ou recuperação de estruturas viabiliza o emprego de menos material se comparado com a prática de demolição e reconstrução do elemento estrutural, contribuindo para um uso mais racional dos recursos naturais.

Também é relevante a diminuição de resíduos e dos custos de destinação final, tendo em vista que os resíduos gerados na construção civil

exigem cuidados específicos, não podendo ser descartados de forma semelhante aos resíduos domésticos comuns (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Estima-se que atividades construtivas geram cerca de 150 kg/m² de resíduos (SCREMIN, 2007). Já obras de reformas, ampliações e demolições, estima-se que o desperdício de material seja de ordem de 320 kg/m² (KIBERT, 2002). Portanto, o reparo ou o reforço de estruturas de concreto, em substituição à demolição, podem reduzir mais que a metade da quantidade de resíduos gerados.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste item deve ser feita uma apresentação resumida acerca do conteúdo de cada capítulo, como se mostra no exemplo a seguir:

O **Capítulo 1** introduz o tema tratado neste trabalho, evidenciando o objetivo geral e os objetivos específicos, contextualizando as justificativas e apresentando a organização do referido trabalho.

O **Capítulo 2** traz a revisão bibliográfica a ser realizada, iniciando com uma breve apresentação de dados estatísticos quanto à lotação de cadeias públicas no Brasil.

Em sequência, as principais manifestações patológicas encontradas no concreto segundo a bibliografia, que de acordo com sua origem, poderão demandar métodos de intervenção distintos.

Prosseguindo, aborda-se a inspeção de concreto, mostrando como ela deve ser realizada e quais são os critérios a serem adotados para um correto diagnóstico da estrutura.

Também serão analisados ensaios de estruturas de concreto, com o objetivo de apresentar quais são as ferramentas necessárias para proceder à avaliação de uma peça estrutural.

Em complemento, serão expostas diferentes técnicas de reparo, recuperação, reforço e demolição, visando exhibir diferentes soluções a serem adotadas na presença de peças estruturais avariadas.

Concluindo o capítulo, se realizarão esclarecimentos quanto a alguns requisitos técnicos exigidos para a execução de estabelecimentos penais, o que pode interferir na escolha do método de intervenção a ser utilizado.

O **Capítulo 3** aborda a metodologia utilizada para atingir os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

O **Capítulo 4** expõe o procedimento elaborado para avaliação de estruturas de concreto de estabelecimentos penais.

O **Capítulo 5** detalha um caso prático, aplicando os conceitos delineados neste trabalho a uma situação específica.

O **Capítulo 6** conclui o presente trabalho e faz recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SITUAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS PENAIS NO BRASIL

2.1.1. Dados Estatísticos

No dia 06 de agosto de 2018, o Brasil possuía ao todo 602.217 pessoas presas, sendo 27.420 no Paraná, conforme mostra a Tabela 1, elaborada pelo CNJ (ROCHA, 2018).

Tabela 1 – Número de presos no Brasil por UF

UF de Custódia	Quantidade de Privados de Liberdade	Percentual
AC	6.909	1,15
AL	4.634	0,77
AM	6.394	1,06
AP	2.856	0,47
BA	16.273	2,70
CE	20.795	3,45
DF	17.431	2,89
ES	21.287	3,53
GO	17.775	2,95
MA	10.421	1,73
MG	58.664	9,74
MS	22.644	3,76
MT	9.414	1,56
PA	15.706	2,61
PB	11.826	1,96
PE	27.286	4,53
PI	4.535	0,75
PR	27.420	4,55
RJ	77.950	12,94
RN	7.427	1,23
RO	8.667	1,44
RR	2.168	0,36
RS	177	0,03

UF de Custódia	Quantidade de Privados de Liberdade	Percentual
SC	20.434	3,39
SE	4.893	0,81
SP	174.620	29,00
TO	3.604	0,60
Não definida	7	0,00
Total	602.217	1,00

Fonte: Adaptado, ROCHA, 2018.

Analisando os dados do Estado do Paraná, em junho de 2020, os 223 estabelecimentos penais (com dados existentes) comportavam um número total de 24.433 presos, indicando que existe um déficit de cerca de 3.000 vagas no sistema prisional paranaense. Além do problema da insuficiência do número de vagas, segundo o Relatório Mensal do Cadastro Nacional de Inspeções nos Estabelecimentos Penais (CNIEP) divulgado pelo Tribunal de Justiça do Paraná, 86 locais de encarceramento apresentavam condições péssimas, fato que contribui para a superlotação nos presídios. (GEOPRESÍDIOS, 2020).

2.1.2. Laudos do IBAPE-RS

Em 2012, o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia do Rio Grande do Sul (IBAPE-RS) realizou dois laudos técnicos de inspeção predial. Um deles realizado para o Presídio Central de Porto Alegre e o outro para a Penitenciária Estadual do Jucuí-Charqueadas (SALDANHA a e b, 2012).

Conforme as imagens reveladas nos laudos, o ambiente prisional de ambas as carcerárias caracterizam-se como ambientes de alta insalubridade. A Figura 2 mostra o pavilhão C da Penitenciária do Jucuí-Charqueadas; enquanto a Figura 3, local com vazamento de esgoto e acúmulo de lixo no Presídio de Porto Alegre. Nestes ambientes insalubres, é comum o surgimento de manifestações patológicas no concreto, muitas advindas de acúmulo de umidade e infiltrações,

que geram fissuras, trincas e manchas no concreto, conforme Figura 4 (SALDANHA a e b, 2012).

Figura 2 - Pavilhão C da Penitenciária do Jucuí-Charqueadas



Fonte: SALDANHA a, 2012.

Figura 3 – Vazamento de esgoto pelas paredes do Presídio de Porto Alegre



Fonte: SALDANHA b, 2012.

Figura 4 – Manchas em estruturas de concreto do Presídio de Porto Alegre



Fonte: SALDANHA b, 2012.

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO

2.2.1. Conceito

A patologia do concreto é a área de conhecimento que estuda as origens das manifestações patológicas, como elas se formam, quais são as consequências decorrentes dessas e como funcionam os mecanismos de ocorrência das falhas e de degradação das estruturas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Santos et al. (2017) estudar as manifestações patológicas leva ao entendimento de como as degradações ocorrem nas edificações, sendo, portanto, fundamental para a realização de intervenções diante dos danos verificados.

Sendo assim, as manifestações patológicas são desvios, anormalidades, que “conflitam com a integridade ou o comportamento habitual do elemento”. (HELENE et al., 2019).

2.2.2. Manifestação Estrutural e Não Estrutural

As manifestações podem ser classificadas em estruturais e não estruturais. Quando os danos não comprometem a estrutura – nem interferem no seu desempenho, durabilidade e vida útil – diz-se que as manifestações são não estruturais; como, por exemplo, as pequenas fissuras que apenas afetam a estética do edifício. Já as manifestações estruturais são aquelas que podem vir a afetar a estabilidade da edificação, exigindo medidas de intervenção como reparo, reforço, recuperação ou até mesmo a demolição da peça (CARMO, 2003, apud ZUCHETTI, 2015).

Em estruturas de concreto, os limites que separam as manifestações estruturais das não estruturais podem ser correlacionados com os estados limites de serviço, constantes da ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento). Estes limites apresentam os critérios que, se ultrapassados, poderão afetar a durabilidade da estrutura de concreto. O professor

Camacho (2005) ressalta que dentre os estados limites elencados pela norma, destacam-se os seguintes:

- Estado limite de formação de fissuras: ocorre quando a força de tração máxima na seção da peça de concreto se iguala à respectiva força de resistência à tração do concreto. Nesse estado inicia-se a abertura de fissuras na peça de concreto;
- Estado limite de abertura de fissuras: ocorre quando a abertura de fissuras alcança os valores máximos especificados na própria norma. Nesse estado as fissuras possuem a máxima abertura admissível, sendo que qualquer aumento na abertura das fissuras já possui potencial danoso à durabilidade da estrutura de concreto;
- Estado limite de deformação excessiva: ocorre quando as deformações definidas pela norma são igualadas. Deformações mais expressivas podem vir a representar incômodo aos usuários na utilização do ambiente, podendo também trazer danos à estrutura.

Diante do exposto, acrescenta-se que o controle da fissuração excessiva de estruturas de concreto deve ser realizado durante o seu serviço e não em momento próximo à ruptura, sendo primordial para a manutenção do adequado desempenho estrutural das peças de concreto armado (HELENE et al., 2019).

2.2.3. Sintomas, Origens, Mecanismos, Causas e Consequências das Manifestações Patológicas

2.2.3.1. Sintomas

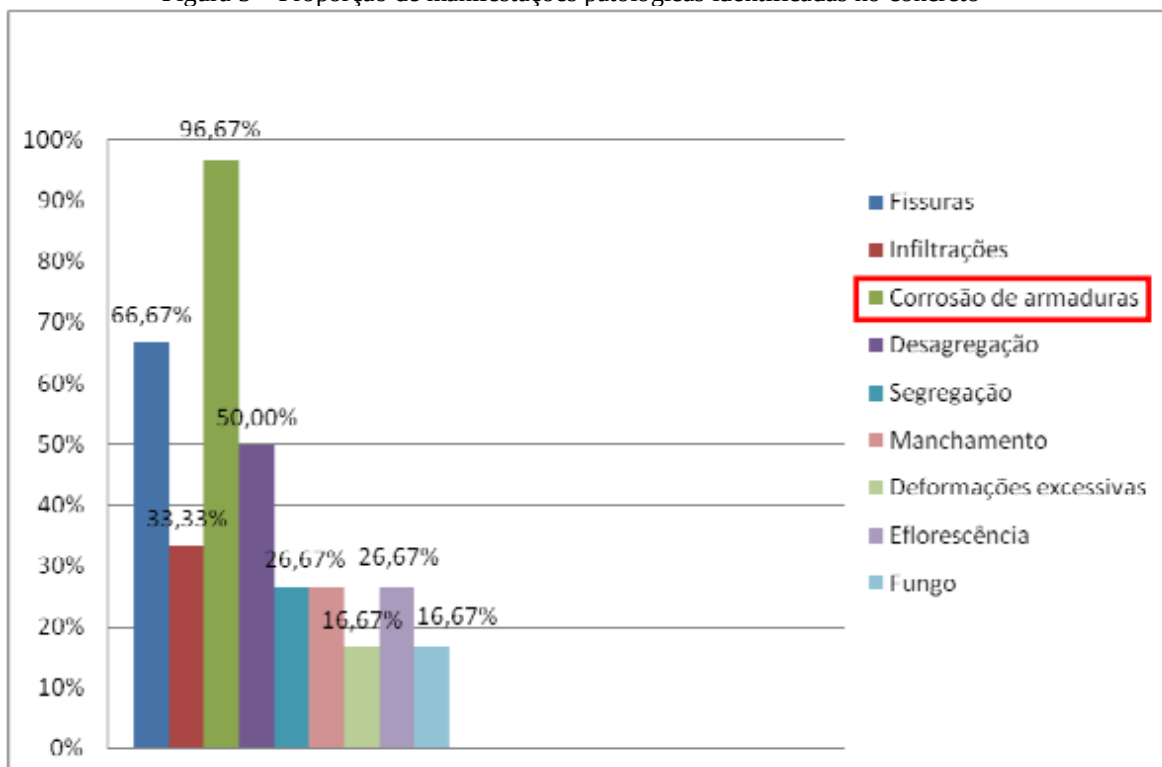
As manifestações patológicas geralmente apresentam sintomas visíveis a olho nu, como manchas, trincas, eflorescências, rachaduras, ferrugem na armadura, deformações excessivas etc. A depender dos defeitos observados na

peça estrutural, poderá ser iniciada a inspeção do concreto, realizando um diagnóstico inicial dos problemas encontrados (HELENE, 1992).

A correta identificação dos sintomas patológicos é essencial para a garantia da estabilidade da estrutura no momento da escolha do critério de intervenção a ser adotado, já que o uso de materiais adequados interfere decisivamente nos serviços de reparo, reforço e recuperação estruturais (SOUZA e RIPPER, 1998).

Conforme estudo de Silva (2011), que analisou trinta obras com incidência de manifestações patológicas no estado do Ceará, o mecanismo de corrosão de armadura foi identificado em 96,67% dos casos, podendo estar associado às fissuras (66,67%), infiltrações (33,33%), desagregação (50%) etc., conforme Figura 5.

Figura 5 – Proporção de manifestações patológicas identificadas no concreto



Fonte: SILVA (2011).

Adiante serão mostradas figuras que ilustram algumas manifestações patológicas identificadas no concreto armado. A Figura 6 retrata um dos principais sintomas encontrados: trincas e fissuras (MELO, 2018).

Figura 6 – Trincas em peça de concreto armado



Fonte: MELO (2018).

Magno (2015) expõe fotografias de diversas manifestações patológicas encontradas em concreto. A Figura 7 mostra um exemplo de eflorescências em uma peça de concreto armado.

Figura 7 – Eflorescências em peça de concreto armado



Fonte: MAGNO (2015).

Sotana et al. (2012) realizaram um levantamento de diferentes sintomas encontrados em peças estruturais de concreto armado a partir de diversas fontes bibliográficas. A Figura 8 mostra uma viga de concreto com corrosão generalizada, apresentando lascamento da peça estrutural.

Figura 8 – Viga de concreto armado com corrosão generalizada e lascamento



Fonte: PACHA apud SOTANA et al. (2012).

2.2.3.2. Origens

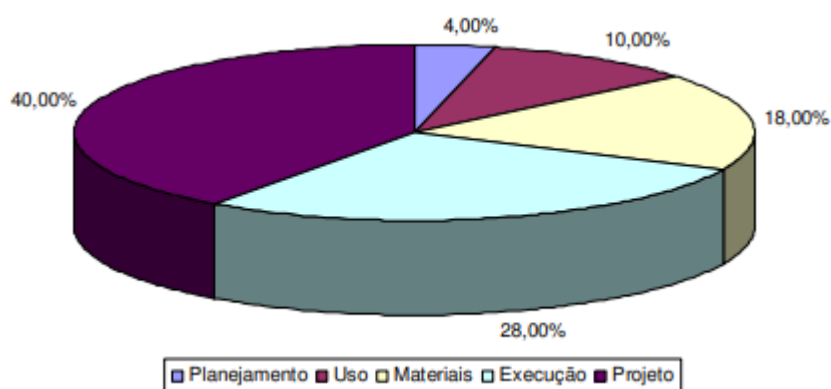
A origem das manifestações patológicas está relacionada à etapa construtiva da qual elas são provenientes. Helene (1992) divide a obra em cinco etapas principais: “planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso”.

As etapas de produção (quatro primeiras) costumam durar aproximadamente 2 anos, enquanto a etapa de uso, segundo NBR 6118:2014,

deve ser superior ou igual a 50 anos. Dessa forma, a maioria dos sintomas só se manifesta durante o uso da edificação (HELENE, 1992).

Paulo Helene propõe que a seguinte distribuição de probabilidades quanto às possíveis origens de sintomas patológicos, conforme ilustra a Figura 9: planejamento (4%), uso (10%), materiais (18%), execução (28%) e projeto (40%) (IANTAS, 2010).

Figura 9 - Origem dos problemas patológicos



Fonte: HELENE, 2003 apud IANTAS, 2010.

A correta identificação da origem é importante, pois (mesmo que os sintomas aparentem ser iguais) o procedimento terapêutico a ser adotado pode não ser o mesmo caso o problema se relacione, por exemplo, com a etapa de uso ou com a etapa de produção (HELENE, 1992).

2.2.3.3. Mecanismos

Também é relevante conhecer os mecanismos ou processos que conduzem ou facilitam a ocorrência dos sintomas nas peças de concreto. A correção dos vícios construtivos será realizada com base no conhecimento de como evoluem as manifestações patológicas em vigas, lajes e pilares (HELENE, 1992).

Sahuinco (2011) discorre sobre os seguintes mecanismos de deterioração, a serem analisados neste trabalho: ataque de sulfatos, ataque de

cloretos, carbonatação do concreto, reação álcali-agregado, agressividade do meio ambiente, corrosão das armaduras, lixiviação do concreto e fissuras.

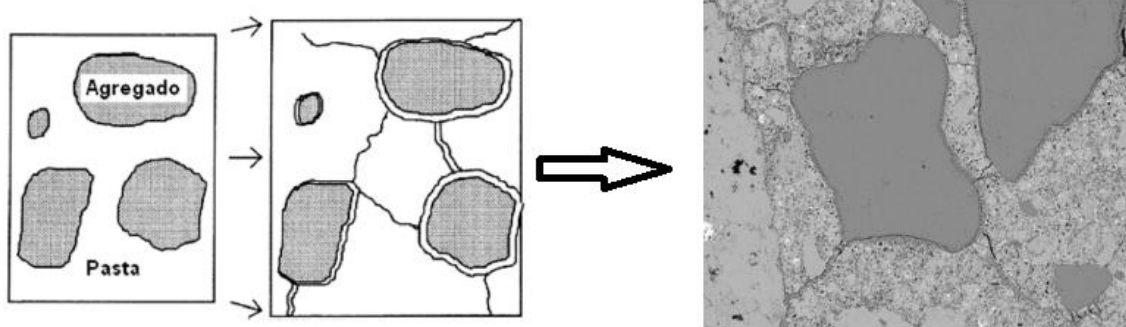
a) Ataque de sulfatos

A presença dos sulfatos pode ser verificada tanto no solo e na água do mar quanto no próprio concreto, sendo os sulfatos mais comuns os de sódio, cálcio e magnésio (SAHUINCO, 2011).

