

Inspeção, Diagnóstico e Reparação de Estruturas de Betão Armado

Leonel Filipe Gonçalves Medas

Mestrado em Engenharia Civil – Construções

Orientador: Engenheiro Paulo Augusto Ribeiro Guedes

Outubro de 2013

Dedicatória

Aos meus pais, irmão e à Ana

“A mais profunda raiz do fracasso nas nossas vidas é pensar, como sou inútil e fraco. É essencial pensar poderosa e firmemente, eu consigo, sem ostentação ou preocupação”

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho individual necessita de uma entrega pessoal elevada, para além do sentido de responsabilidade acentuado pelo que é necessário reconhecer ajuda e o impulso daqueles que de perto contribuem no palmear deste longo trajeto.

Agradeço ao meu orientador Eng. Paulo Guedes, mentor de todo o meu trabalho, e que neste período partilhou a sua amizade, dedicação e disponibilidade. Neste período, o seu discernimento, saber e linhas orientadores foram importantes para o definir de um rumo esclarecido e objetivo, por força de um acompanhamento e ensinamento sempre demonstrado.

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais e irmão, por tudo o que fizeram e fazem por mim e por todo o apoio a mim dispensado;

Agradeço à minha namorada, Ana, por todo o incentivo, confiança, moral e compreensão disponibilizada durante todo o período académico;

Agradeço aos meus amigos do Curso de Engenharia Civil no ISEP, que comigo partilharam os bons momentos académicos;

Agradeço a toda a estrutura da empresa Teprocil, que me deram todo o apoio e compreensão necessários para o bom desempenho das minhas atividades, alargando-me desta forma os meus conhecimentos.

Agradeço a toda a estrutura da Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia, em especial ao Eng. Ribeiro, que me auxiliaram na elaboração do caso prático, nomeadamente no acesso às instalações e informação existente.

A todos um sincero Muito Obrigado!

RESUMO

O mercado da reabilitação de estruturas em Portugal está em voga, sendo um nicho de mercado com evolução galopante nos últimos anos fruto da consciencialização das entidades responsáveis, assim como das necessidades de intervir no parque edificado cada vez mais degradado, resultando num estímulo para o mercado da construção face ao seu estado atual.

As causas associadas à degradação prematura dos materiais estruturais resultam de erros de conceção e execução, assim como do facto de muitas estruturas de betão armado do parque habitacional edificado nas décadas de 60 e 70, estarem a atingir o fim do seu período de vida útil.

Na avaliação do estado de degradação de estruturas de betão armado aconselha-se a utilização de ensaios não destrutivos, uma vez que permitem efetuar um diagnóstico com resultados positivos salvaguardando a integridade da estrutura.

A norma EN 1504 “Produtos e Sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão” estipula os procedimentos de execução, as características dos materiais mais adequados a cada tipo de projeto, assim como a divisão do seu encadeamento em 5 fases.

O caso prático apresentado é um edifício de prestação de serviços municipais, tendo sido aplicado com o maior rigor possível as fases de inspeção, diagnóstico, deliberação e reparação. Foi efetuada uma fase de diagnóstico, de carácter visual assim como de caracterização física dos elementos estruturais em betão armado através de ensaios “*in situ*”. A estrutura avaliada apresenta debilidades e um estado de degradação acelerado, pelo que urge uma intervenção de reparação por forma a repor a estrutura com as características da sua conceção, salvaguardando a segurança das pessoas e bens.

Palavras-chave: Estruturas de betão armado, Degradação, Inspeção, Diagnóstico, EN 1504 e Reparação.

ABSTRACT

The structures rehabilitation market in Portugal is in vogue, being a niche market with rampant evolution in recent years as a result of the awareness of the responsible, as well as the needs to intervene in increasingly degraded building resulting in a stimulus to the construction market in the face of its current state.

The causes associated with premature degradation of structural materials, are the result of design and implementation errors, as well as the fact that many reinforced concrete structures of the housing stock built in the decades of 60 and 70 are reaching the end of its useful life.

In assessing the state of degradation of concrete structures is advised to use non-destructive testing since it allows making a diagnosis with positive results safeguarding the integrity of the structure.

The EN 1504 "Products and Systems for the protection and repair of concrete structures" stipulates the implementation procedures, the characteristics of the materials best suited to every type of project, as well as the division of its network in 5 phases.