O sulfato na forma sólida não ataca o concreto, porém quando dissolvido em meio aquoso, forma os íons sulfatos que reagem com o aluminato tricálcico não hidratado (C_3A) formando etringita. Também reagem com hidróxido de cálcio, formando sulfato de cálcio dihidratado (gipsita) (NEVILLE, 2016).

A formação de etringita envolve processos expansivos, que tendem a criar fissuras na pasta no interior do concreto, como indica a Figura 10 (MELO, 2010). A etringita tardia só ocorre se houver as três características a seguir: presença de sulfato em excesso no cimento, temperatura de cura ou do concreto elevada (acima de $70^{\circ}C$) e presença de água líquida no concreto (SILVA et al, 2018).

Figura 10 – Mecanismo de etringita tardia e micrografia de um pilar com o sintoma



Fonte: Adaptado, MELO, 2010.

A formação da gipsita está associada a uma redução da resistência à tração do concreto, pois causa perda de adesão entre agregado e pasta, fissuração e até lascamento do concreto, em um processo expansivo. Pode também combinar-se com o carbonato de cálcio, reagindo com as moléculas C-S-H,

principal composto responsável pelo endurecimento do concreto, formando a taumasita (PEREIRA, 2015). Neville (2016) pondera que a formação da taumasita (produto mais danoso ao concreto) não é muito comum, ocorre geralmente em fundações (concretos enterrados) e em temperaturas inferiores a 15°C.

Dessa forma, o ataque de sulfatos é caracterizado pela formação de produtos expansivos que, apesar de gerarem um pequeno ganho de resistência no início da reação, acabam diminuindo a coesão do concreto, abrindo fissuras na pasta do cimento e criando caminhos preferenciais para formação de outros mecanismos patológicos (PEREIRA, 2015).

Para se prevenir o ataque de sulfatos, Neville (2016) recomenda utilizar cimentos com baixo teor de C_3A (cimentos resistentes a sulfatos) ou diminuir a quantidade de hidróxido de cálcio na pasta de cimento com o uso de pozolana ou de escória de alto forno.

b) Ataque de cloretos

Os ataques de íons cloreto ocorrem principalmente em regiões de variação de maré ou em regiões que recebam efluentes de esgotos domésticos e industriais. O cloro também pode advir de aditivos aplicados no concreto (FIGUEIREDO, 2005, apud SAHUINCO, 2011).

Sua principal consequência é a despassivação do concreto, causando trincas e deslocamentos por conta da corrosão das barras de aço, que trata de um processo expansivo, como mostra a Figura 11 (SILVA, 2017).

Para evitar a ocorrência do fenômeno, a NBR 6118:2014 e a NBR 7211:2009 (versão corrigida 2019) indicam o uso de cimento com pozolana ou com escória de alto forno e uma massa de até 0,1% de cloreto em agregados, respectivamente (SIQUEIRA et al, 2017). Também é recomendado utilizar concreto com baixa relação água-cimento e baixa permeabilidade e porosidade, para dificultar o processo de difusão dos íons cloreto (SILVA, 2017).

Figura 11 – Ataque de cloretos em região de marés



Fonte: SILVA, 2017.

c) Carbonatação do concreto

A carbonatação é resultado da penetração do gás carbônico atmosférico (CO_2) pelos poros do concreto. Dentro do concreto, o CO_2 reage com o hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – formando o carbonato de cálcio (CaCO_3). Tal processo desencadeia a diminuição do pH do concreto para valores inferiores a 9, ocorrendo a despassivação do aço (SOUZA e RIPPER, 1998).

Entretanto, Neville (2016) pondera que a velocidade de carbonatação tende a diminuir com o passar do tempo, tratando-se de um processo lento, principalmente se os poros do concreto estiverem preenchidos com água, que retarda ainda mais o processo de difusão do gás carbônico.

Como o processo de carbonatação apenas pode trazer problemas se a profundidade de penetração alcançar as armaduras da peça estrutural recomenda-se – além da escolha adequada para o valor do cobrimento – diminuir a porosidade e permeabilidade do concreto (VALENÇA, 2016).

d) Reação álcali-agregado

A reação álcali-agregado é resultado da interação entre a sílica reativa presente em alguns minerais utilizados como agregados e os íons álcalis (geralmente Na^+ e K^+) imersos na pasta de cimento (SOUZA e RIPPER, 1998).

A reação é expansiva, causando fissuração e até a desagregação do concreto, abrindo fissuras que variam de 0,1 mm até 10 mm (NEVILLE, 2016). Sahuinco (2011) informa que a reação forma um mapa de fissuração na superfície do concreto, como observado na Figura 12.

Figura 12 – Fissuras devido reação álcali-agregado



Fonte: (LAGOEIRO, 2014).

Para evitar e até dirimir a ocorrência deste mecanismo de degradação, Souza e Ripper (1998) aconselham, além de evitar o uso de agregados reativos, acrescentar quantidades adequadas de pozolana.

e) Agressividade do meio ambiente

Sahuinco (2011) relata que a agressividade do meio ambiente está relacionada com a poluição atmosférica, que coopera com a redução da durabilidade e vida útil da peça estrutural. Entre os problemas gerados, destacam-se a excessiva transmissão de gases carbônicos e a ocorrência de chuvas ácidas.

A NBR 6118:2014 detalha as classes de agressividade ambiental, como ilustra a Tabela 2. Por exemplo, uma edificação localizada na zona urbana, geralmente é classificada como de agressividade moderada (classe II), com risco

pequeno de deterioração da estrutura. Já uma estrutura localizada em zona de respingos de maré, a agressividade é muito forte (classe IV) e o risco de deterioração da estrutura é elevado.

Tabela 2 – Classe de Agressividade Ambiental

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	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: Adaptado, NBR 6118:2014.

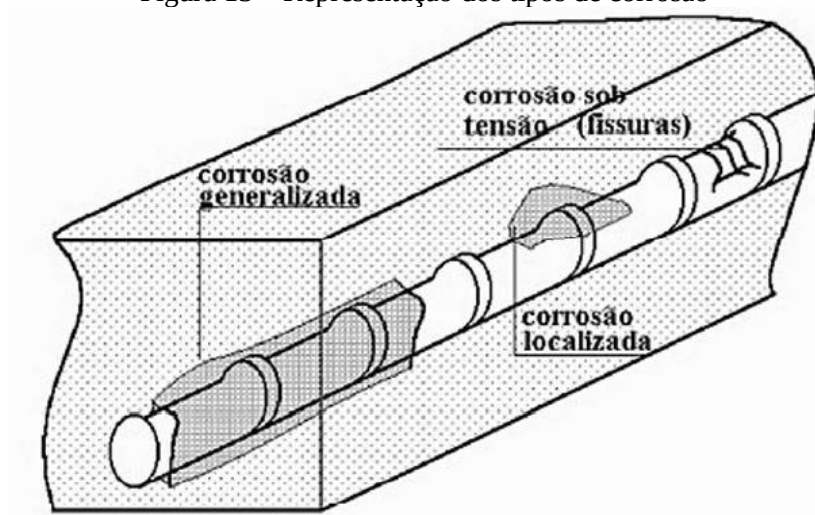
f) Corrosão das armaduras

O concreto é um meio alcalino, apresentando altos valores de pH (cerca de 13). Tal condição é ideal para as barras de aço, pois elas ficam impedidas de entrar em contato com agentes agressivos. Porém, existem duas possibilidades – já comentadas nos itens “b” e “c” – de despassivar a armadura: atuação de íons cloreto e carbonatação do concreto (diminuição do pH do concreto) (SAHUINCO, 2011).

Souza e Ripper (1998) trazem outras hipóteses de despassivação do aço: corrosão por tensão fraturante (pode ocorrer com aços protendidos em ambiente agressivo); corrosão pela presença de hidrogênio atômico (o aço fica mais frágil); corrosão por pite (generalizada – ação dos íons cloreto – e localizada – carbonatação).

A Figura 13 mostra uma representação de como ocorre a corrosão na armadura, demonstrando a corrosão generalizada, localizada e sob tensão (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 13 – Representação dos tipos de corrosão



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

A corrosão das armaduras é um processo eletroquímico, onde existe uma diferença de potencial no interior do concreto, com a água sendo a solução aquosa do meio e a barra de aço, o condutor. Dessa combinação, forma-se uma pilha elétrica, onde a região com menor concentração de oxigênio é a anódica, local que iniciará a corrosão e haverá depósito de hidróxido ferroso (cor amarela). Na outra região, a catódica, haverá depósito de hidróxido férrico (cor vermelha). Estes dois produtos são denominados de ferrugem, principal sinal de corrosão do aço (SOUZA e RIPPER, 1998).

A Figura 14 mostra uma seção de concreto com armadura exposta, apresentando os sinais de corrosão (ferrugem amarela e vermelha) (SACHS, 2015).

Logo, para impedir a ocorrência de corrosão é necessário que o concreto não entre em contato com íons cloro e o seu pH não diminua para valores próximos de 9. Uma baixa porosidade e permeabilidade, bem como a adoção do cobrimento adequado podem retardar o processo corrosivo (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 14 – Corrosão na armadura de concreto



Fonte: SACHS (2015).

g) Lixiviação do concreto

A lixiviação é uma das formas de corrosão do concreto, consistindo no arraste do hidróxido de cálcio presente na pasta do concreto, diminuindo seu valor de pH. Este arraste é ocasionado pela ação recorrente de águas puras ou ácidas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Além de diminuir o pH, este processo aumenta a porosidade do concreto. As eflorescências (manchas claras na superfície do concreto) são o principal indicativo de que o processo de lixiviação está ocorrendo (SAHUINCO, 2011).

A Figura 15 mostra o aspecto do concreto durante o processo de lixiviação em uma viga de concreto armado, podendo-se notar a formação de manchas claras e até de estalactites (KERKOFF, 2017).

Uma das formas de se evitar a formação de eflorescências está na utilização de cimentos pozolanos, tendo em vista que estes reduzem a quantidade de hidróxido de cálcio existente na pasta de concreto (GUERRA, 2017).

Figura 15 – Processo de lixiviação em viga de concreto armado



Fonte: KERKOFF, 2017.

h) Fissuras

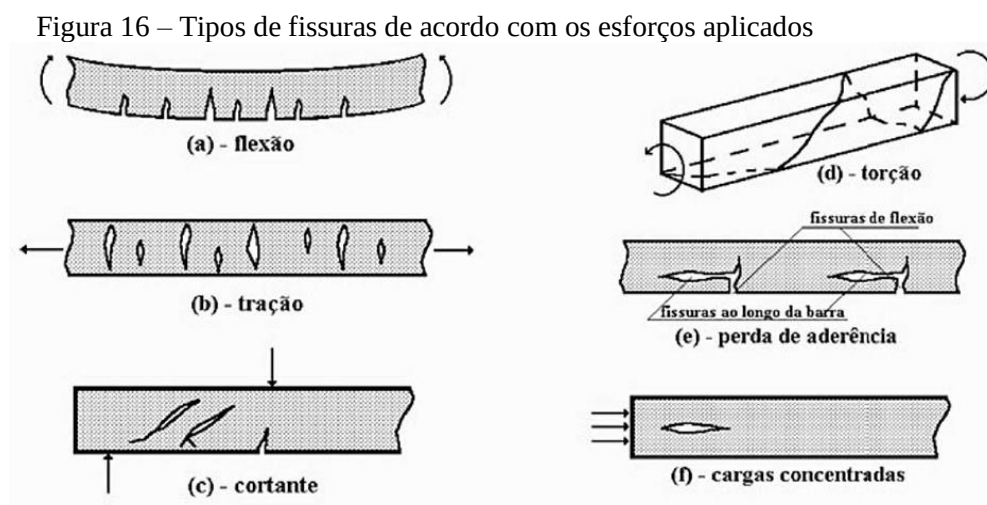
Lencioni (2005) explica que sempre que as forças tratativas aplicadas ao concreto superam a resistência à tração do elemento, ocorre a formação de fissuras.

Porém, a ocorrência da fissuração é natural do concreto e não indica, por si só, a existência de problemas patológicos. Logo, deve ser realizado um mapeamento das fissuras, verificando se elas são ativas (a causa de formação da fissura ainda está em atividade) ou inativas (a causa deixou de existir). Após o mapeamento e definição das causas, pode-se corretamente executar o reparo ou reforço da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

A NBR 6118:2014 estipula limites para a abertura de fissuras para o concreto armado a partir da agressividade da classe ambiental. Uma estrutura localizada em região rural pode ter abertura de fissuras de até 0,4 mm, enquanto para uma estrutura, em região urbana, o limite é de 0,3 mm.

Souza e Ripper (1998) elencam diversas causas para ocorrência de fissuração, além das já mencionadas. A Figura 16 mostra as configurações prováveis de formação de fissuras a partir dos esforços aplicados. Como se pode observar, o esforço cortante tende a gerar trincas aproximadamente a 45°,

enquanto se aplicado um momento fletor, acima da resistência do concreto, fissuras ao longo do bordo tracionado da viga aparecerão.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

2.2.3.4. Causas

Souza e Ripper (1998) separam as causas de manifestações patológicas em intrínsecas e extrínsecas. As causas intrínsecas correspondem aos problemas particulares do concreto, com origens na etapa construtiva ou de utilização. Já as causas extrínsecas ocorrem quando fatores externos danificam a estrutura.

O IBAPE (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias) classifica as causas das anomalias em endógenas (problemas de projeto, materiais e execução), exógenas (fatores externos provocados por terceiros), naturais (fenômenos da natureza) e funcionais (envelhecimento natural e vida útil da estrutura) (PUJADAS e SALDANHA, 2012).

2.2.3.5. Consequências

As consequências estão relacionadas com um prognóstico, ou seja, quais problemas podem surgir das manifestações patológicas existentes na peça estrutural. Helene (1992) separa as consequências em dois tipos: uma relacionada à estética da estrutura, enquanto outra à estabilidade.

Ambas as consequências necessitam de intervenções tempestivas, pois as manifestações patológicas são, geralmente, progressivas e tendem a permitir que novos sintomas apareçam (HELENE, 1992).

2.2.4. Durabilidade e vida útil

A durabilidade e a vida útil de estruturas de concreto vêm recebendo cada vez mais atenção na construção civil, visto que muitos são os problemas oriundos das manifestações patológicas e seus efeitos (MEDEIROS, ANDRADE e HELENE, 2011).

Tanto a durabilidade quanto a vida útil possuem diversos conceitos. Baseando-se na NBR 6118:2014, temos que a durabilidade se relaciona com a “capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas” em projeto; enquanto a vida útil é “o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas”.

Segundo Couto (2017), o *fib Model Code for Service Life Design* (2010) elenca quatro principais métodos para quantificação da vida útil de projeto de uma estrutura: probabilístico, semiprobabilístico, com base em experiências satisfatórias anteriores e de prevenção da deterioração.

Os métodos probabilísticos e semiprobabilísticos utilizam modelos estatísticos e determinísticos para se estipular a vida útil da estrutura, em anos. Em contrapartida, os outros dois métodos procuram definir limites máximos e mínimos para garantir o desempenho da estrutura e evitar o início da deterioração da estrutura (COUTO, 2010).

Embora seja possível determinar a vida útil da estrutura quantitativamente (em anos) – a partir do conhecimento do modo de propagação de líquidos e gases agressivos ao concreto armado e do uso de métodos probabilísticos –, a NBR 6118:2014 ainda se utiliza somente do método que se baseia em experiências anteriores, prescrevendo limites de cobrimento, resistência do concreto, relação água/cimento e consumo de cimento a serem observados. Tal método apenas permite classificações qualitativas que

correlacionam a adequação da estrutura ao grau de exposição, sendo muitas vezes visto como obsoleto, retrógado ou insuficiente (MEDEIROS, ANDRADE e HELENE, 2011).

Conforme a NBR 15575-1:2013 (Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais) a vida útil de projeto da estrutura de um edifício deve ser de no mínimo 50 anos.

Portanto, a correta identificação dos sintomas deletérios na estrutura deve permitir que o reparo, a recuperação e o reforço da estrutura recuperem o desempenho projetado da estrutura, podendo até prolongar a vida útil inicialmente prevista (GOMES, 2006).

2.3. INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

O diagnóstico de estruturas de concreto armado é dividido em cinco fases: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, prognóstico e terapia. (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

2.3.1. Inspeção Preliminar

A primeira fase, inspeção preliminar, consiste em verificar se existem os antecedentes históricos de manifestações patológicas para o edifício a ser analisado, ou seja, em realizar a anamnese da obra. (TOMAZELI, 2017). Segundo Tutikian e Pacheco (2013), é nessa fase que se realiza a vistoria *in loco*, realizando-se o levantamento de dados e anotando os principais sintomas patológicos manifestados (inspeção visual).

O levantamento de dados abrange informações do histórico da construção; quais materiais e técnicas construtivas foram empregados; se ocorreram inspeções anteriores, indicando tendências de formação de manifestações patológicas, medidas interventivas adotadas ou recomendadas; e qualquer outra informação útil que possa subsidiar a análise técnica da edificação (BERTOLINI, 2014).