The case study presented is a municipal services building, having been applied accurately as possible the phases of inspection, diagnosis, deliberation and repair. It was performed a diagnostic phase, visual as well as physical characterization of the structural elements in reinforced through tests "*in situ*". The structure evaluated presents weaknesses and a state of accelerated degradation, and therefore, urge repair intervention in order to restore the structure with the features of its design while safeguarding the safety of persons and goods.

Summary key words: Reinforced concrete structures, Degradation, Inspection, Diagnosis, EN 1504, and Repair.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE GERAL.....	xi
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE QUADROS.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxii
ACRÓNIMOS.....	xxiii

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Âmbito	1
1.2	Objetivos do trabalho	2
1.3	Estrutura e organização da dissertação	3
2	Causas da degradação das estruturas de betão armado	5
2.1	Generalidades.....	5
2.2	Degradação do betão.....	7
2.3	Causas da degradação do betão.....	8
2.3.1	Fase de conceção e projeto	8
2.3.1.1	Conceção estrutural inadequada	8
2.3.1.2	Erros de projeto	9
2.3.1.3	Disposições construtivas inadequadas	10
2.3.1.4	Impossibilidade de execução correta	12
2.3.2	Fase de execução.....	12

2.3.2.1	Abatimentos localizados de superfícies de betonagem.....	13
2.3.2.2	Deslocamentos das cofragens.....	13
2.3.2.3	Vibrações.....	14
2.3.2.4	Segregação do betão fresco.....	14
2.3.2.5	Retração de presa do betão.....	14
2.3.2.6	Descofragem prematura.....	15
2.3.3	Fase de serviço e utilização.....	15
2.3.3.1	Tensões de origem térmica.....	15
2.3.3.1.1	Variações da temperatura atmosférica.....	15
2.3.3.1.2	Variação da temperatura interna.....	16
2.3.3.1.3	Ciclos de gelo e degelo.....	16
2.3.3.2	Absorção de água pelo betão.....	16
2.3.3.3	Reações químicas.....	17
2.3.3.4	Ação do fogo.....	20
2.4	Mecanismos de corrosão do aço.....	20
3	Avaliação do estado de degradação de estruturas de betão armado.....	22
3.1	Introdução.....	22
3.2	Ensaio Estruturais " <i>In Situ</i> ".....	24
3.2.1	Carotagem de betão.....	24
3.2.2	Ensaio esclerométrico.....	25
3.2.3	Ensaio de aderência por tração - Pull Off Test.....	27
3.2.4	Ensaio de ultra sons.....	29
3.2.5	Ensaio de deteção de armaduras.....	32
3.3	Ensaio de Durabilidade " <i>In Situ</i> ".....	33
3.3.1	Ensaio de determinação da profundidade de carbonatação.....	34
3.3.2	Ensaio de determinação do teor de cloretos do betão.....	36

3.3.3	Ensaio de determinação da permeabilidade do betão ao ar e à água	38
3.3.4	Ensaio de deteção da corrosão das armaduras.....	41
3.3.5	Ensaio de medição da resistividade do betão.....	43
3.3.6	Ensaio de deteção de delaminação superficial do betão	44
3.3.7	Monitorização da abertura de fendas e fissuras	46
3.3.7.1	Medição com fissurómetro simples.....	46
3.3.7.1.1	Medição de espessura de fissuras.....	46
3.3.7.1.2	Medição de abertura de fissuras.....	46
3.3.7.2	Medição com a alongâmetro de deslocamentos em juntas e fissuras.....	49
3.3.8	Levantamentos termográficos.....	50
3.3.9	Observação boroscópica de fendas e cavidades	54
3.4	Ensaio estruturais em laboratório	56
3.5	Ensaio de durabilidade em laboratório.....	58
4	Enquadramento Normativo segundo a NP EN 1504.....	60
4.1	Introdução	60
4.2	Estrutura da NP EN 1504.....	61
4.2.1	Fase de diagnóstico.....	67
4.2.2	Fase deliberativa.....	68
4.2.3	Fase de dimensionamento	69
4.2.4	Fase de execução.....	71
4.2.5	Fase de inspeção, monitorização e manutenção	73
5	Estudo de um caso prático	74
5.1	Diagnóstico da estrutura.....	78
5.1.1	Avaliação das condições da estrutura.....	78

5.1.2	Identificação das anomalias	81
5.1.2.1	Análise e inspeção visual da estrutura.....	81
5.1.2.2	Betão com corrosão ativa das armaduras	81
5.1.2.3	Delaminação ou escamação superficial	83
5.1.2.4	Delaminação superficial com exposição de armaduras	84
5.1.2.5	Betão com fissuração superficial passiva	85
5.1.3	Análise e diagnóstico da estrutura, com recurso a ensaios não destrutivos “ <i>in situ</i> ”.....	86
5.1.3.1	Deteção de armaduras e avaliação do seu diâmetro e recobrimento (Ferrosan)	87
5.1.3.2	Ensaio esclerométrico digital (Proceq)	91
5.1.3.3	Ensaio de ultra sons em betão (Proceq)	95
5.1.3.4	Medição da resistividade do betão (Proceq Resipod).....	98
5.1.3.4.1	Estimativa da probabilidade de corrosão	99
5.1.3.4.2	Indicação da taxa de corrosão	99
5.1.3.5	Deteção da corrosão das armaduras (Proceq Canin +)	101
5.1.4	Conclusões da inspeção da estrutura.....	103
5.2	Decisão sobre os objetivos da proteção e da reparação.....	105
5.3	Seleção dos princípios adequados para a proteção e reparação.....	106
5.4	Seleção de métodos.....	108
5.5	Definição das propriedades dos produtos e sistemas;.....	112
5.5.1	Reparação do betão e preservação ou restauração da passividade.....	112
5.5.2	Proteção contra a corrosão das armaduras	116
5.5.2.1	Revestimentos ativos para armaduras.....	116
5.5.2.2	Revestimentos de barreira para armaduras	116
5.6	Especificação dos requisitos de manutenção após os trabalhos de proteção e reparação.	117
5.7	Condições Técnicas de Reparação.....	117

5.7.1	Preparação das Superfícies	117
5.7.1.1	Limpeza do betão	117
5.7.1.2	Ponte química e aderência entre materiais.....	118
5.7.1.3	Remoção do betão degradado	118
5.7.1.4	Preparação das armaduras.....	119
5.7.2	Reparação do betão com corrosão ativa das armaduras	119
5.7.2.1	Aplicação nas superfícies das armaduras de proteção do aço contra a corrosão.....	119
5.7.3	Reparação do betão com delaminação ou escamação superficial.....	120
5.7.3.1	Aplicação de argamassa em zonas degradadas	120
5.7.3.2	Aplicação nas superfícies de betão de proteção contra a corrosão	120
5.7.4	Reparação do betão com delaminação superficial com exposição de armaduras.....	121
5.7.4.1	Aplicação nas superfícies das armaduras de proteção do aço contra a corrosão.....	121
5.7.4.2	Aplicação de argamassa de regularização e selagem.....	121
5.7.4.3	Aplicação de revestimento de proteção e acabamento.....	121
5.7.5	Reparação do betão com fissuração superficial passiva.....	122
5.7.5.1	Aplicação de resina epóxi de injeção nas fissuras, aberturas e fendas.....	122
5.7.5.2	Aplicação de revestimento de proteção e acabamento.....	122
5.8	Conclusões do Caso Prático	122
6	Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	125
6.1	Conclusões Gerais	125
6.2	Desenvolvimentos Futuros	126
7	Referências Bibliográficas.....	127
8	Anexos.....	130
8.1	Fichas Técnicas dos Produtos	131