A inspeção visual é uma análise preliminar dos fenômenos patológicos observados na parte externa (visível a olho nu) dos elementos estruturais. Pretende-se identificar a “frequência, a extensão e a posição das áreas” afetadas pelos diferentes sintomas, formulando hipóteses quanto às possíveis causas e avaliando a gravidade dos danos (BERTOLINI, 2014).

2.3.2. Inspeção detalhada

A segunda fase, inspeção detalhada, consiste na análise dos dados coletados, verificando qual a interferência dos vícios identificados na estabilidade global da estrutura (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

Segundo Tomazeli (2017), nesta fase são realizados ensaios técnicos, medições, análises físico-químicas etc. Tutikian e Pacheco (2013) recomendam também que seja analisado: “(...) plano de amostras; tabela de tipificação dos danos; técnicas de ensaio/medição/análises adequadas; regiões onde deverão ser realizados ensaios (...)”.

2.3.3. Diagnóstico

Na terceira fase, diagnóstico, definem-se as origens, os mecanismos e as causas das manifestações patológicas identificadas (MAZER, 2012).

O diagnóstico envolve “todo o processo de entendimento e explicação científica dos fenômenos ocorridos”. Neste momento da inspeção é que são analisadas as hipóteses, a partir de uma análise global da estrutura, rejeitando ou aprovando as possíveis origens e causas dos sintomas observados nas inspeções preliminares e detalhada (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

2.3.4. Prognóstico

Em sequência, é realizado um prognóstico, onde se predizem as consequências prováveis para a peça estrutural, caso nenhuma medida paliativa seja tomada. “Em função do prognóstico, o especialista define o objetivo da

intervenção, que poderá ser: erradicar a enfermidade; impedir ou controlar sua evolução; não intervir” (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

O prognóstico pode ser utilizado para realizar o “ordenamento das prioridades” de intervenção, ou seja, dentre todas as estruturas que apresentam problemas estruturais, qual delas deve ser atendida primeiro. (CARVALHO e ALMEIDA, 2017).

Uma das ferramentas para identificar as prioridades é a matriz GUT, que relaciona a gravidade, a urgência e o tempo. A Figura 17 mostra uma adaptação, proposta por Gomide et al. (2009), da matriz GUT à manutenção predial, distribuindo pesos para a gravidade, urgência e tendência do problemas detectados. Quanto maior o peso atribuído à manifestação patológica maior será a prioridade de intervenção (CARVALHO e ALMEIDA, 2017).

Figura 17 – Matriz GUT adaptada à manutenção predial

GRAU	GRAVIDADE	PESO
Total	Perda de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício	10
Alta	Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício	8
Média	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício	6
Baixa	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Nenhuma		1
GRAU	URGÊNCIA	PESO
Total	Evento em ocorrência	10
Alta	Evento prestes a ocorrer	8
Média	Evento prognosticado para breve	6
Baixa	Evento prognosticado para adiante	3
Nenhuma	Evento imprevisto	1
GRAU	TENDÊNCIA	PESO
Total	Evolução imediata	10
Alta	Evolução em curto prazo	8
Média	Evolução em médio prazo	6
Baixa	Evolução em longo prazo	3
Nenhuma	Não vai evoluir	1

Fonte: GOMIDE et al., 2009, apud CARVALHO e ALMEIDA, 2017.

2.3.5. Terapia

Por fim, na quinta e última fase, estabelece-se a terapia a ser adotada para resolução dos problemas encontrados, podendo ser optado por uma ação de reforço, recuperação, reparo, demolição etc. (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

A terapia tem o objetivo de mitigar e corrigir as manifestações patológicas identificadas na estrutura, evitando que o edifício não trabalhe dentro do desempenho planejado (GONÇALVES, 2015).

2.4. ENSAIOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

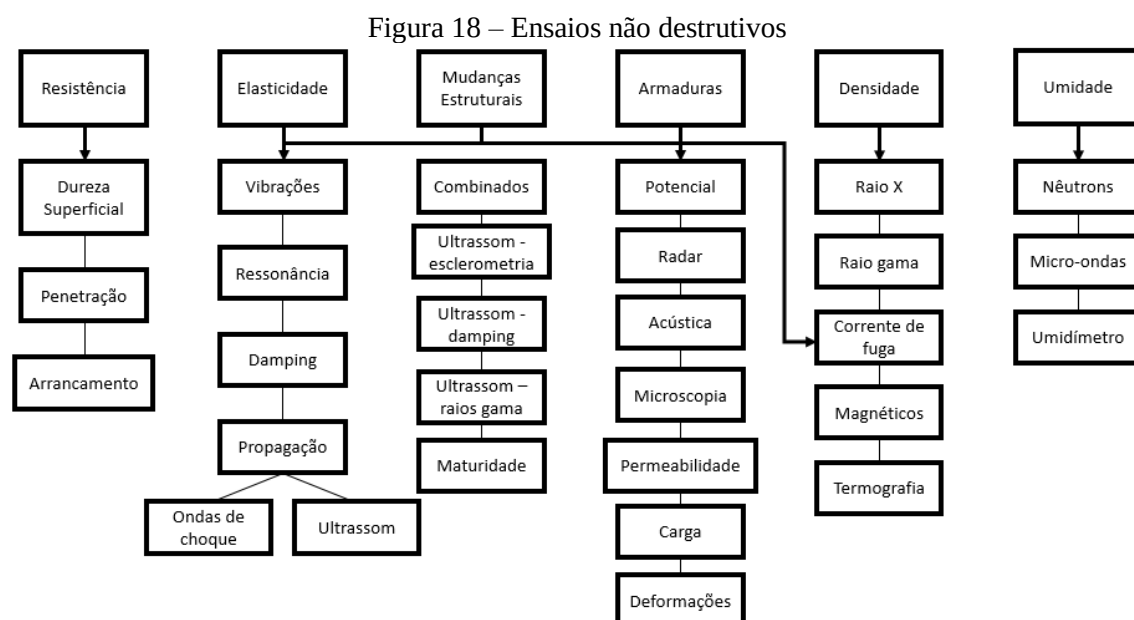
Os ensaios de estruturas de concreto dedicam-se a obter informações adicionais – como resistência à compressão, módulo de elasticidade, posição da armadura – que subsidiarão o dimensionamento do reparo ou reforço a ser executado. Eles dividem-se em não destrutivos (END) e destrutivos (CANDIAN, 2017).

Os ensaios não destrutivos não alteram as características físicas, mecânicas, dimensionais ou químicas da peça estrutural. São muito utilizados como forma de realizar o controle da qualidade do concreto, verificando se há existência de descontinuidades ou defeitos. Já os ensaios destrutivos são realizados a partir da retirada de testemunhos para a confecção de corpos de prova (MAZER, 2012).

2.4.1. Ensaios não destrutivos (END)

Existem diversas vantagens em se utilizar ensaios não destrutivos para se conhecer as características da estrutura. Medeiros (2019) elenca como fatores favoráveis: causar pouco ou nenhum dano à estrutura, poderem ser aplicados com a estrutura em uso e permitir que os problemas sejam verificados ainda no estágio inicial de formação. Dessa forma, os END têm muita utilidade na realização de manutenção preventiva das estruturas.

Mazer (2012) apresenta um quadro que relaciona os principais ensaios a serem executados a partir das características do concreto que se deseja conhecer. A Figura 18 mostra que para se estimar a resistência do concreto, por exemplo, podem ser realizados ensaios de dureza superficial, penetração e arrancamento. Neste trabalho serão detalhados os seguintes métodos: esclerometria, pacometria (detectores de materiais), ultrassom, arrancamento, potencial de corrosão e resistividade.



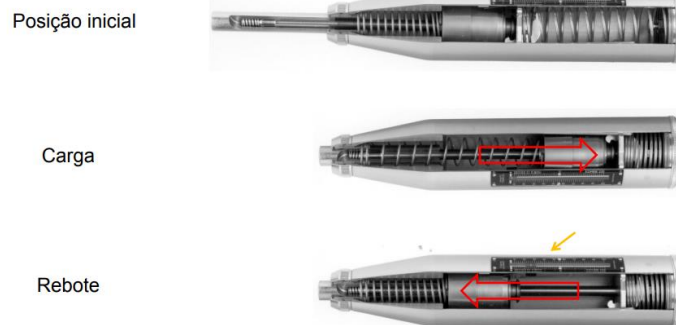
Fonte: Adaptado, MAZER (2012).

2.4.1.1. Esclerometria

A esclerometria utiliza um dispositivo (esclerômetro) para avaliar a dureza superficial do concreto, sendo normatizada pela NBR 7584:2013. Ele é considerado um método complementar que consiste em medir a energia de impacto causada pelo martelo do esclerômetro sobre a superfície do concreto, obtendo-se o Índice Esclerométrico (IE). Com este índice pode-se estimar a resistência à compressão do concreto, por meio de curvas de correlações (CANDIAN, 2017).

A Figura 19 detalha o princípio de funcionamento de um esclerômetro (DUARTE, 2016).

Figura 19 - Modo de funcionamento de um esclerômetro



Fonte: DUARTE (2016).

2.4.1.2. Pacometria (Detectores de Materiais)

A pacometria é um ensaio que utiliza um pacômetro com o objetivo de determinar o posicionamento das armaduras no interior das peças de concreto, podendo estimar o recobrimento e os diâmetros das barras metálicas utilizadas. O modo de funcionamento envolve a interação entre as forças eletromagnéticas emitidas pelas barras de aço e um pulso de frequência criado pelo aparelho (MAZER, 2012).

Tal ensaio pode ser aplicado como preparação para a realização de ensaios posteriores, como esclerometria, ultrassom, resistividade, ensaios destrutivos e também para verificar se a obra executada condiz com o projeto (localização da armadura, diâmetro das barras, cobrimento do concreto) (DUARTE, 2016).

Outra técnica mais avançada para se identificar outros materiais, além do aço, é o ensaio GPR, que utiliza um escaneamento por radar através da propagação de ondas de alta frequência. Ele pode ser necessário caso se precise maior precisão na aferição do posicionamento e diâmetro das barras de aço ou quando também seja necessário conhecer o posicionamento de instalações (elétrica, gás, hidráulica) (NAKAMURA, 2018).

2.4.1.3. Ultrassom

O ensaio de ultrassom é normatizado pela NBR 8802:2019. Este método avalia a velocidade de propagação do pulso ultrassônico, determinando o

tempo no qual as ondas emitidas percorrem certa distância no interior do concreto (SAHUINCO, 2011).

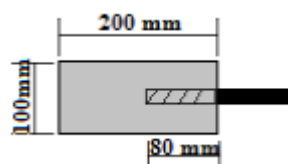
As técnicas de medição de ultrassom são: direta (dois transmissores ultrassônicos posicionados em faces opostas do objeto inspecionado), indireta (dois transdutores em posições angulares – mede a profundidade de trincas) e semidireta (um transdutor angular e outro em posição reta – detecta falhas internas) (MAZER, 2012).

Dessa forma, o método do ultrassom pode ser utilizado para se aferir o módulo de elasticidade dinâmico do concreto (apenas quando o concreto apresenta-se são), bem como sua resistência à compressão e a existência de vazios. Também possibilita estimar se há descontinuidades na peça, medindo a profundidade de fissuras internas (NAIK, 2004, apud SAHUINCO, 2011).

2.4.1.4. Arrancamento

No ensaio de arrancamento molda-se um corpo de prova de concreto, fixando a ele um elemento metálico imerso na pasta de concreto (Figura 20). Mede-se a força necessária para se arrancar o elemento metálico com o uso de um dinamômetro (MAZER, 2012).

Figura 20 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento



Fonte: DORIA (2014).

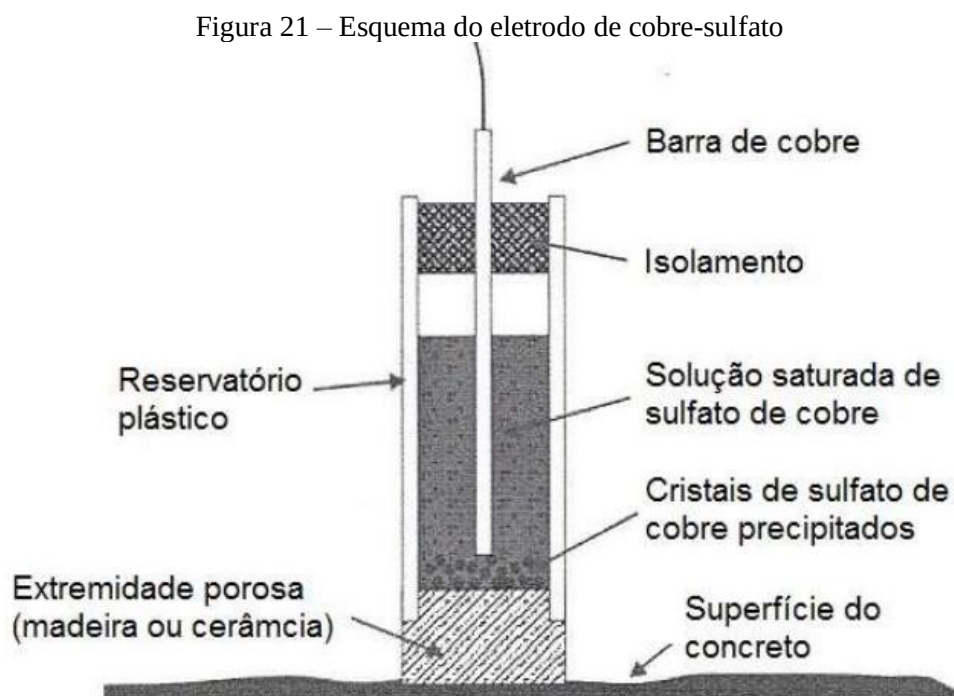
Os ensaios de arrancamento são muito úteis para determinar a aderência aço-concreto, quando se pretende simular a reposição ou o reforço de armadura em estruturas de concreto (DORIA, 2014).

2.4.1.5. Potencial de corrosão

Neste método pretende-se medir a diferença de potencial entre a armadura do concreto armado e um eletrodo de referência de sulfato de cobre (MAZER, 2012).

Figueiredo (2016) apresenta o esquema interno do eletrodo de referência de cobre-sulfato, conforme mostra a Figura 21.

Quanto maior a diferença de potencial, maior é a possibilidade de corrosão. Mazer (2012) informa que, de acordo com a ASTM C876, se a diferença de potencial for inferior a -200 mV considera-se que há ausência de corrosão. Entre -200 mV e -350 mV, há indícios de que a corrosão se iniciou na armadura. Para valores maiores que -350 mV, a condição da armadura é tida como inaceitável, caracterizando corrosão ativa.

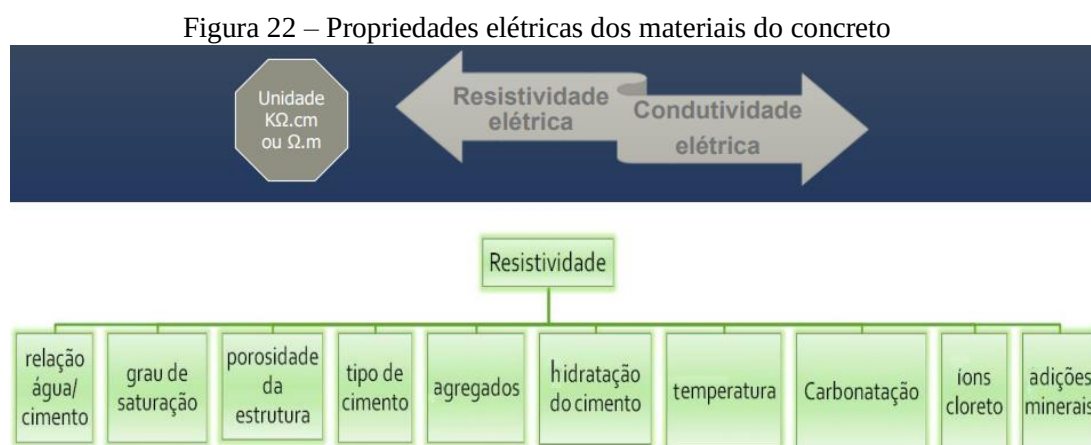


Fonte: FIGUEIREDO (2016).

2.4.1.6. Resistividade

A resistividade elétrica define a probabilidade do processo corrosivo já ter se iniciado na armadura do concreto. A Figura 22 mostra que os diferentes materiais componentes do concreto possuem diferentes comportamentos de resistividade. Por exemplo, a presença de íons cloreto e adições minerais aumentam a condutividade elétrica do elemento, facilitando os processos corrosivos. Em contrapartida, uma baixa relação água/cimento aumenta a resistividade elétrica da peça, dificultando a ocorrência de corrosão na armadura (FIGUEIREDO, 2016).

Mazer (2012) ilustra que o *Comité Euro-Internacional du Beton* (CEB 192:1988) associou o valor encontrado pela resistividade elétrica ($\Omega.m$) com a taxa de corrosão provável. De acordo com a Tabela 3, caso a resistividade do concreto seja inferior a 50 $\Omega.m$ é muito provável que a taxa de corrosão seja elevada. Porém, para valores maiores que 200 $\Omega.m$, a taxa de corrosão pode ser considerada desprezível.



Fonte: FIGUEIREDO (2016).

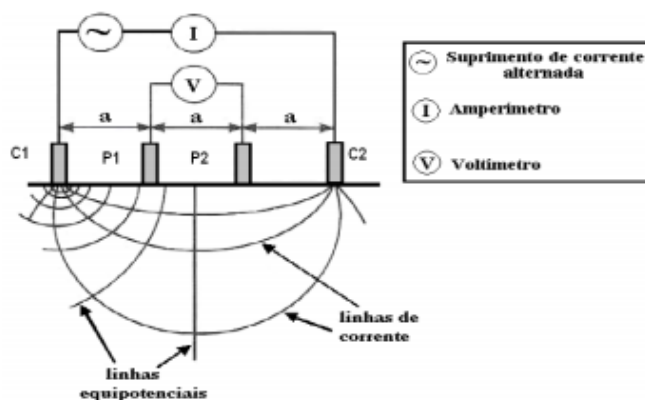
Tabela 3 – Taxa de corrosão provável a partir do cálculo da resistividade

Resistividade do concreto ($\Omega.m$)	Taxa de corrosão provável
Maior que 200	Desprezível
Entre 100 e 200	Baixa
Entre 50 e 100	Alta
Menor que 50	Muito Alta

Fonte: Adaptado, CEB 192 (1988) apud MAZER (2012).

O cálculo da resistividade pode ser realizado pelo Método de Werner ou dos quatro eletrodos (FIGUEIREDO, 2016). O esquema da Figura 23 mostra um método de determinação do valor da resistividade.

Figura 23 – Esquema da localização dos eletrodos



Fonte: MEDEIROS, 2011, apud SAHUINCO, 2011.

2.4.2. Ensaios destrutivos

A NBR 7680-1:2015 traz o procedimento para obtenção de testemunhos de concreto, utilizados nos ensaios destrutivos, como a determinação da resistência do concreto pela compressão axial.

Além de medir o valor do f_{ck} (resistência característica do concreto à compressão), os testemunhos possibilitam avaliar se há ocorrência de carbonatação, reação álcali-agregado, a porosidade, a massa específica e o módulo de elasticidade (CANDIAN, 2017).

Permite avaliar diretamente a estrutura de concreto, por isso a extração de testemunhos é tida como mais confiável diante dos métodos não destrutivos. Porém, deve-se atentar que a resistência das amostras não é necessariamente a mesma da estrutura, pois existem muitas variáveis, como as dimensões, as microfissuras, histórico de carregamentos, que interferem no valor obtido (MAZER, 2012).

Bungenstab (2015) elenca quais os melhores locais para extração dos testemunhos. Assim, a amostra deve ser retirada a uma distância igual ou superior ao diâmetro da barra com relação às bordas dos elementos estruturais ou juntas e entre bordas de perfurações. Também se deve respeitar um limite de 30 cm dos limites superior e inferior da etapa de concretagem, devido aos efeitos de exsudação em elementos verticais de concreto. Outra recomendação envolve o impedimento de cortar armaduras (conforme já aduzido, o ensaio de pacometria pode ser utilizado para indicar o local das barras de aço). Por fim, indica que a redução de seção máxima em pilares seja de até 10%, procedendo ao escoramento da peça se assim for necessário.

2.5. TÉCNICAS DE REPARO, RECUPERAÇÃO, REFORÇO E DEMOLIÇÃO

2.5.1. Características e Peculiaridades

Previamente à execução da terapia obtida a partir do diagnóstico das manifestações patológicas é necessária realizar a preparação da superfície do concreto. As técnicas de lavagem e limpeza da superfície das estruturas são essenciais para garantir a durabilidade e a aderência entre o material antigo e o material utilizado na recuperação da estrutura. Deve-se atentar para a escolha da técnica a ser utilizada, pois alguns métodos são mais agressivos que outros, podendo tornar-se inviáveis a depender da situação da peça estrutural (SILVA, 2006).

Helene (1992) elenca diversos procedimentos de preparo do substrato que devem ser executados previamente ao serviço de recuperação da peça estrutural. A Tabela 4 mostra quais procedimentos são mais adequados tanto para peças de concreto quanto para superfícies de aço. Por exemplo, a escarificação manual é adequada para preparar uma superfície de concreto, porém inadequada para preparar a superfície de aço.

Tabela 4 – Procedimentos de preparo do substrato

Procedimento	Procedimento mais adequado para			
	concreto com superfície		aço com superfície	
	Seca	úmida	seca	Úmida
Escarificação manual	Adequado	adequado	inadequado	Inadequado
Disco de debaste	Aceitável	adequado	aceitável	Aceitável
Escarificação mecânica	Adequado	adequado	inadequado	Inadequado
Demolição	Adequado	adequado	inadequado	Inadequado
Lixamento manual	Inadequado	aceitável	adequado	aceitável
Lixamento elétrico	Adequado	aceitável	adequado	aceitável
Escovamento manual	Adequado	aceitável	adequado	aceitável
Pistola de agulha	Inadequado	inadequado	adequado	adequado
Jato de areia seco ou úmido	Adequado	adequado	adequado	aceitável
Disco de corte	Aceitável	adequado	adequado	adequado
Queima controlada	Adequado	inadequado	inadequado	inadequado
Remoção de óleo e graxa impregnados	Inadequado	adequado	inadequado	adequado
Máquina de desbaste superficial	Aceitável	adequado	inadequado	inadequado

Fonte: Adaptado, HELENE (1992).

2.5.2. Técnicas de Reparo e Recuperação

2.5.2.1. Materiais para reparo e recuperação

Souza e Ripper (1998) elencam diversos materiais utilizados no reparo do concreto, como: argamassas, polímeros, pré-fabricados, concretos reforçados com fibras, concretos com aditivos como sílica ativa, etc.

O concreto armado é o elemento mais utilizado no reparo de estruturas de concreto, já que possibilita o preparo de um material com alta resistência inicial e com baixo índice de vazios, utilizando adições e aditivos que diminuem a expansividade, a retração e a relação água-cimento, aumentando a aderência do substrato (HELENE, 1992).

Embora estudadas em conjunto, as técnicas de reparo e recuperação têm objetivos distintos. Enquanto o reparo visa corrigir problemas identificados no concreto, a recuperação pretende restaurar o desempenho projetado da peça estrutural (SANTOS, 2017).

2.5.2.2. Reparo com argamassa

O reparo com argamassas é indicado para fissuras de pequena profundidade, de preferência inferiores a 5 cm, podendo ser utilizado para realizar o enchimento de falhas e regularização de lajes, reconstituição de quinas e em peças com pequena deterioração (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Silva (2006), somente é recomendável a adoção do reparo com argamassa caso se tenha verificado que o interior do concreto não se encontra deteriorado.

Utilizam-se diversos tipos de argamassa, destacando-se: argamassa de cimento e areia, argamassa seca “farofa”, argamassa polimérica e argamassa epoxídica (SILVA, 2006).

A argamassa de cimento e areia pode ser utilizada para preencher deteriorações ou desgastes ocorridos em elementos estruturais, podendo ser aplicada sobre uma camada epoxídica, visando aumentar aderência do reparo ao substrato (SOUZA e RIPPER, 1998).

A argamassa seca é utilizada quando a profundidade da cavidade originada da deterioração da peça estrutural for superior a 2,5 cm, evitando-se aplicá-la em áreas superficiais muito extensas (SOUZA e RIPPER, 1998). É recomendável, para evitar reações expansivas da argamassa, adicionar aditivos expansivos, além de promover cura adequada por pelo menos 5 dias (BEZERRA, 1998 apud SILVA, 2006).

A argamassa polimérica possui diversas vantagens, pois permite reduzir a utilização de água na composição da mistura, contribuindo com uma diminuição do índice de vazios e da permeabilidade, aumentando a aderência do material e mantendo sua plasticidade (SOUZA e RIPPER, 1998). Sua utilização é recomendada em danos superficiais que exponham a armadura do elemento estrutural (SILVA, 2006).

A argamassa epoxídica é utilizada quando se necessita liberar o uso da estrutura em curto intervalo de tempo, já que possui elevada resistência inicial (SILVA, 2006).

2.5.2.3. Reparo com graute

O reparo com graute é recomendável em regiões estruturais de difícil acesso ou em regiões densamente armadas, por ser um material fluido e autoadensável (HELENE, 1992).

O uso do graute também permite uma rápida liberação da estrutura, tendo em vista que a retirada das formas pode ser realizada dentro de 24 horas do lançamento do material (SILVA, 2006).

2.5.2.4. Reparo com concreto

O reparo com concreto convencional é empregado em peças estruturais nas quais se podem verificar falhas de concretagem ou alto grau de deterioração (SILVA, 2006).

O novo concreto deve ter a maior afinidade possível com o concreto existente, tendo resistência igual ou superior ao concreto danificado. O uso de aditivos plastificantes e de aditivos incorporadores de ar auxilia na obtenção de uma trabalhabilidade adequada no manuseio do concreto de reposição (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.5.2.5. Tratamento de Fissuras

Segundo Silva (2006), além de possuir uma função estética, o tratamento de fissuras colabora com a impermeabilidade da estrutura, dificultando a penetração de líquidos e gases nocivos aos constituintes do concreto armado.

Para propor o adequado método de tratamento de fissuras, deve-se atentar para a atividade da fissuração. Fissuras ativas ou vivas são aquelas que

persistem em movimento, já que a causa de sua formação continua a existir. Nesse caso, deve-se, previamente à intervenção, eliminar a causa da fissuração (MEDEIROS, 2017).

Já as fissuras mortas ou não ativas, prescindem de cuidados adicionais, já que a causa de sua formação deixou de existir (TRINDADE, 2015).

Medeiros (2017) orienta que para o tratamento de fissuras ativas devem-se utilizar materiais flexíveis, como a espuma de poliuretano. Em contrapartida, no caso de fissuras não ativas é recomendável a aplicação de materiais rígidos, como as resinas epóxi.

a) Injeção de Fissuras

A técnica de injeção de fissuras deve ser aplicada para fissuras com abertura superior a 0,1 mm, sob baixa pressão (inferior a 100 kPa) para fissuras com abertura de no máximo 3 mm. Para aberturas superiores, a injeção pode ser aplicada em pressão ambiente, por gravidade (MEDEIROS, 2017).

A injeção procura preencher completamente a abertura gerada pela fissura, podendo ser utilizada tanto em fissuras ativas quanto em fissuras não ativas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para as fissuras não ativas, recomenda-se a utilização de resina epóxi, tendo em vista suas características de baixa viscosidade, alta resistência, elevada aderência, bom comportamento na presença de agentes agressivos e rápido endurecimento (SILVA, 2006).

Medeiros (2017) elenca seis passos para realizar a injeção de fissuras com base nas recomendações de Souza e Ripper (1998):

- 1º Passo: realizar pequenos furos ao longo da fissura, com cerca de 10 mm de diâmetro e até 30 mm de profundidade. O espaçamento entre os furos deve ser igual a 1,5 vezes a profundidade da fissura e não superior a 300 mm;
- 2º Passo: realizar uma limpeza enérgica, podendo ser com jato de ar comprimido seguido com aspiração;

- 3º Passo: colocar pequenos tubos nos furos abertos ao longo da fissura e realizar a selagem superficial do local com cola epoxídica, aplicada com colher de pedreiro ou espátula;
- 4º Passo: testar o sistema de injeção com ar comprimido, verificando se há interrupções na comunicação entre os tubos colocados. Caso alguma inconsistência seja verificada, deve-se diminuir o espaçamento entre os tubos;
- 5º Passo: iniciar a injeção pelos tubos de cota mais baixa. A injeção no tubo é realizada até a resina começar a sair pelo tubo imediatamente superior, momento em que se transfere a injeção para este tubo. Repete-se o processo até toda a fissura ser percorrida com a injeção da resina;
- 6º Passo: decorridas 12 horas da injeção, retira-se a camada selante e faz o acabamento da peça estrutural com a própria resina.

Após a conclusão da injeção deve-se realizar o controle de qualidade, a partir de duas etapas: na recepção dos materiais, na qual são verificados a cor, a resistência, a viscosidade, o módulo, a validade do material; e na retirada de testemunhos, para comprovar a efetividade da injeção, considerada satisfatória se, pelo menos, 90% do comprimento da fissura no testemunho estiver injetado (SOUZA e RIPPER, 1998).

b) Selagem de Fissuras

A selagem de fissuras aplica-se para tratar fissuras ativas. Desta forma, o material selante deve possuir comportamento plástico, não retrátil, com módulo de elasticidade adequado para comportar as deformações da peça, além de ser aderente e resistente química e mecanicamente (MEDEIROS, 2017).

Para fissuras com abertura inferior a 10 mm, o procedimento de execução é similar ao descrito para a técnica de injeção de fissuras. Para fissuras que possuem abertura entre 10 mm e 30 mm, realiza-se um sulco em formato de “V” na região da trinca, limpa-se a área e enche-se a fenda com uma camada de graute, selando as bordas com produto à base epóxi (SILVA, 2006). Já no caso

de aberturas maiores que 30 mm, a selagem é realizada como se fosse uma junta de dilatação, aplicando um cordão de poliestireno no fundo da fissura ou, alternativamente, realizando uma junta de Neoprene (MEDEIROS, 2017).

c) Costura de Fissuras

Técnica utilizada para tratar de fissuras ativas que ocorrem por deficiências localizadas ou em linhas isoladas (SOUZA e RIPPER, 1998).

A costura de fissuras é uma técnica que consiste na aplicação de grampos em “U” para “costurar” as fissuras. O diâmetro, o comprimento e o espaçamento dos grampos dependem do esforço de tração que causou a fenda no concreto (MEDEIROS, 2017).

A disposição dos grampos deve ser prevista de forma a não gerarem esforços em linha. Dessa forma, é essencial que a aplicação de grampos com comprimentos distintos e não alinhados. Caso tal cuidado não seja observado, podem aparecer fissuras na região adjacente aos grampos, devido ao aumento de rigidez localizado gerado (SILVA, 2006).

Segundo Souza e Ripper (1998), existem cinco etapas para a correta execução da costura:

- 1º Passo: realizar o descarregamento da estrutura (se possível);
- 2º Passo: executar berços na superfície do concreto para assentamento dos grampos, realizando a furação do concreto, no caso de ancoragem ativa, e preenchimento com adesivo epóxi;
- 3º Passo: caso seja prevista a injeção da fissura, esta deve ser realizada por primeiro, executando o grampeamento da estrutura em sequência;
- 4º Passo: colocação dos grampos, utilizando o mesmo material adesivo empregado na selagem;
- 5º Passo: no caso de peças tracionadas e no caso de fissuras que atravessam a peça, as fendas devem ser grampeadas em ambos os lados.

2.5.3. Técnicas de Reforço

As técnicas de reforço são empregadas quando se requer aumentar a capacidade portante do elemento estrutural, para realizar mudanças no uso do edifício; recuperar a capacidade original da estrutura, perdida devido a manifestações patológicas ou acidentes; modificar a concepção estrutural, por exemplo, cortando vigas, em prol de benefícios estético-arquitetônicos (SOUZA e RIPPER, 1998).

De acordo com Santos (2006), no caso de reforço à flexão de vigas, as técnicas comumente empregadas são: reforço com chapas de aço coladas, reforço com uso de polímeros reforçados com fibras, reforço com concreto lançado ou projetado e reforço com protensão externa.

2.5.3.1. Reforço com chapas coladas

A adição de chapas e perfis metálicos é útil em emergências ou quando a geometria estrutural não permite alterações significativas nas dimensões das peças. O reforço pode ser executado por colagem de chapas metálicas ou chumbamento de perfis metálicos, com a aplicação de resinas epoxídicas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Porém, alguns cuidados são necessários, como: o cobrimento da estrutura de concreto não pode estar pouco espesso, nem apresentar lascamentos; deve-se cuidar para que as chapas de aço coladas não sejam corroídas e a colagem da chapa na estrutura de concreto deve evitar descontinuidades, atentando-se na escolha da formulação do epóxi a ser utilizado (TRINDADE, 2015).

Para a execução do reforço deve-se garantir que o concreto esteja com rugosidade adequada, visto que tal característica é primordial para a aderência aço-concreto. Observa-se que não é recomendável a execução deste tipo de reforço para concretos com f_{ck} inferior a 17,5 Mpa, tendo em vista que a ruptura

(seja na compressão, tração, flexão ou cisalhamento) ocorre sempre no concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Higashi (2016) cita algumas restrições quanto à execução de reforço com chapas coladas, como, por exemplo, evitar espessuras da camada de cola superiores a 1,5 mm; evitar o uso de chapas com espessura superior a 3 mm (o uso de buchas expansivas pode aumentar a espessura das chapas); evitar que o aumento nos esforços resistentes sejam superiores a 50%, em relação com a situação da peça anterior ao reforço.

A Figura 24 mostra a configuração, após executado, do reforço com adição de chapas de aço ao concreto (REIS, 2003).

Figura 24 – Reforço com colagem de chapas de aço



Fonte: REIS (2003).

Boto (2015) enumera diversas vantagens e desvantagens na execução de reforço com chapas coladas. Dentre as vantagens, ele destaca:

- Relação favorável peso/resistência mecânica;
- Aptidão para resistir a diferentes tipos de solicitações;
- Capacidade de adaptação aos espaços existentes;
- Elevado grau de pré-fabricação, que permite a realização de operações de montagem relativamente limpa e assegura a entrada imediata “em serviço” da nova estrutura;
- Rapidez e facilidade de execução;
- Pequena alteração nas dimensões arquitetônicas;

- Não requer mão-de-obra especializada;

Quanto às desvantagens, Boto (2015) explica que a estrutura torna-se mais vulnerável à corrosão e ao incêndio, além do manuseio das chapas metálicas ser um pouco difícil, devido ao seu peso e à limitação das dimensões das chapas metálicas.