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Causas frequentes da degradação das estruturas de betão armado (<i>BASF,2012</i>).	6
Figura 2 - Mecanismos de corrosão do aço (<i>adaptada de www.engegraut.com.br</i>).	21
Figura 3 – Esquema dos ensaios estruturais e de durabilidade “ <i>in situ</i> ” e em laboratório.	23
Figura 4 – Demonstração da extração de carote para análise (<i>www.leiricortabetao.pt</i>)....	25
Figura 5 – Equipamento e esquema de funcionamento do ensaio esclerométrico (<i>adaptada de www.ncrep.pt</i>).....	26
Figura 6 – Ensaio de aderência por tração – Pull Off Test (<i>www.oz-diagnósticos.com</i>). ..	28
Figura 7 - Quadro 3.1, do Eurocódigo 2 “ Características de resistência e de deformação do betão”	30
Figura 8 – Equipamento de ultra sons (<i>www.epc.com.hk</i>).	31
Figura 9 – Ilustração dos métodos existentes para execução do ensaio de ultra sons (<i>adaptada de www.theconstructor.org</i>).....	31
Figura 10 – Ensaio de deteção de armaduras (<i>www.pdig.pt</i>).	33
Figura 11 - Determinação da profundidade de carbonatação (<i>www.oz-diagnósticos.com</i>). 36	
Figura 12 - Determinação do teor de cloretos do betão (<i>www.oz-diagnósticos.com</i>).....	37
Figura 13 - Determinação da permeabilidade do betão ao ar e à água (<i>www.directindustry.com</i>).....	40
Figura 14 - Deteção da corrosão das armaduras (<i>adaptado de www.cflhd.gov</i>).....	41
Figura 15 – Esquema da medição da resistividade segundo potenciais eléctricos (<i>adaptado de picasaweb.google.com</i>).	44
Figura 16 - Deteção de delaminação superficial do betão (<i>soundingtech.com</i>).....	45
Figura 17 – Fissurómetro para medição da evolução de aberturas e fissuras (<i>construironline.dashofer.pt</i>).....	48

Figura 18 - a) Alongâmetro tipo LNEC; b) Alongâmetro de Staeger <i>(reabilitacaodeedificios.dashofer.pt)</i>	49
Figura 19 - Imagem termográfica de um edifício <i>(facingyconst.blogspot.com)</i>	51
Figura 20 - Imagem de termografia de um edifício <i>(www.aparejadorbilbao.com)</i>	52
Figura 21 – Equipamento termográfico <i>(www.aparejadorbilbao.com)</i>	53
Figura 22 - Observação boroscópica de fendas e cavidades <i>(reabilitacaodeedificios.dashofer.pt)</i>	54
Figura 23 – Estrutura da Norma NP EN 1504 - “Produtos e sistemas para a proteção reparação de estruturas de betão” <i>(Silva, 2008)</i>	65
Figura 24 – Fases e etapas de um processo de reparação <i>(Silva, 2008)</i>	66
Figura 25 - Tarefas para avaliação do estado da estrutura <i>(Silva, 2008)</i>	67
Figura 26 - Tarefas para identificação das causas das avarias/patologias <i>(Silva, 2008)</i>	67
Figura 27 – Esquema de possíveis decisões <i>(Silva, 2008)</i>	68
Figura 28 - Esquema de princípios e métodos <i>(Silva, 2008)</i>	69
Figura 29 - Processo de dimensionamento <i>(Silva, 2008)</i>	69
Figura 30 - Processo de execução da reparação <i>(Silva, 2008)</i>	71
Figura 31 - Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.	74
Figura 32 – Planta geral das Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia <i>(Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia)</i>	76
Figura 33 - Planta de localização dos edifícios <i>(Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia)</i>	76
Figura 34 - Planta estrutural do edifício E.	77
Figura 35 - Alçado Principal Edifício E.....	79
Figura 36 - Identificação dos elementos objeto de avaliação.	80
Figura 37 – Betão com corrosão ativa das armaduras.	81

Figura 38 – Betão com corrosão ativa das armaduras.....	82
Figura 39 - Betão com corrosão ativa das armaduras.	82
Figura 40 - Delaminação ou escamação superficial do betão.	83
Figura 41 - Delaminação ou escamação superficial do betão.	83
Figura 42 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.....	84
Figura 43 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.....	84
Figura 44 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.....	85
Figura 45 - Fissuração superficial passiva.	85
Figura 46 - Fissuração superficial passiva.	86
Figura 47 - Equipamento de deteção de armaduras, Ferrosan PS 200.	87
Figura 48 – Marcações da grelha das armaduras após deteção com ferramenta Quick Scan.	88
Figura 49 - Imagem da deteção das armaduras com recurso ao Software PS 200 com identificação dos varões.	89
Figura 50 - Imagem dos resultados obtidos para diâmetro e recobrimento da armadura com recurso ao Software PS 200.	90
Figura 51 - Imagem do pormenor construtivo da armadura projetada para o pilar em análise (<i>Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia</i>).	90
Figura 52 – Equipamento para o ensaio esclerométrico, DIGI-SCHMIDT 2000 (<i>www.proceq.com</i>).	91
Figura 53 – Exemplo de área em análise.....	92
Figura 54 - Ensaio esclerométrico do betão, DIGI – SCHIMDT 2000 (<i>www.proceq.com</i>). 92	
Figura 55 – Ábaco de correlação entre a resistência à compressão e o número de ressalto (modelo Tipo N) (<i>www.oz-diagnostico.pt</i>).	94
Figura 56 - Equipamento para o ensaio de ultra sons, TICO (<i>www.ampri.res.in</i>).	96