2.5.3.2. Reforço com materiais poliméricos reforçados com fibras

A utilização de reforço com materiais poliméricos vem sendo utilizada como alternativa ao uso das chapas de aço (modelo tradicionalmente consagrado) (BEBER, 2003). Segundo Souza e Ripper (1998) o uso de compósitos reforçados com fibras era estritamente utilizado em locais onde seria inadmissível a utilização do aço, como em salas de hospitais suscetíveis ao fenômeno da ressonância magnética.

As principais características dos polímeros reforçados com fibras são: alta resistência mecânica e rigidez, resistência à corrosão, leveza (KARBAHARI, 2000, apud REIS, 2001), elevada durabilidade e capacidade de assumir formas complexas. Também “não são afetados pela corrosão eletroquímica e resistem aos efeitos corrosivos de ácidos, álcalis, sais e outros agentes agressivos” (HOLLAWAY, 1993, apud BEBER, 2003).

Tais características podem ser observadas na comparação entre os compósitos de fibras de carbono em matrizes de resina epoxídica e o aço de construção, onde aqueles possuem cerca de um quarto do peso e dez vezes a resistência à tração do aço, considerando a mesma espessura e o mesmo módulo de elasticidade (SOUZA e RIPPER, 1998).

Como desvantagem do emprego deste método pode-se citar o custo do compósito, que chegou a ser dez vezes superior ao do aço. (ARAÚJO, 2002). Também se podem citar a baixa resistência ao fogo, dificuldade de aplicação em superfícies irregulares, exposição aos raios ultravioletas e possibilidade de vandalismo (FILHO, 2007).

A Figura 25 mostra os passos para aplicação de folhas flexíveis de fibras de carbono, sendo necessário primeiro realizar a esmerilagem da superfície, seguindo-se a aplicação do primário. Após, cobre-se a superfície com a resina de colagem e aplicam-se as folhas de fibras de carbono. Por fim, cobre-se o sistema com uma camada de resina de revestimento (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 25 – Passos para aplicação de folhas flexíveis de fibras de carbono



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

2.5.3.3. Reforço com concreto armado

O reforço com concreto e armadura de complementação visa aumentar a seção transversal da peça estrutural, quando esta possui insuficiência de armadura na zona tracionada, ou substituir o material da região danificada (REIS, 1998).

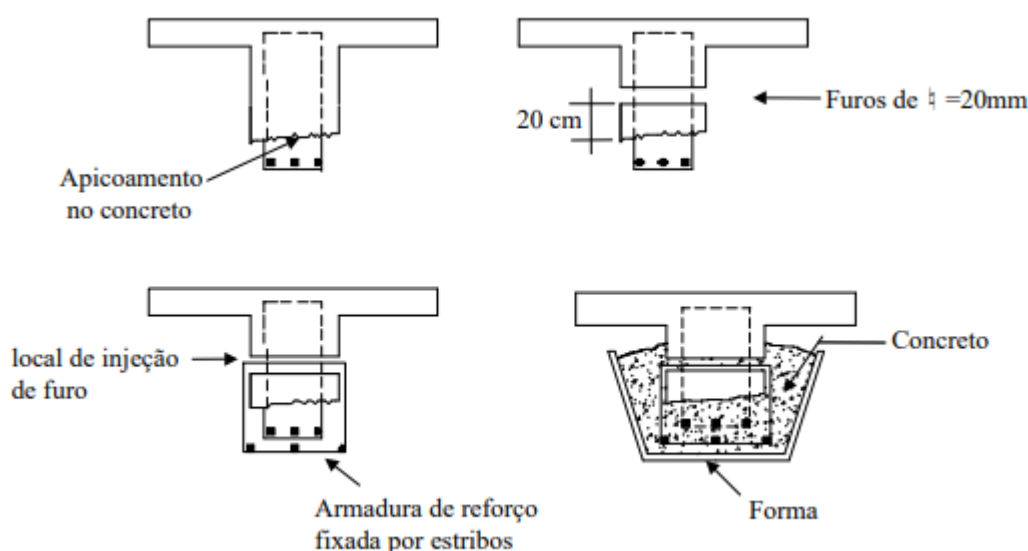
Recomenda-se empregar a armadura de complementação nos casos em que a barra sofra uma redução de sua área de seção transversal superior a

15%. Também se propõe o uso da armadura de complementação caso o diâmetro equivalente da barra com a perda de área descontada for inferior a 90% do diâmetro original da barra intacta (SOUZA e RIPPER, 1998).

A execução da emenda, preferencialmente por transpasse (se possível), entre a armadura antiga e a de complementação deve ser realizada apenas no trecho em que não há degradação (SOUZA e RIPPER, 1998).

A Figura 26 mostra o esquema de execução de reforço de viga com aplicação de nova armadura (CÂNOVAS, 1988, apud REIS, 1998).

Figura 26 – Reforço de viga com nova armadura



Fonte: Cánovas (1988) apud Reis (1998).

Boto (2015) instrui quais são as principais vantagens e desvantagens de utilizar a técnica de reforço com concreto aberto. Dentre as vantagens destacam-se a simplicidade de execução, pois não requer mão-de-obra especializada; a distribuição uniforme do incremento de rigidez; e o aumento de durabilidade do pilar.

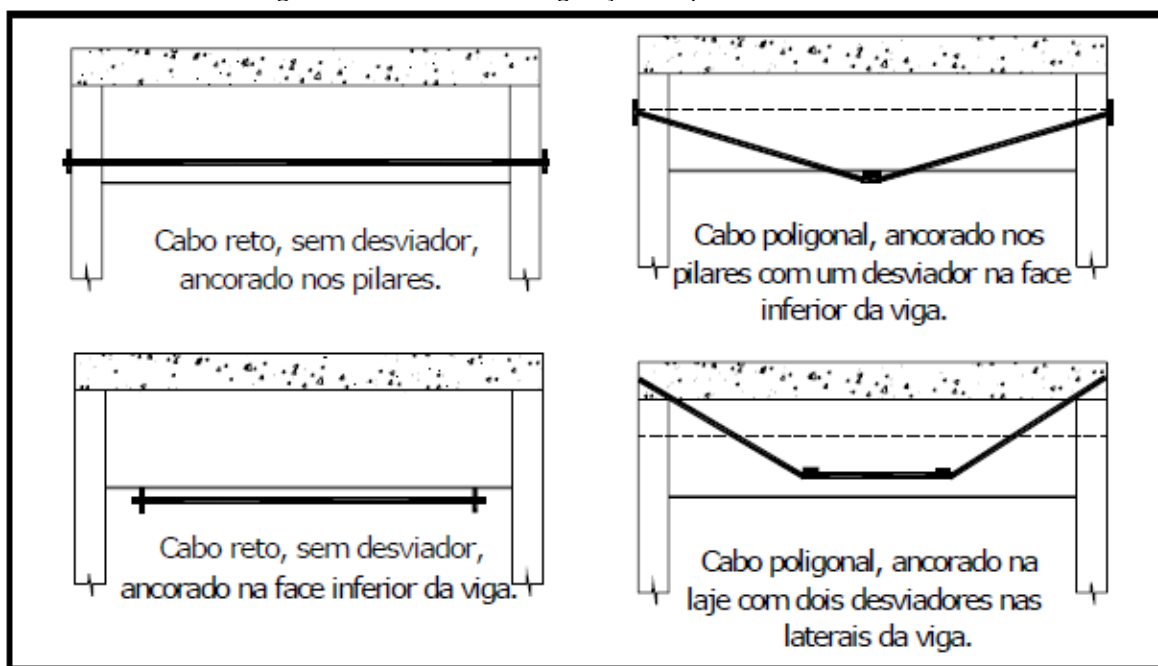
Conforme Boto (2015), as desvantagens seriam: a necessidade de perfurar a laje, se necessário continuar o reforço de um pilar entre os pisos (manter a continuidade das armaduras de reforço); o aumento das dimensões da seção transversal (interferência arquitetônica).

2.5.3.4. Reforço com protensão externa

Segundo Souza e Ripper (1998), a protensão externa é o reforço mais simples de ser concebido, sendo a protensão não aderente a mais utilizada.

O reforço com protensão utiliza da aplicação de cabos, fios ou cordoalhas para impor um esforço na direção contrária às forças atuantes na peça, em diferentes configurações de traçado, conforme mostra a Figura 27 (SANTOS, 2006).

Figura 27 – Diferentes configurações da protensão externa



Fonte: SANTOS (2006).

A protensão externa é utilizada para costurar fendas de vigas, inibir deformações e flechas acentuadas, aliviar vãos ou apoios através da redistribuição de esforços em peças contínuas, aumentar a capacidade de carga de uma peça estrutural, criar apoios adicionais – exercendo a função de tirantes (SOUZA e RIPPER, 1998).

Beber (2003) elenca como vantagens da protensão externa a simplicidade do método construtivo, a ausência de problemas relacionados ao cobrimento das barras, a facilidade de inspeção e possibilidade de substituição

dos cabos. Reis (2001) também cita como vantajosa a desnecessidade de descarregamento da estrutura.

Como desvantagem, destaca-se a exposição ao ambiente externa dos cabos de protensão, estando mais vulnerável a corrosão, ação do fogo e vandalismos (BEBER, 2003).

Não é recomendado o uso de resina epóxica ou cimentos expansivos na realização da ancoragem dos cabos de protensão, já que a ruptura desse sistema geralmente ocorre no cabo, na sua parte livre, ou na região de ancoragem (REIS, 2001).

2.5.4. Métodos de Demolição

A demolição consiste no ato de destruir, colapsar, remover, total ou parcialmente, uma estrutura de edificação existente (SÁ, 2013).

Sá (2013) divide a demolição nas seguintes fases: pré-demolição; demolição e pós-demolição. Durante a pré-demolição ocorre o preparo do local, vedando o entorno do local da obra, de maneira a impedir o trânsito de pessoas. Também são retirados ou desativados quaisquer obstáculos à execução da demolição, como instalações elétricas, de gás, de água. Materiais que possam ser reutilizados ou reciclados são retirados, como azulejos, metais como o alumínio e o cobre.

Na fase de demolição a estrutura é removida. Gomes e Oliveira (2019) classificaram as técnicas de demolição nos seguintes tipos: uso de equipamentos mecânicos, processos térmicos, uso controlado de explosivos e processos abrasivos. Pereira (2014) e Alexia (2019), por sua vez, diferenciam os tipos de demolição em manual, mecânica e com o uso de explosivos, sendo esta a classificação estudada neste trabalho.

Após a demolição a obra é limpa, colocando em funcionamento os sistemas que necessitaram ser interrompidos (elétrico, água, esgoto, gás etc.) e, por fim, libera-se o local da obra (SÁ, 2013).

- Demolição manual

A demolição manual utiliza ferramentas que necessitam da força humana para obter êxito no colapso da estrutura. Os equipamentos utilizados são o martelo, a marreta, a picareta, a serra, o pé de cabra etc. (GOMES e OLIVEIRA, 2019).

De acordo com Pereira (2014) a demolição manual é recomendável quando se necessita maior cuidado com a estrutura. Para ele este tipo de demolição, quando objetiva a desconstrução (quando o material demolido é reaproveitado em outro local), é visto como sustentável, pois permite a reutilização de materiais, reduzindo os resíduos gerados. Por exemplo, uma viga de concreto pode ser reaproveitada na fabricação de uma calçada.

- Demolição mecânica

A demolição mecânica utiliza equipamentos para ruir com a estrutura de um edifício. Ela se classifica como progressiva, por colapso deliberado e desconstrução (SÁ, 2013).

A demolição progressiva é uma forma controlada de demolir progressivamente a estrutura, mantendo a estabilidade do edifício, garantindo um colapso controlado, pode ser realizada com várias técnicas, como perfuração diamantada, perfuração percussiva, corte com serra, bola de demolição etc. (LIBANIO e GIASSETTI, 2019).

A demolição por colapso deliberado é realizada quando se pretende a eliminação dos principais elementos estruturais, de forma que toda a estrutura entre em colapso. Geralmente executada por meio de explosivos, também pode ser realizada através de maquinaria pesada, que puxa um cabo de grande resistência que envolve os sistemas estruturais do edifício (SÁ, 2013).

A desconstrução objetiva remover progressivamente os elementos da estrutura, iniciando-se na cobertura e terminando no solo. Pode ser realizado manualmente, como já mencionado, ou com o auxílio de maquinaria que pode atuar tanto internamente quanto externamente ao edifício (SÁ, 2013).

- Explosivos

Segundo Baldasso (2005), o método de demolição com explosivo mais utilizado é a implosão, que visa a destruir alguns pilares principais da estrutura, de maneira que ela venha a cair por conta do peso próprio. Os procedimentos preparatórios da demolição (fase pré-demolição) exigem diversos cuidados, como a correta avaliação estrutural, a inspeção dos arredores e a previsão do comportamento da estrutural ao sofrer o colapso.

2.6. REQUISITOS DE ESTRUTURAS DE ESTABELECIMENTOS PENAIS

O Ministério da Justiça do Brasil divulgou no ano de 2011 algumas diretrizes para arquitetura penal. Neste relatório recomendaram-se limites mínimos para a resistência do concreto, a depender do nível de segurança do estabelecimento penal. Estabelecimentos de nível 1, o f_{ck} do concreto deve ser superior a 30 MPa; para os de nível 2, a resistência característica mínima é de 20 MPa; já os de nível 3, a única exigência é que o concreto tenha resistência ao fogo de no mínimo 2 horas. Observe que “qualquer nível de segurança de construção pode ser usado em qualquer estabelecimento penitenciário, dependendo da destinação e da proposta metodológica da unidade” (GOMES et al., 2011).

3.METODOLOGIA

Este trabalho será realizado conforme três etapas: a realização de uma pesquisa bibliográfica, a elaboração do procedimento de avaliação e a aplicação do procedimento criado em um exemplo prático.

Durante a etapa de pesquisa bibliográfica, procurou-se identificar os conceitos relevantes para a execução de um procedimento de avaliação de estruturas de concreto armado.

Nesse sentido, investigaram-se as origens, os sintomas, as causas, as consequências e os mecanismos responsáveis pelo surgimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto, permitindo classificar corretamente os fenômenos observados.

Em seguida, foram estabelecidas as fases de inspeção de uma estrutura de concreto, quais sejam: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, prognóstico e terapia, de maneira a subsidiar a elaboração do procedimento de avaliação proposto neste trabalho.

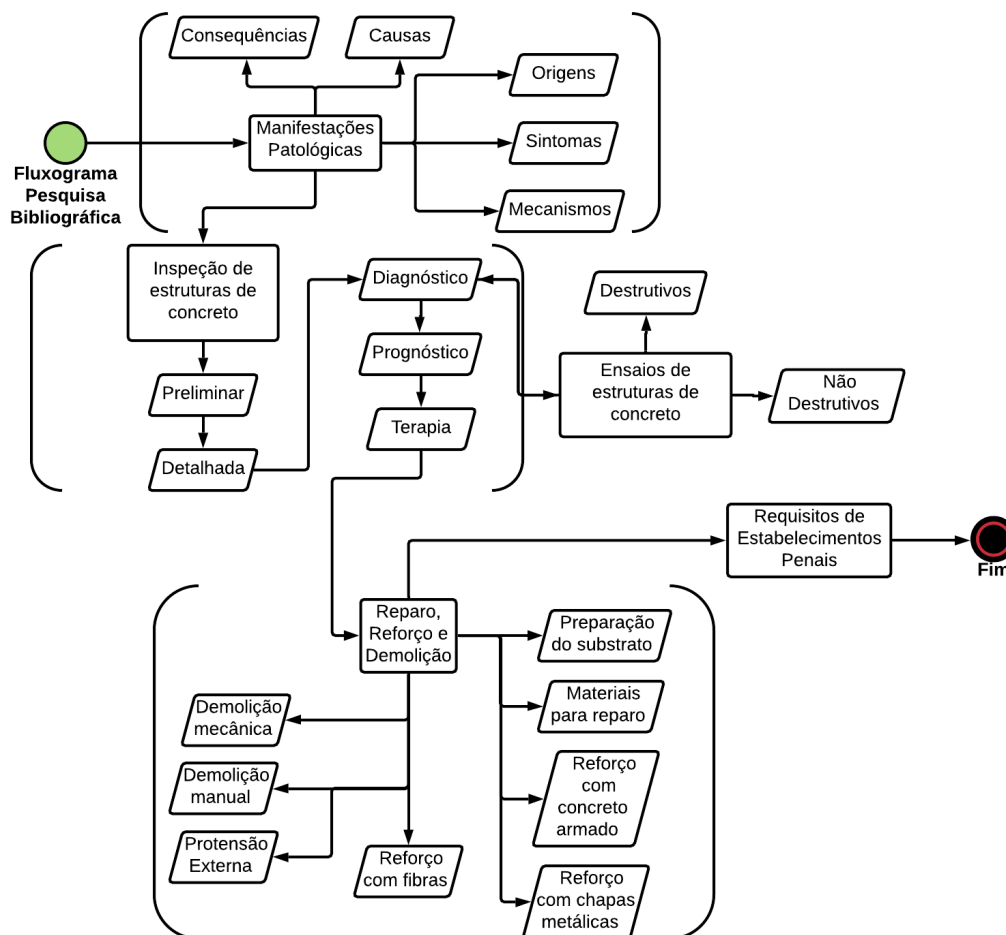
Como complemento à fase de diagnóstico, aspectos sobre ensaios destrutivos e não destrutivos de concreto foram abordados, com o fito de fornecer diferentes alternativas para se conhecer características relevantes do concreto (resistência, módulo de elasticidade, grau de corrosão) que poderão influenciar no método interventivo proposto para a peça de concreto avariada.

Definidas as manifestações patológicas e as características físico-químicas do concreto, foram exploradas diferentes técnicas de reparo, reforço e demolição de estruturas de concreto, na intenção de fornecer diferentes opções para a terapia dos fenômenos patológicos identificados.

Em sequência, alguns requisitos específicos de estabelecimentos penais foram introduzidos, tendo como finalidade expor alguns limites mínimos que necessitam ser observados por estruturas de concreto em carcerárias.

Diante do exposto, a Figura 28 apresenta o fluxograma detalhado da pesquisa bibliográfica realizada, discriminando cada um dos conteúdos apresentados como suporte para a elaboração do procedimento de avaliação.

Figura 28 – Fluxograma da Pesquisa Bibliográfica



Fonte: Autor (2020).

A etapa seguinte consiste em elaborar o procedimento de avaliação de estruturas de concreto, propondo-se um roteiro de avaliação para estruturas de estabelecimento penal, seguindo as fases definidas para inspeção de estruturas de concreto.

Por fim, o roteiro proposto será aplicado num caso prático, como forma de exemplificar como a avaliação deve ser realizada.

4. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO

A avaliação de estrutura de concreto deve seguir as seguintes etapas: levantamento dos dados da estrutura avariada, diagnóstico, prognóstico e definição da terapia.

Na primeira etapa deve ser detalhado qual o local da obra e suas características, investigando se existem registros anteriores sobre a estrutura de concreto do local. Também é importante delimitar quais as manifestações patológicas encontradas na peça estrutural a ser avaliada, documentando os fenômenos através de registro fotográfico. A documentação deve ser completa e suficiente para fundamentar a contratação da terapia a ser proposta, tendo em vista que os órgãos públicos devem respeitar as regras de licitações e contratos dispostas na legislação.

Com base na inspeção preliminar, parte-se para o diagnóstico da estrutura. Caso não seja possível precisar o grau de deterioração da peça estrutural, podem ser previstas realizações de ensaios técnicos (inspeção detalhada). Podem ser previstos ensaios não destrutivos (por exemplo, esclerometria, pacometria, arrancamento etc.) e destrutivos – no caso de haver dúvidas quanto à integridade de propriedades mecânicas do concreto (resistência à compressão, tração, limites de escoamento, módulo de elasticidade, resiliência, etc.) –, como a extração de testemunhos.

Realizado o diagnóstico da estrutura, é essencial a execução do prognóstico, que consiste em elencar quais as possíveis consequências advindas da inércia do poder público em adotar as medidas corretivas propostas.

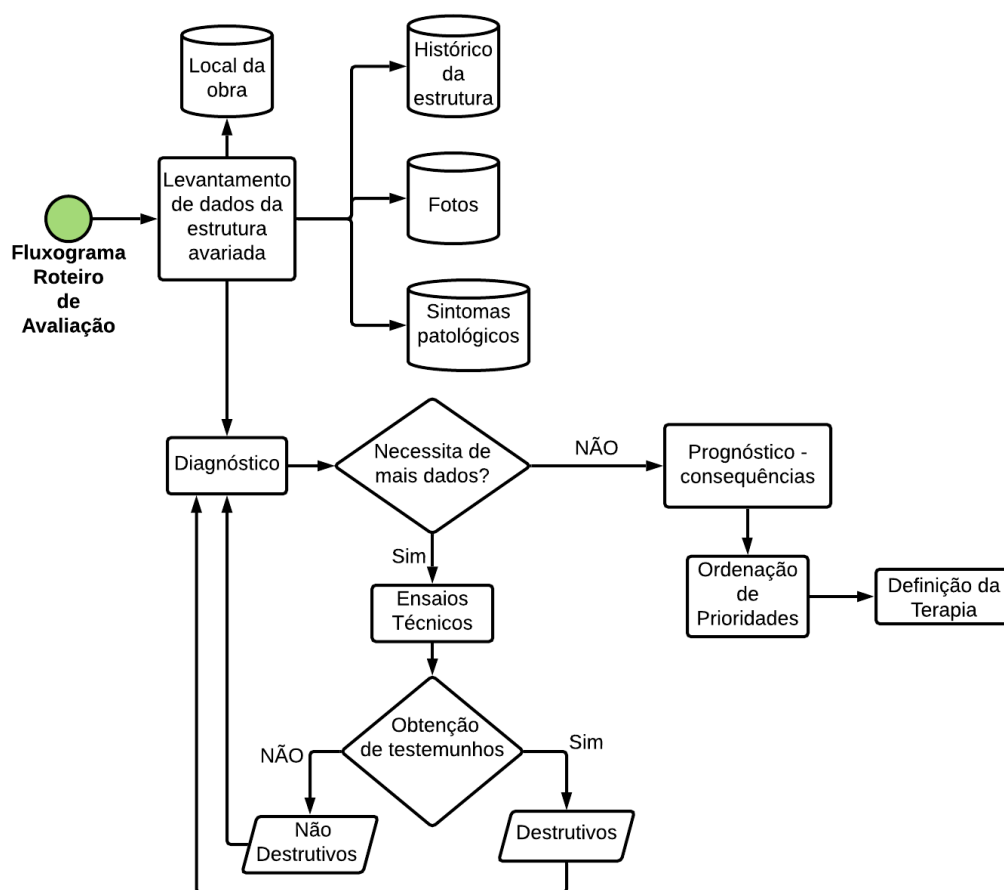
O prognóstico pode servir como base para subsidiar dispensas de licitação em casos de emergência e considerável risco público quando, por exemplo, há fortes indícios de avarias em uma peça estrutural que possa vir a ocasionar a ruína de parte do edifício. O índice GUT (gravidade-urgênciatendência) pode ser utilizado como suporte ao estabelecimento de prioridades,

permitindo ordenar os estabelecimentos penais que necessitam de intervenção imediata, de acordo com as manifestações patológicas observadas.

A última etapa consiste em definir qual será a terapia adotada para dirimir os vícios detectados.

A Figura 29 contém a primeira parte do roteiro de avaliação proposto, que aborda desde o levantamento dos dados até a fase de definição da terapia.

Figura 29 – Roteiro de Avaliação de uma Estrutura – Parte 1



Fonte: Autor (2020).

Na fase de definição da terapia é essencial conhecer quais as técnicas que podem ser aplicadas. Se nas análises prévias não for verificada a existência de risco estrutural, pode-se optar por um dos métodos de reparo ou recuperação apresentados (concreto, argamassa, graute, tratamento de fissuras).

Por outro lado, em caso de risco estrutural, deve ser analisada a viabilidade de realizar o reforço ou demolição e reconstrução da peça, através de uma estimativa de custos, que tenham como preços norteadores os fixados em tabelas referenciais, como o SINAPI. Tal fase é imprescindível para garantir uma decisão que represente o melhor custo-benefício para a estrutura.

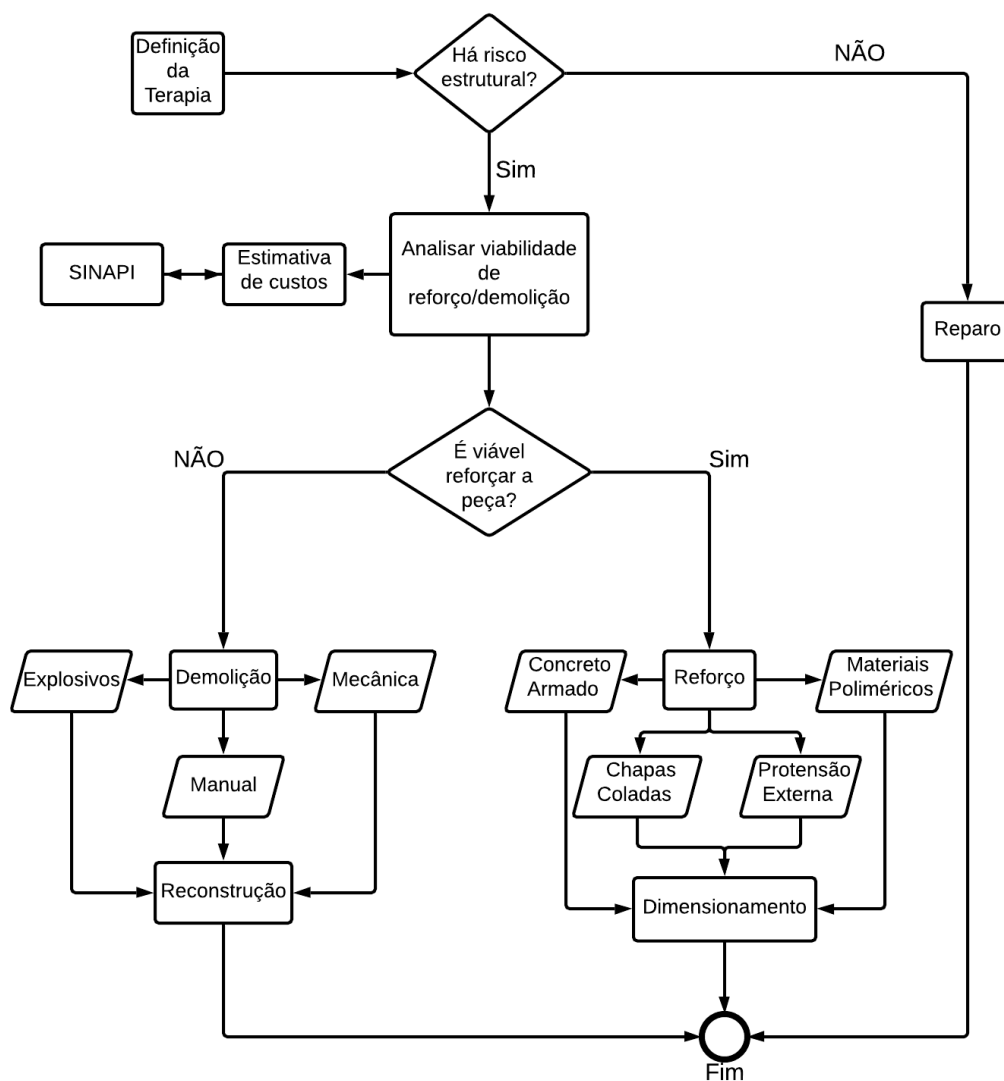
Atenta-se que os custos de destinação final dos resíduos também devem entrar no cálculo nos casos de demolição de elemento estrutural.

Analisada a viabilidade, opta-se ou pela demolição (podendo ser manual, mecânica ou com uso de explosivos) e reconstrução da peça danificada ou pelo reforço da peça (adição de chapas metálicas, concreto armado, materiais poliméricos ou realização de protensão externa) seguido pelo adequado dimensionamento.

A Figura 30 detalha a segunda parte do roteiro de avaliação de uma estrutura, abordando os aspectos necessários para a definição da terapia por meio de reparo, reforço ou demolição da peça estrutural.

O Roteiro elaborado pode ser visto no Anexo 1 e será utilizado no Capítulo 5 para a condução do exemplo de aplicação.

Figura 30 – Roteiro de Avaliação de uma Estrutura – Parte 2



Fonte: Autor (2020).

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o fim de resguardar a confidencialidade exigida pelos estabelecimentos penais, tanto o nome da carcerária quanto o croqui da estrutura serão alterados.

No preenchimento do roteiro, com o fito de exemplificação, serão expostas apenas três fotos da estrutura, porém recomenda-se realizar um grande número de fotografias, a fim de mapear cada ponto da estrutura que possui alguma manifestação patológica.

Observa-se que o preenchimento do roteiro tem por essência realizar uma demonstração didática. Desta forma, as técnicas terapêuticas propostas podem não corresponder com o melhor custo-benefício para a situação, tendo em vista que nenhuma análise de custos e nenhum ensaio foram realizados. Postas as colocações iniciais, parte-se à realização do exemplo prático.

5.2. PREENCHIMENTO DO ROTEIRO

5.2.1. Informações Preliminares

Este campo corresponde ao cabeçalho da avaliação, onde é discriminado local, data, empresa/órgão e responsável pela avaliação. Estas informações visam caracterizar o local correspondente à inspeção realizada e identificar os responsáveis pela fiscalização.

Neste exemplo, a inspeção ocorreu no Complexo Penitenciário X, no dia 01/06/2020, por um funcionário da Polícia Científica do Paraná, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Informações Preliminares

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	
INFORMAÇÕES PRELIMINARES	
Local	Complexo Penitenciário X
Data da Avaliação	01/06/2020
Empresa/órgão	Polícia Científica do Paraná
Responsável pela Avaliação	Paulo Henrique Silva Domingues

Fonte: Autor (2020).

5.2.2. Histórico da Estrutura de Concreto

Nesta fase, são levantadas as informações do histórico da estrutura, como idade, se está disponível o projeto estrutural e arquitetônico, se existem informações anteriores da estrutura que informem as anomalias detectadas, manutenções, reparos e reforços realizados.

O histórico da estrutura permite de antemão conhecer os possíveis pontos críticos do edifício e auxilia na definição das causas e consequências das manifestações patológicas a serem observadas.

As seguintes informações sobre o Complexo Penitenciário X foram transmitidas:

- a estrutura do edifício possui 35 anos, sendo que os projetos estrutural e arquitetônico não foram disponibilizados. Na ausência destes projetos, é recomendável desenhar o croqui da parte da estrutura a ser inspecionada;
- no ano de 2017 apareceram fissuras na interface viga-laje, porém nenhuma medida corretiva foi tomada;
- no ano de 2019 ocorreu uma fuga através da destruição de parte das grades da janela localizadas entre uma viga e laje do corredor, causando danos a estas estruturas, a solução encontrada à época para evitar novas evasões foi de cobrir a abertura com argamassa e rebocar a parte interna da laje;
- Não há informações sobre reforços realizados previamente à estrutura, sendo que também não existem previsões de manutenções periódicas da estrutura;
- Em 2020, os detentos escrevem uma carta-denúncia com pedido de providências à Promotoria do Estado, informando que estalos advindos da laje podiam ser ouvidos diariamente.

Agregando os dados fornecidos, pode-se preencher adequadamente a segunda parte do roteiro, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Histórico da Estrutura de Concreto

HISTÓRICO DA ESTRUTURA DE CONCRETO				
Idade da Estrutura	35 anos			
Projeto Estrutural	Disponível		Indisponível	X
Projeto Arquitetônico	Disponível		Indisponível	X
Croqui (apenas da parte afetada da estrutura no interior do anexo carcerário)				
Diagrama de planta baixa do anexo carcerário. O layout é dividido em três seções horizontais: Cella 1 (3,0 m x 1,5 m), Corredor (2,75 m x 4,0 m) e Cella 3 (3,0 m x 1,5 m) na parte superior; Cella 2 (3,0 m x 1,5 m) e Cella 4 (3,0 m x 1,5 m) na parte inferior. As células têm área $A = 4,5 \text{ m}^2$, altura $h = 3,0 \text{ m}$ e volume $V = 13,5 \text{ m}^3$. O corredor tem área $A = 9,075 \text{ m}^2$, altura $h = 4,0 \text{ m}$ e volume $V = 36,3 \text{ m}^3$. Barras vermelhas indicam as portas de ferro.				
OBS: as barras vermelhas indicam as portas de ferro do anexo carcerário.				
Informações anteriores	Observações			
Anomalias detectadas	2017: aparecimento de trincas na junção da laje com a viga. 2019: presos danificam parte da laje junto aos vãos da janela e empreendem fuga pelo telhado, causando graves danos à estrutura. 2020: detentos informam que estalos advindos das lajes poderiam ser ouvidos diariamente.			
Manutenções realizadas	A estrutura não recebia manutenções periódicas.			
Reparos realizados	2017: nenhuma atitude foi tomada. 2019: com o fito de impedir novas fugas, lançou-se argamassa sobre toda a área danificada e ao longo de todo o vão onde se encontravam as janelas de ventilação e iluminação. A laje no local de fuga também foi rebocada.			
Reforços realizados	Não há histórico de reforços estruturais realizados.			

Fonte: Autor (2020).

5.2.3. Inspeção Preliminar

Nesta etapa da avaliação é necessário realizar a conferência dos dados de geometria de vigas, lajes e pilares, nomeando cada um destes elementos (exemplo: pilares – P1, P2, Pn). Também é relevante detalhar as dimensões das seções transversais de vigas e pilares e as espessuras das lajes.