Figura 57 - Equipamento para o ensaio de resistividade do betão, RESIPOD. 99

Figura 58 - Detecção da corrosão das armaduras, CANIN +. 102

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Balizamento da qualidade do betão através da velocidade de propagação do ultra sons.....	32
Quadro 2 - Classes de teor de cloretos do betão aplicáveis em Portugal.	38
Quadro 3 - Nível de corrosão ativa em função do nível de potencial.	43
Quadro 4 - Nível de corrosão em função da resistividade.	44
Quadro 5 - Valores de referência da condutividade térmica e calor específico de diferentes materiais.....	51
Quadro 6 - Descrição dos ensaios estruturais em laboratório (<i>imagens obtidas de www.lnec.pt e www.scielo.br</i>).	57
Quadro 7 - Descrição dos ensaios de durabilidade em laboratório (<i>imagens obtidas de www.sciencedirect.com, www.lnec.pt e www.scielo.br</i>).	59
Quadro 8 - Valores obtidos do índice esclerométrico nos elementos ensaiados.....	93
Quadro 9 - Classes de resistência à compressão do betão obtidas através do ábaco de correlação entre a resistência à compressão e o número de ressalto (modelo Tipo N).....	94
Quadro 10 – Classes de resistência à compressão do betão.....	95
Quadro 11 – Valores obtidos do tempo de propagação dos ultras sons nos elementos ensaiados.	97
Quadro 12 – Valores obtidos da velocidade de propagação dos ultra sons nos elementos ensaiados.	97
Quadro 13 – Valores referência para a velocidade de propagação dos ultra sons (<i>www.oz-diagnostico.pt</i>).	98
Quadro 14 – Valores obtidos da resistividade nos elementos ensaiados.	100
Quadro 15 – Valores do indicador de fiabilidade do fabricante para o equipamento utilizado.	102

Quadro 16 - Valores obtidos da medição da resistividade.....	103
Quadro 17 - Princípios que estão relacionados com a degradação da matriz de betão e/ou defeitos causados pela corrosão das armaduras.....	107
Quadro 18 - Métodos correspondentes aos princípios 1 e 2 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.....	108
Quadro 19 - Métodos correspondentes aos princípios 3 a 5 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.....	109
Quadro 20 - Métodos correspondentes aos princípios 6 a 10 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.....	110
Quadro 21 - Métodos correspondentes ao princípio 11 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.....	111
Quadro 22 - Características de desempenho dos produtos de reparação do betão.....	114
Quadro 23 - Requisitos de desempenho dos produtos de reparação do betão.....	115

ÍNDICE DE ANEXOS

8	Anexos.....	130
8.1	Fichas Técnicas dos Produtos.....	131

ACRÓNIMOS

EC0 – Eurocódigo 0. Bases para dimensionamento de estruturas. Instituto Português da Qualidade, 2009.

EC1 – Eurocódigo 1. Ações em Estruturas. Instituto Português da Qualidade, 2009.

EC2 – Eurocódigo 2. Projeto de estruturas de betão. Instituto Português da Qualidade, 2010

EN 1504 - Produtos e Sistemas para a Proteção e Reparação de Estruturas de Betão. Instituto Português da Qualidade, 2006.

1 Introdução

1.1 Âmbito

A escolha do tema para a realização da dissertação de mestrado “Inspeção, Diagnóstico e Reparação de Estruturas de Betão Armado” surgiu da vontade de aprofundar os conhecimentos nesta área, através da compilação e sistematização da informação existente, complementada com aplicação a um caso de estudo.

A construção da maioria das estruturas de betão armado em Portugal teve início na década de 60, representando neste momento cerca de 45% do parque habitacional edificado, assim como das obras de arte e estruturas industriais. Nessa época, e na ótica de construtores e projetistas, existia a ideia de o betão armado se tratar de um material eterno e não afectável pelas ações e condições climatéricas. Tendo em conta tais factos, em momento algum foram adotadas medidas de prevenção tendo em vista a sua durabilidade o que hoje em dia contribui em larga escala para os problemas de degradação existentes.

Por força da evolução da regulamentação afeta às estruturas de betão armado, verifica-se que hoje em dia, existe um abordagem mais conservadora relativamente a este tema desde a conceção até à sua execução e posterior manutenção. Um exemplo destes princípios é o Eurocódigo 2 (EC2) [1] que trata a durabilidade num plano mais eficaz e abrangente face à anterior regulamentação, o Regulamento de Estruturas de Betão Armado. No EC2 a durabilidade varia em função da qualidade do betão aplicados, assim como dos valores de recobrimento das armaduras. Apesar de tudo isto, e tendo em conta a manutenção e sistemas de proteção para as estruturas, o seu período de vida útil encontra-se limitado a 50 anos para as denominadas estruturas correntes.

É de notar que a abordagem de um projeto de intervenção numa estrutura já existente carece de um conhecimento alargado em várias especialidades e temáticas. Este tipo de

projeto exige uma metodologia de abordagem completamente diferente de uma construção nova, ou seja, inicia-se por uma recolha aprofundada de toda informação existente terminando na elaboração de peças escritas e desenhadas que fundamentam o projeto a executar.

Tendo como referência os Censos 2011 [2] verifica-se que cerca de 24% dos edifícios com estruturas de betão armado necessitam de reparações médias a grandes. Não obstante, é normal verificarmos no dia-a-dia sinais de degradação em estruturas de betão armado, tais como delaminação do betão ou corrosão das armaduras. Estes sinais carecem de avaliação por parte dos profissionais de Engenharia Civil, uma vez que para além do aspeto visual envelhecido, comprometem em alguns casos a segurança, assim como prejudicam ou limitam a sua utilização. De modo a facilitar o processo de reabilitação, reparação e reforço destas estruturas foi elaborada a EN 1504 que compila os procedimentos, métodos e requisitos para este género de intervenções.

Posto isto, prevê-se que este documento seja capaz de compilar segundo uma forma integrada toda a informação útil para um projetista ou até mesmo um simples leitor, assim como servir de orientação para aplicação das matérias abordadas em situações práticas e correntes.

1.2 Objetivos do trabalho

Com base no tema da presente dissertação, preconiza-se expor e explanar informação acerca da reabilitação e reparação de estruturas de betão segundo os seguintes objetivos:

- Identificação e descrição das principais causas de degradação das estruturas de betão armado;
- Identificação e descrição dos diferentes ensaios de diagnóstico utilizados na avaliação do estado de degradação das estruturas de betão armado;
- Identificação e descrição das principais técnicas, métodos e princípios da reparação de estruturas de betão armado, segundo a Norma EN 1504 [3];

- Avaliação do estado de degradação de um edifício, através da aplicação das matérias anteriormente apresentadas;
- Identificação e descrição das condições técnicas de reparação da estrutura de betão armado para o caso prático em questão, com especificação dos produtos;

1.3 Estrutura e organização da dissertação

Tendo por base os objetivos propostos para o presente trabalho, efetuou-se uma organização por capítulos onde se agrupa por tema todos os assuntos abordados mediante o respectivo objetivo. Apresenta-se de seguida, uma descrição sumária de cada um dos referidos capítulos.

Na estrutura da dissertação, o presente capítulo contém uma pequena introdução que contextualiza os objetivos do trabalho. Procura-se apresentar as noções acerca da importância e consciencialização da necessidade de reparar as estruturas de betão armado findo o seu período de vida útil, assim como as necessidades futuras de manutenção das mesmas após as ações de reparação.

O segundo capítulo apresenta e explicita as causas mais correntes da degradação das estruturas de betão. Para além disso efetua-se um enquadramento destas causas de degradação nas diversas fases e intervenientes do processo de conceção, execução e manutenção ou conservação da mesma.

O terceiro capítulo aborda o processo de avaliação do estado da degradação das estruturas de betão armado, onde se apresentam os ensaios estruturais e de durabilidade existentes. Esta apresentação efetua a separação entre ensaios “*in situ*” e em laboratório com base nos documentos normativos existentes.