Manifestações Patológicas Encontradas	Sintomas	FOTOS
	Fissuras, Trincas, Rachaduras	3
	Manchas	1 e 2
	Armadura Exposta/Ferrugem	3
	Eflorescências	3
	Outros	-
Fotografias		
Foto 1		
Descrição	Laje L5 na junção com a viga V6 e pilar P10. Observa-se que a janela gradeada preexistente está preenchida com argamassa de concreto, após a fuga de presos. Verifica-se também que internamente apenas manchas são visíveis na estrutura, com alguns pontos com descascamento da pintura.	
Foto 2		
Descrição	Laje L5 na junção com a viga V6 e pilar P2. Observam-se as mesmas características descritas na Foto 1.	

Foto 3	
Descrição	Parte externa (local de fuga apontado), encontro entre laje L5, viga V6 e pilar P10. Observa-se que a laje possui várias fragmentações em sua estrutura, inclusive com estricção de sua seção transversal. Há indícios de formação de eflorescências e danos na alvenaria, próximo ao pilar P10. Também se constata que parte da armadura da laje L5 está exposta.

Fonte: Autor (2020).

5.2.4. Diagnóstico e Ensaio

O diagnóstico é o momento da avaliação em que se discutem as origens, causas e mecanismos das manifestações patológicas observadas na inspeção preliminar.

Caso informações mais acuradas sobre as peças estruturais sejam necessárias, ensaios podem ser previstos para a realização de uma inspeção detalhada. Embora no setor público possam ser escassos os recursos e equipamentos disponibilizados ao engenheiro, na licitação pode ser exigido que a empresa executora realize ensaios para confirmação das conclusões obtidas na inspeção preliminar.

A partir das três fotografias observadas na Tabela 7, pode-se observar que a parte interna da estrutura apresenta sinais típicos de ambientes insalubres, com alta umidade e baixa ventilação, sendo que o principal sintoma identificado é de manchas nas paredes, lajes e vigas.

Por outro lado, a parte externa da estrutura apresenta fissuras, trincas, destacamento do concreto da laje e ferrugem na armadura, podendo indicar que o reboco realizado anteriormente no interior da estrutura estaria “mascarando” os verdadeiros problemas acometidos às peças estruturais.

Logo, diante deste quadro, os seguintes ensaios não destrutivos poderiam ser sugeridos: esclerometria, pacometria e potencial de corrosão.

A esclerometria é útil para estimar a resistência característica do concreto, através da determinação da dureza superficial do concreto. Embora sua avaliação corresponda à superfície do elemento, fornece resultados importantes para se definir o grau de integridade do concreto.

Como não foi disponibilizado o projeto estrutural a pacometria pode ajudar a se conhecer o detalhamento das peças estruturais, determinando o posicionamento das armaduras e estimando tanto o diâmetro das barras quanto o cobrimento de concreto.

Embora as armaduras na parte externa possuam indícios de ferrugem, o ensaio de potencial de corrosão pode ser realizado para confirmar se existe a possibilidade desta corrosão estar se espalhando para outros pontos da armadura não diretamente expostos ao ambiente.

Salienta-se que vários outros ensaios poderiam ser realizados ou propostos, inclusive ensaios destrutivos com retirada de testemunhos para obter informações confiáveis e detalhadas da estrutura. A Tabela 8 mostra o preenchimento do procedimento para o exemplo prático em análise.

Tabela 8 – Diagnóstico e ensaios

DIAGNÓSTICO	
Sintoma	Observações - Origens, Causas e Mecanismos
Fotos 1 e 2	As manchas observadas na Laje L5 e viga V6 são provenientes do acúmulo de umidade e da falta de ventilação do local. O fechamento parcial das aberturas de ventilação está contribuindo para aumentar a insalubridade no interior do anexo carcerário. As manchas também podem indicar que há problemas de infiltração ou vazamentos de água no edifício.

Foto 3	Os vícios da parte externa da estrutura revelam que, embora internamente não estejam visíveis (provavelmente devido ao fato da estrutura ter sido rebocada anteriormente), a laje L5 perdeu parte de sua seção transversal, causada seja por exposição ao ambiente externo (vento, chuva), mas também com indícios de depredação humana.	
ENSAIOS (INSPEÇÃO DETALHADA)		
Ensaio	Objetivo	Adotado
Ensaio Não Destrutivos		
Esclerometria	Avaliar a Dureza Superficial - Estima Resistência à Compressão.	Sim
Pacometria	Determinar o Posicionamento das Armaduras - Estima Recobrimento e Diâmetros das Barras Metálicas.	Sim
Ensaio GPR	Escaneamento por radar - Quando Necessária Maior Precisão que o Ensaio com Pacômetro.	Não
Ultrassom	Aferir o Módulo de Elasticidade, Resistência à Compressão e Existência de Vazios/Descontinuidades - Verifica Profundidade de Fissuras Internas.	Não
Arrancamento	Determinar a Aderência Aço-Concreto.	Não
Potencial de Corrosão	Avaliar a potencialidade de corrosão.	Sim
Resistividade	Definir a probabilidade de corrosão.	Não
Ensaio Destrutivos	Determinar a Resistência à Compressão do Concreto - Avaliar Ocorrência de Carbonatação, Reação Álcali-Agregado, Porosidade, Massa Específica, Módulo de Elasticidade.	A depender dos resultados
Justificativa para realização do(s) ensaio(s)	Como foi observada a presença de armadura exposta e de alto grau de deterioração na laje L5, ensaios não destrutivos podem ser utilizados para estimar a resistência do concreto (esclerometria) e o potencial de corrosão. Como não foi disponibilizado projeto estrutural, a pacometria pode auxiliar na determinação do posicionamento e diâmetro das armaduras. A retirada de testemunhos pode ser necessária a depender dos resultados.	

Fonte: Autor (2020).

5.2.5. Prognóstico

O prognóstico prevê as consequências da não remediação dos sintomas patológicos observados, devendo ser utilizado como fundamentação

para a abertura da licitação. Caso as consequências sejam graves (como risco de desabamento), o prognóstico pode justificar a dispensa da licitação.

Internamente (Fotos 1 e 2) à estrutura, apenas observaram-se a formação de manchas, que podem conduzir a formação de fissuras e facilitar os mecanismos de corrosão da armadura. Externamente (Foto 3), os problemas aparentam ser mais graves, onde o processo corrosivo já se manifesta através de ferrugem e o concreto apresenta-se com perda de seção transversal em alguns pontos.

Com base no prognóstico, pode ser realizada a matriz GUT para definir as prioridades de intervenção. Quanto maior o peso total atribuído à manifestação patológico mais urgente é a mediação.

Logo, o problema identificado pela Foto 3 necessita de remediação tempestiva (índice GUT igual a 480) enquanto as manifestações visualizadas nas Fotos 1 e 2 não possuem a mesma urgência (índice GUT igual a 54). A Tabela 9 mostra o prognóstico para a laje L5 do exemplo exposto.

Tabela 9 - Prognóstico

Tabela 3 – Prognóstico

PROGNÓSTICO			
Sintoma	Observação		
Fotos 1 e 2 – Manchas e fissuras	Os sintomas verificados internamente na laje L5 e viga V6 caso não reparados podem evoluir para a formação de fissuras que aumentam a probabilidade de corrosão nas armaduras. A corrosão gera efeitos expansivos que podem contribuir para a ocorrência de trincas e destacamentos no concreto.		
Foto 3 – perda de seção transversal e ferrugem	Externamente, a inércia em adotar medidas terapêuticas pode ocasionar o colapso da estrutura. A laje L5 apresenta deterioração elevada, com armadura já em processo de corrosão.		
DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES – GUT			
Sintoma	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)
Fotos 1 e 2	6	3	3
Características	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício.	Evento prognosticado para adiante.	Evolução em longo prazo.
Total (GxUxT)	54 (6x3x3)		

Foto 3	10	6	8
Características	Perda de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício.	Evento diagnosticado para breve.	Evolução em curto prazo.
Total (GxUxT)	480 (10x6x8)		
ORDENAÇÃO DE PRIORIDADES			
Ordem	Sintoma		GUT
1º Lugar	Foto 3		480
2º Lugar	Fotos 1 e 2		54

Fonte: Autor (2020).

5.2.6. Terapia

Nesta fase da avaliação define-se a terapia a ser aplicada para recuperar, reforçar ou demolir a peça estrutural de concreto.

Como no nosso exemplo dividimos as manifestações patológicas em externa e interna, serão propostas terapias distintas para viga V6 e laje L5.

Para a viga V6, não foram identificados maiores problemas em sua parte externa, sendo assim, para dirimir a formação das manchas em sua superfície um reparo com argamassa pode ser suficiente. Ressalta-se que tal solução não está fundamentada em ensaios, nem em evidências que confirmem que o interior da viga não esteja danificado. Os próprios resultados dos ensaios aqui propostos (item 5.2.4) podem demandar a adoção de outras terapias, inclusive o reforço da viga.

Para a laje L5, como a sua parte externa apresenta-se bastante avariada e há relatos dos detentos de que esta estaria estalando, pode ser realizado um reforço de sua estrutura, utilizando concreto armado.

Outras técnicas poderiam ser previstas para aumentar a resistência da peça estrutural, como a aplicação de chapas metálicas ou utilização de polímeros reforçados com fibras. Porém, por tratar-se de técnica mais comumente utilizada, o reparo com concreto armado será adotado para este caso. Reafirma-se que tal solução terapêutica não se baseou em ensaios realizados e não considerou custos-benefícios dentre as diferentes alternativas possíveis.

Por fim, foi prevista a demolição manual do trecho onde foi aplicada argamassa para fechar tanto a abertura criada durante a fuga dos presos quanto trechos das janelas do anexo carcerário. A colocação da argamassa impede a regular ventilação do local, contribuindo para a insalubridade e a formação de manchas nos elementos estruturais.

A Tabela 10 mostra o preenchimento proposto para a terapia da laje L5 e viga V6.

Tabela 10 - Terapia

TERAPIA		
Reparo/Recuperação	Características	Adotado
Argamassa	Fissuras de pequena profundidade, enchimento de falhas e regularização de lajes - Interior do concreto não deve estar danificado.	Fotos 1 e 2
Graute	Regiões de difícil acesso ou densamente armadas - Permite rápida liberação da estrutura.	Não
Concreto	Falhas de concretagem ou alto grau de deterioração.	Não
Injeção de Fissuras	Fissuras com abertura entre 0,1 mm e 3 mm - sob pressão. Acima de 3 mm - pressão ambiente.	Não
Selagem de Fissuras	Fissuras ativas de qualquer diâmetro.	Não
Costura de Fissuras	Fissuras ativas que derivam de deficiências localizadas ou ocorrem em linhas isoladas.	Não
Justificativa	Conforme mostram as Fotos 1 e 2, as manchas e fissuras observadas no interior do anexo carcerário, em uma análise visual, aparentam ser de pequena profundidade, não indicando que o concreto esteja danificado. Por isso, um reparo com argamassa deve ser suficiente para dirimir os efeitos das manifestações patológicas observadas.	
Reforço	Características	Adotado
Chapas Coladas	Utilizado em emergências ou quando não é possível alterações na geometria estrutural.	Não
Polímeros reforçados com fibras	Limitação de fissuras e redução de flechas, aumento da resistência à flexão e ao cisalhamento - Não afetado por corrosão eletroquímica, resistindo a efeitos corrosivos de ácidos, álcalis e sais. Ideal para locais onde haja limitações ao emprego do aço.	Não
Concreto Armado	Aumentar a seção transversal ou substituir o material da região danificada.	Foto 3

Protensão Externa	Costurar fendas de vigas, inibir deformações e flechas acentuadas, aliviar vãos ou apoios, aumentar a capacidade de carga e criar apoios adicionais.	Não
Justificativa	Diante das informações coletadas, devido ao alto grau de deterioração da parte externa da laje (Foto 3), optou-se por realizar um reforço com concreto armado, substituindo o material da parte danificada. No caso dos ensaios demonstrarem insuficiências causadas por corrosão ou outros danos na armadura, também pode ser prevista a substituição da armadura de parte da laje L5. Salienta-se que deve ser feita uma estimativa de custos para confirmar a adoção do método, respeitando os índices oficiais disponibilizados pelo SINAPI.	
Demolição	Características	Adotado
Manual	Utiliza ferramentas que necessitam da força humana para obter êxito no colapso da estrutura, como martelo, marreta, picareta etc. Recomendável quando se necessita maior cuidado com a estrutura.	Sim
Mecânica	Utiliza equipamentos para ruir com a estrutura de um edifício. Recomendada quando se requer a demolição total da estrutura ou de parte dela.	Não
Explosivo	Utiliza explosivos para destruir alguns pilares principais da estrutura, de maneira que ela venha a cair por conta do peso próprio.	Não
Justificativa	O simples emprego de argamassa para fechar a abertura criada durante o empreendimento de fugas dos presos e consequentemente trechos das janelas do anexo carcerário não é uma solução técnica adequada e vêm comprometendo a salubridade no interior do local. Por isso, deve ser retirada toda a argamassa aplicada e restabelecido o vão das janelas.	

Fonte: Autor (2020).

5.2.7. Dimensionamento

O dimensionamento da estrutura de concreto armado deve seguir as normas da ABNT NBR 6118:2014.

Neste trabalho não será realizado o dimensionamento do reforço da laje, visto que faltam as informações de detalhamento da armadura da laje L5.

Porém, alguns detalhes podem ser estimados, como a espessura da camada de reforço, que pode ser da ordem de 4,0 cm (2,5 cm de cobrimento – considerando classe de agressividade ambiental II – mais 1,5 cm de folga entre armadura nova e superfície do concreto antigo), podendo ser aplicada na superfície superior da laje.

Previamente à execução do reforço alguns cuidados devem ser tomados, como recuperar a laje L5, de forma a eliminar descontinuidades e fissuras, analisando também a integridade das armaduras. Antes do lançamento do concreto novo deve-se preparar a superfície superior da laje de concreto, a apicoando e limpando. Também devem ser previstas pontes de aderência entre o concreto antigo e o novo.

Tabela 11 - Dimensionamento

DIMENSIONAMENTO (em caso da terapia escolhida for reforço)
Inserir aqui o memorial de cálculo para o dimensionamento da peça estrutural.

Fonte: Autor (2020).

5.2.8. Observações Complementares

Demais informações pertinentes podem ser alocadas neste espaço, como orientações para a execução da licitação, recomendações técnicas, como a indicação do uso de algum aditivo, a necessidade de impermeabilização da estrutura, etc. ou qualquer outro dado visto como relevante pelo responsável pela fiscalização.

Tabela 12 – Observações Complementares

OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES
Inserir aqui as observações complementares.

Fonte: Autor (2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho respondeu positivamente ao problema formulado, pois é possível realizar a elaboração de um procedimento de avaliação útil para aumentar a celeridade nas tomadas de decisões pelos órgãos públicos ao se depararem com avarias em elementos estruturais de concreto de estabelecimentos penais.

O procedimento pode ser aplicado tanto para situações emergenciais, nas quais há a necessidade de uma intervenção rápida na estrutura, quanto para manutenções periódicas, que visam preservar e alongar a vida útil da edificação.

O método também auxilia a buscar o melhor custo-benefício para recuperar as características essenciais da estrutura de concreto, diminuindo transtornos quanto à morosidade que envolve algumas contratações públicas.

Como sugestão a trabalhos futuros, pode-se abordar aspectos de dimensionamento de reforço para a estrutura, pelos diferentes métodos expostos. Também pode ser realizada uma estimativa de custos entre as diferentes técnicas de reforço, a partir de um estudo de caso.

Por fim, recomenda-se também realizar um levantamento das principais manifestações patológicas que ocorrem em estruturas de estabelecimentos penais. Propõe-se que tal investida, inicialmente, abranja carcerárias de um mesmo município ou circunscrição.

REFERÊNCIAS

ABNT. (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7211:2009 versão corrigida 2019. Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7584:2013 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7680-1:2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8802:2019 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575-1:2013 – Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, Caroline M. **Reforço de vigas de concreto à flexão e ao cisalhamento com tecidos de fibras de carbono**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Ibrahim Shehata, Ph.D. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. 153p.

ALEXIA, Rebeca. **Conheça os diferentes tipos de demolição.** Disponível em: <<http://www.geotesc.com.br/site/tag/tecnicas-de-demolicao/>>. Acesso em: 26/11/2019.

BALDASSO, Paulo C. P. **Procedimentos para desconstrução de edificação verticalizada: Estudo de caso.** Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Profa. Orientadora Ângela Borges Masuero, Dra. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 176p.

BEBER, Andriei J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Américo Campos Filho, Dr. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 317p.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de Construção. Patologia, Reabilitação, Prevenção.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

BOTO, Tiago A. P. M. **Estratégias para intervenções de reparação e reforço em estruturas de betão armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Ricardo Nuno Francisco do Carmo, Dr. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2015. 169p.

BRONOSKI, Bruna. **Levantamento de sindicato diz que 200 cadeias públicas do Paraná têm problemas de estrutura.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/campos-gerais-sul/noticia/2019/04/02/levantamento-de-sindicato-diz-que-200-cadeias-publicas-do-parana-tem-problemas-de-estrutura.ghhtml>>. Acesso em: 05/11/2019.

BUNGENSTAB, Felipe C. **ABNT NBR 7850:2015. Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão.** Sinduscon, Espírito Santo, 2015. Disponível em: <http://www.sinduscon-es.com.br/v2/upload/2032015112422_NBR%207680%20%20Eng%20Felipe%20OC.%20Bungenstab,%20M.Sc.pdf>. Acesso em: 27/11/2019.