No quarto capítulo, apresenta-se a norma EN 1504, procurando sintetizar as regras e procedimentos nela preconizados, por forma a permitir ao leitor obter um conhecimento acerca dos aspetos e exigências mais significativas a ter em consideração aquando de um processo de reabilitação e reparação de estruturas de betão armado.

O capítulo quinto resulta da aplicação prática dos capítulos anteriores, procedendo-se à avaliação de uma estrutura de betão armado através da especificação das causas de degradação, realização de ensaios, apresentação de técnicas de reparação e respetivas especificações dos produtos a utilizar.

O último capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido, assim como uma abordagem para possíveis desenvolvimentos futuros.

2 Causas da degradação das estruturas de betão armado

2.1 Generalidades

Durante o seu período de vida útil, as estruturas de betão armado são submetidas a diversas e diferentes solicitações, assim como a diferentes fenómenos do meio ambiente que em conjunto provocam a sua degradação.

No entanto e face à informação existente acerca dos mecanismos de degradação das estruturas de betão armado, torna-se difícil à vista desarmada efetuar um diagnóstico de causa e efeito. Cada estrutura apresenta as suas singularidades e especificidades, pelo que deverá haver lugar a inspeções periódicas que permitam monitorizar e controlar a evolução dos mecanismos de degradação das estruturas. Este acompanhamento contínuo permitirá uma identificação das causas mais clara e assertiva, assim como definir medidas que visem resolver estes fenómenos a curto prazo.

As causas da degradação das estruturas poderão ser do tipo estruturais ou não estruturais dependendo da sua extensão, do elemento e material afetado, assim como da sua importância.

A falta de manutenção faz com que pequenas manifestações patológicas, que teriam baixo custo de recuperação, evoluam para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspeto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação. [4]

Neste capítulo irão abordar-se as principais e mais frequentes causas da degradação das estruturas de betão armado, que se resumem na Figura 1.

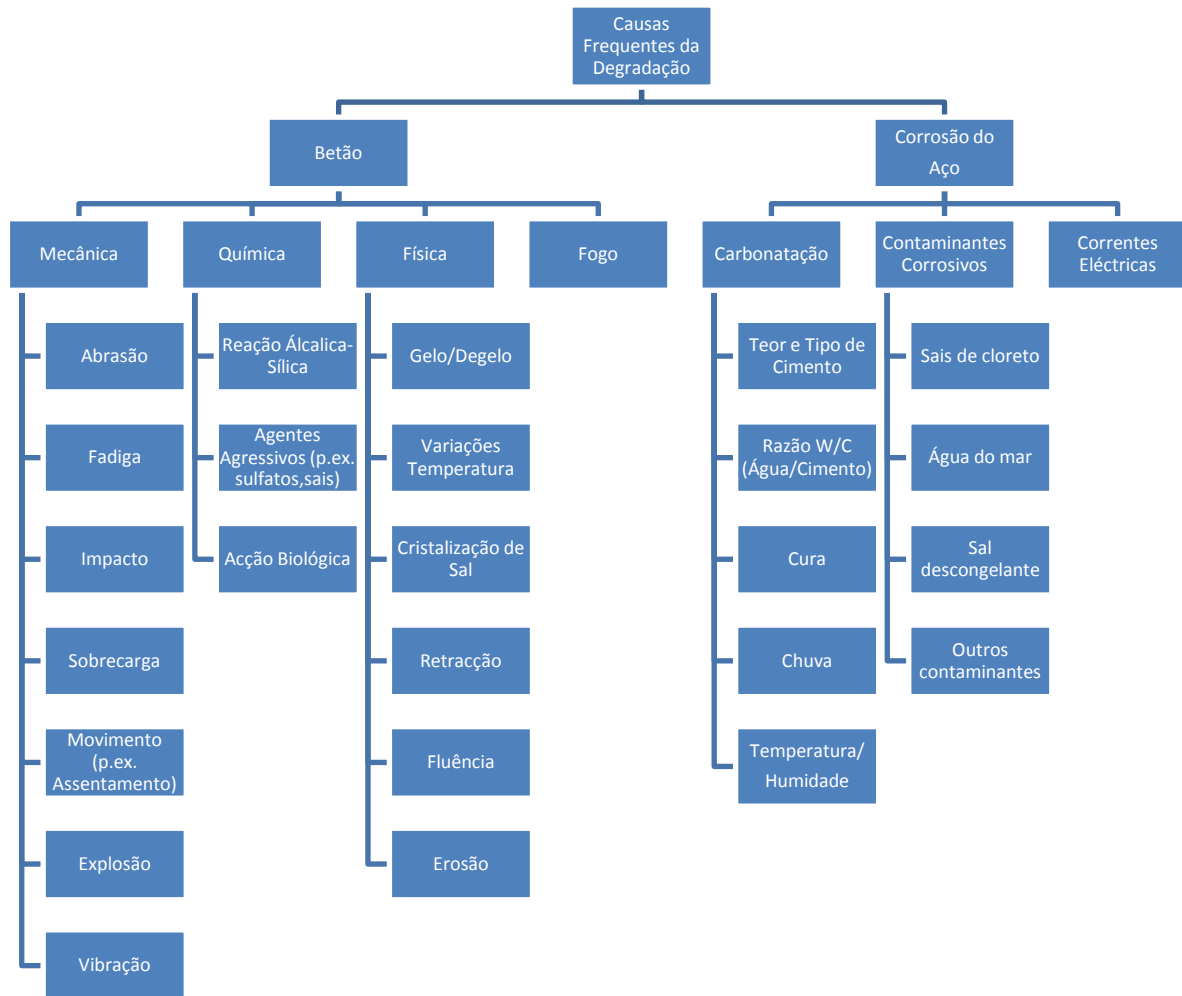


Figura 1 – Causas frequentes da degradação das estruturas de betão armado (BASF,2012).

2.2 Degradação do betão

A degradação do betão surge por força das propriedades dos seus materiais constituintes assim como agressões exteriores que afetam as estruturas de betão armado. Desta forma é possível associar a degradação do betão devido aos seguintes aspetos:

- Fendilhação;
- Desagregação local;
- Defeitos de estanquidade;
- Erosão;
- Degradação por ataque químico ou biológico.

Noutra perspectiva é necessário ter em conta os mecanismos que contribuem para a degradação do betão, e que geralmente está associada a três grandes grupos de ações:

- Ações de Origem Química
- Ações de Origem física e mecânica
- Ações de Origem Biológica

Os mecanismos que contribuem para a degradação do betão, não apresentam linearidade entre autores, uma vez que a separação dos grupos não é abordada segundo a mesma temática. Existem autores para as quais a ação de origem biológica se trata de um grupo isolado, como para outros deverá ser englobada nas ações de origem química.

Associado à degradação das estruturas de betão armado existem as ações de acidentes, que podem se manifestar e ser de diversas formas tais como:

- Naturais
- Sismos
- Descalçamento de fundações ou deslizamentos de terras
- Tempestades marítimas
- Acidentes de origem humana (incêndio, explosões, choque e inundações).

2.3 Causas da degradação do betão

2.3.1 Fase de conceção e projeto

Durante a fase de projeto, a qualidade depende do cumprimento das especificações impostas pela regulamentação em vigor, pela utilização de um modelo de cálculo adequado e pela correta pormenorização de todos os elementos estruturais.

Na maioria dos pormenores do projeto de execução, observa-se o cumprimento da concordância com as especificações técnicas, no entanto o reflexo num contexto de obra nem sempre resulta da melhor forma, ou seja, existem certos pormenores construtivos, especificados ou não no projeto, que acabam por conduzir ao aparecimento de anomalias.

O tipo de patologias que advém deste tipo de deficiência pode apenas manifestar-se após algum tempo. As deficiências de projeto podem então ser devidas aos seguintes fatores:

- Conceção estrutural inadequada;
- Erros de projeto;
- Disposições construtivas inadaptadas;
- Impossibilidade de execução correta;
- Não consideração das tolerâncias de execução.

2.3.1.1 Conceção estrutural inadequada

O sistema estrutural adotado poderá estar na base da degradação precoce da obra. Esta deficiência pode resultar da inadaptação da estrutura ao sítio onde está inserida, como é o caso de uma estrutura hiperestática submetida a movimentos dos apoios ou do terreno, ou devido às condições de utilização desajustadas ao tipo e robustez de estrutura, estando a estrutura submetida a ações exteriores superiores às quais está dimensionada. A forma dos elementos estruturais, se apresenta cantos salientes ou secções muito esbeltas e a ausência

de impermeabilização ou má conceção da drenagem, podem também propiciar o aparecimento precoce de patologias.

2.3.1.2