CABRAL, Antonio E. B e MOREIRA, Kelvya M. V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil.** SINDUSCON-CE. Fortaleza, 2011, 44p.

CAMACHO, Jefferson S. **Concreto Armado: Estados Limites de Utilização.** Notas de Aula, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - SP, 2005, 48p.

CANDIAN, André L. **Metodologia para avaliação de estruturas de concreto armado degradadas utilizando ensaios dinâmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador José Luiz Rangel Paes, Dr. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2017. 144p.

CARVALHO, Emerson M. e ALMEIDA, Levy S. **Check-list para inspeções prediais residenciais de múltiplos pavimentos: desenvolvimento e aplicação.** Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Foz do Iguaçu, Paraná, 2017. 34p.

COUTO, Rafael A. **Avaliação Probabilística da Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado Sujeitas à Carbonatação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Profa. Orientadora Sofia Maria Carrato Diniz, Dra. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. 130p.

DORIA, Mariana R. **Aderência concreto-concreto e aço-concreto em recuperação de estruturas de concreto arado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Profa. Orientadora Ângela Teresa Costa Sales, Dra. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2014. 97p.

DUARTE, Rodrigo. **Ensaaios não destrutivos para concretos**. Disponível em: <http://ibracon.org.br/eventos/58cbc/Palestras/RODRIGO_DUARTE_IBRACON.pdf>. Acesso em: 27/11/2019.

FIGUEIREDO, Enio P. **Ensaaios Eletroquímicos para avaliação da corrosão das armaduras**. Disponível em: <<http://ibracon.org.br/eventos/58cbc/Palestras/EnioPaziniFigueiredoEnsaaiosEletrquimicos.pdf>>. Acesso em: 27/11/2019.

FILHO, Júlio J. H. S. **Reforço à torção de vigas de concreto armado com compósitos de fibras de carbono**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Profa. Orientadora Marta de Souza Lima Velasco, Dra. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 280p.

FRANÇA, Alex F. **Superlotação e tentativa de fulga fazem Cadeia Pública de Nova Esperança passar por Operação Pente Fino**. RDR News. Disponível em: <<http://rdrnews.com.br/2017/06/09/superlotacao-e-tentativa-de-fulga-fazem-cadeia-publica-de-nova-esperanca-passar-por-operacao-pente-fino/>>. Acesso em: 19/07/2020.

Geopresídios. **Relatório Mensal do Cadastro Nacional de Inspeções nos Estabelecimentos Penais (CNIEP)**. Disponível em: <http://www.cnj.jus.br/inspecao_penal/mapa.php>. Acesso em: 01/06/2020.

GOMES, Geder L. R., et al. **Diretrizes básicas para arquitetura penal.** Ministério da Justiça. Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária Brasília-DF, 2011, 111p.

GOMES, João F. G. e OLIVEIRA, Fernanda S. **Técnicas de Demolição.** Notas de Aula. Instituto Superior Técnico. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-cor/03%20T%C3%A9cnicas%20de%20demoli%C3%A7%C3%A3o%20-%203%C2%AA%20e%204%C2%AA%20aulas%20te%C3%B3ricas%20-%20COR.pdf>>. Acesso em: 26/11/2019.

GOMES, Nivaldo A. **Estruturas de Concreto Armado em Ambiente Urbano: Avaliação da Carbonatação à Luz das recomendações da NBR 6118:2003.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Almir Sales, Dr. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2006. 112p.

GONÇALVES, Eduardo A. B. **Estudo de Patologias e suas Causas nas Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações.** Rio de Janeiro, 2015, 174p.

GUERRA, Ruy S. T. **Eflorescência do concreto.** Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/05/como-remover-eflorescencia-no-concreto.html>>. Acesso em: 28/11/2019.

HELENE, Paulo R. L. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. Como projetar para a durabilidade – 2ª Parte.** São Paulo, 1997. 18p.

HELENE, Paulo R. L. **Manual prático para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, Paulo R. L. et al. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320p.

HIGASHI, Marcos M. Y. **Reforço em estruturas de betão armado com chapas de aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Carlos Filipe Guedes Rodrigues, Dr. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2016. 102p.

IENTAS, Lauren C. **Estudo de caso: análise de patologias estruturais em edificação de gestão pública**. TCC (Especialização em Construção de Obras Públicas). Prof. Orientador Nelson T. de Freitas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 58p.

KALACHE, Maurício. **Petição à Comissão Interamericana de Direitos Humanos**. Maringá, Paraná, julho de 2015. Disponível em: <http://www.mppr.mp.br/arquivos/File/imprensa/2015/InformeCorredor/Peticao_Maringa_CadeiaPublica.pdf>. Acesso em: 01/06/2020.

KERKOFF, Matheus A. **Manifestações Patológicas em Edificações – Lixiviação**. Disponível em: <<https://guideengenharia.com.br/lixiviacao-em-edificacoes/>>. Acesso em: 28/11/2019.

KIBERT, Charles J. **Policy Instruments for a Sustainable Built Environment**. Florida State University Journal of Land Use and Environmental Law: Volume 17, N° 2. Flórida, 2002. 17p.

LAGOEIRO, Vitor. **Reação álcali-agregado**. Disponível em: <<https://petcivilufjf.wordpress.com/2014/09/05/reacao-alkali-agregado/>>. Acesso em: 28/11/2019.

LENCIONI, Julia W. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado – Discussão sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Profa. Orientadora Maryangela Geimba de Lima, Dra. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos - SP, 2005. 187p.

LIBANIO, Alberto e GIASSETTI, Gilberto. **Conheça as principais técnicas para demolição total ou parcial**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/conheca-as-principais-tecnicas-para-demolicao-total-ou-parcial_19345_10_0>. Acesso em: 26/11/2019.

MAGNO, Alan. **13 Patologias mais comuns em concreto**. Disponível em: <<https://www.sh.com.br/blog/2015/13-patologias-ocasionadas-pela-concretagem/>>. Acesso em: 23/11/2019.

MAZER, Wellington. **Inspeção e ensaios em estruturas de concreto**. Notas de Aula. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 60p.

MEDEIROS, Arthur. **Terapia das Construções**. Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. 59p.

MEDEIROS, Marcelo H. F; ANDRADE, Jairo J. O. e HELENE, Paulo L. R. **Concreto: Ciência e Tecnologia. Capítulo 22: Durabilidade e Vida Útil das Estruturas**. São Paulo: IBRACON, 2011. 1968p.

MEDEIROS, Giovana. **Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto.** Disponível em: < <https://www.cimentoitambe.com.br/metodos-de-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/>>. Acesso em: 27/11/2019.

MELO, Romeu P. **Como tratar trincas e fissuras no concreto?** Disponível em:< <https://olimposervicos.com.br/2018/12/10/como-tratar-trincas-e-fissuras-no-concreto/>>. Acesso em: 23/11/2019.

MELO, Sandra K. **Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento.** Monografia (Mestrado em Engenharia Civil). Profa. Orientadora Nicole Pagan Hasparyk, Dra. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. 150p.

NAKAMURA, Juliana. **Detectores de materiais agregam precisão e produtividade às obras.** Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/detectores-de-materiais-agregam-precisao-e-productividade-as-obras_17436_10_22>. Acesso em: 27/11/2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Porto Alegre: Bookman, 2016. 912p.

PEREIRA, Caio. **Tipos de demolição.** Escola Engenharia, 2014. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-demolicao/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

PEREIRA, Eduardo. **Investigação e monitoramento por ataque de sulfatos de origem interna em concreto nas primeiras idades.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Kleber Franke Portella, Dr. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. 142p.

PUJADAS, Flávia Z. A. e SALDANHA, Marcelo S. **Norma de Inspeção Predial Nacional**. IBAPE. São Paulo, 2012. 18p.

REIS, Andréa P. A. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador João Bento de Hanai, Dr. Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 1998. 240p.

REIS, Andréa P. A. **Reforço de vigas de concreto armado submetidas a pré-carregamento e ações de longa duração com aplicação de concretos de alta resistência e concretos com fibras de aço**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Prof. Orientador João Bento de Hanai, Dr. Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2003. 355p.

REIS, Lília S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Gabriel de Oliveira Ribeiro, Dr. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. 114p.

ROCHA, Cármen L. A., et al. **Banco Nacional de Monitoramento de Prisões. Cadastro Nacional de Presos**. CNJ - Conselho Nacional de Justiça, Brasília-DF, agosto de 2018, 100p.

SÁ, João C. D. F. **Normalização dos trabalhos de demolição. Proposta de elaboração de um modelo de um plano de demolição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Manuel Brazão de Castro Farinha, Msc. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013. 134p.

SACHS, Ana. **Recuperação de estruturas de concreto armado exige planejamento e documentação dos serviços.** Disponível em: <https://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/>.

Acesso em: 28/11/2019.

SAHUINCO, Melquiades H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semidestrutivos na avaliação de pontes de concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Túlio Nogueira Bittencourt, Dr. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 170p.

SALDANHA, Marcelo S. a. **Laudos Técnico de Inspeção Predial. Penitenciária Estadual do Jacuí – Charqueadas.** IBAPE-RS. Porto Alegre, 2012. 14p. Disponível em: < http://www.crea-rs.org.br/site/documentos/Laudos_Penitenciaria_Estadual_do_Jacui_IBAPE_24_05_2012.pdf>. Acesso em: 20/07/2020.

SALDANHA, Marcelo S. b. **Laudos Técnico de Inspeção Predial. Presídio Central de Porto Alegre.** IBAPE-RS. Porto Alegre, 2012. 18p. Disponível em: < http://www.crea-rs.org.br/site/documentos/Laudos_de_Inspecao_Presidio_Central_IBAPE_30_04_2012_Versao_Revisada.pdf>. Acesso em: 20/07/2020.

SANTOS, C. R. B. et al. **Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Residenciais na Região Metropolitana do Recife (RMR).** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Recife - PE, 2017, vol. 2, nº 3, 8p.

SANTOS, E. W. F. **Reforço de Vigas De Concreto Amado à Flexão por Encamisamento Parcial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Ibrahim Shehata, Ph.D. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 168p.

SANTOS, Fernanda P. S. L. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador Itamar Messias de Freitas. Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ, 2017. 80p.

SCREMIN. Lucas B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Armando Borges de Castilhos, Dr. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. 152p.

SILVA, Dione L. et al. **Considerações sobre a formação de etringita tardia (DEF)**. Artigo Científico. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2018. 11p.

SILVA, Erick A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador Antonio Rubens Portugal Mazzilli, Dr. Universidade Anhembi Marumbi, São Paulo, 2006. 84p.

SILVA, Luiza K. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará**. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador Antônio Eduardo Bezerra Cabral, Dr. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. 61p.

SILVA, Pedro N. R. **Ataque em estruturas de concreto por ação de cloretos**. Disponível em: <<https://www.axfiber.com.br/single-post/2017/01/12/Ataque-em->

[estruturas-de-concreto-por-a%C3%A7%C3%A3o-de-cloretos>](#). Acesso em: 28/11/2019.

SIQUEIRA, M. V. et al. **Análise de carbonatação e corrosão por íons cloreto em uma passarela da zona oeste do Recife**. CONPAR (Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas), Recife, agosto de 2017. 11p.

SOTANA, Adrian et al. **Patologia das estruturas, pisos de concreto e dos revestimentos**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/Thiagoooooo/patologia-das-estruturas-piso-concreto-e-revestimentos>>. Acesso em: 23/11/2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TOMAZELI, Alexandre. **Diretrizes para a inspeção, análise e aceitação de superestruturas em concreto armado de edifícios habitacionais com obras paralisadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Paulo Roberto do Lago Helene, Dr. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, abril de 2017. 222p.

TRINDADE, Diogo S. **Patologia em estrutura de concreto armado**. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2015. 88p.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Boletim Técnico: Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil**. ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción), México, 2013. V. 1, p.1-17.

VALENÇA, Daniel V. C. **Análise da deterioração do concreto por carbonatação natural com exposição às classes de agressividade marinha e respingos de maré.** TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador Arthur Medeiros, Dr. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016. 75p.

VELASCO, Clara, et al. **Superlotação aumenta e número de presos provisórios volta a crescer no Brasil.** Disponível em:<
<https://g1.globo.com/monitor-da-violencia/noticia/2019/04/26/superlotacao-aumenta-e-numero-de-presos-provisorios-volta-a-crescer-no-brasil.ghtml>>.

Acesso em: 06/11/2019.

ZUCHETTI, Pedro A. B. **Patologias da Construção Civil: Investigação Patológica em Edifício Corporativo de Administração Pública no Vale do Taquari/RS.** TCC (Graduação em Engenharia Civil). Prof. Orientador João Batista Gravina, Msc. Centro Universitário Univates, Lajeado-RS, novembro de 2015, 114p.

ANEXO 1

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO				
INFORMAÇÕES PRELIMINARES				
Local				
Data da Avaliação				
Empresa/órgão				
Responsável pela Avaliação				
HISTÓRICO DA ESTRUTURA DE CONCRETO				
Idade da Estrutura				
Projeto Estrutural ¹	Disponível		Indisponível	
Projeto Arquitetônico ¹	Disponível		Indisponível	
¹ Anexar projeto estrutural/arquitetônico ou desenhar o croqui da estrutura se inexistirem				
Informações anteriores	Observações			
Anomalias detectadas				
Manutenções realizadas				
Reparos realizados				
Reforços realizados				
INSPEÇÃO PRELIMINAR				
Manifestações Patológicas Encontradas	Sintomas	FOTOS		
	Fissuras			
	Trincas			
	Manchas			
	Armadura Exposta			
	Eflorescências			
	Outros			
Fotografias				
Foto 1				

Descrição		
Foto 2		
Descrição		
Foto n		
Descrição		
DIAGNÓSTICO		
Sintoma	Observações - Origens, Causas e Mecanismos	
Foto 1		
Foto 2		
Foto n		
ENSAIOS		
Ensaio	Objetivo	Adotado
Ensaio Não Destrutivos		
Esclerometria	Avaliar a Dureza Superficial - Estima Resistência à Compressão.	
Pacometria	Determinar o Posicionamento das Armaduras - Estima Recobrimento e Diâmetros das Barras Metálicas.	
Ensaio GPR	Escaneamento por radar - Quando Necessária Maior Precisão que o Ensaio com Pacômetro.	

Ultrassom	Aferir o Módulo de Elasticidade, Resistência à Compressão e Existência de Vazios/Descontinuidades - Verifica Profundidade de Fissuras Internas.		
Arrancamento	Determinar a Aderência Aço-Concreto.		
Potencial de Corrosão	Avaliar a potencialidade de corrosão.		
Resistividade	Definir a existência de corrosão.		
Ensaio Destrutivos	Determinar a Resistência à Compressão do Concreto - Avaliar Ocorrência de Carbonatação, Reação Álcali-Agregado, Porosidade, Massa Específica, Módulo de Elasticidade.		
Justificativa para realização do(s) ensaio(s)			
PROGNÓSTICO			
Sintoma	Observação		
Foto 1			
Foto 2			
Foto n			
DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES – GUT			
Sintoma	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)
Fotos 1			
Características			
Total (GxUxT)			
Foto 2			
Características			
Total (GxUxT)			
Foto n			
Características			
Total (GxUxT)			
ORDENAÇÃO DE PRIORIDADES			
Ordem	Sintoma	GUT	
1º Lugar			
2º Lugar			
nº Lugar			

TERAPIA		
Reparo	Características	Adotado
Argamassa	Fissuras de pequena profundidade, enchimento de falhas e regularização de lajes - Interior do concreto não deve estar danificado.	
Graute	Regiões de difícil acesso ou densamente armadas - Permite rápida liberação da estrutura.	
Concreto	Falhas de concretagem ou alto grau de deterioração.	
Injeção de Fissuras	Fissuras com abertura entre 0,1 mm e 3 mm - sob pressão. Acima de 3 mm - pressão ambiente.	
Selagem de Fissuras	Fissuras ativas de qualquer diâmetro.	
Costura de Fissuras	Fissuras ativas que derivam de deficiências localizadas ou ocorrem em linhas isoladas.	
Justificativa		
Reforço	Características	Adotado
Chapas Coladas	Utilizado em emergências ou quando não é possível alterações na geometria estrutural.	
Polímeros reforçados com fibras	Limitação de fissuras e redução de flechas, aumento da resistência à flexão e ao cisalhamento - Não afetado por corrosão eletroquímica, resistindo a efeitos corrosivos de ácidos, álcalis e sais. Ideal para locais onde haja limitações ao emprego do aço.	
Concreto Armado	Aumentar a seção transversal ou substituir o material da região danificada.	
Protensão Externa	Costurar fendas de vigas, inibir deformações e flechas acentuadas, aliviar vãos ou apoios, aumentar a capacidade de carga e criar apoios adicionais.	
Justificativa		
Demolição	Características	Adotado
Manual	Utiliza ferramentas que necessitam da força humana para obter êxito no colapso da estrutura, como martelo, marreta, picareta etc. Recomendável quando se necessita maior cuidado com a estrutura.	

Mecânica	Utiliza equipamentos para ruir com a estrutura de um edifício. Recomendada quando se requer a demolição total da estrutura ou de parte dela.	
Explosivos	Utiliza explosivos para destruir alguns pilares principais da estrutura, de maneira que ela venha a cair por conta do peso próprio.	
Justificativa		
DIMENSIONAMENTO (em caso da terapia escolhida for reforço)		
OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES		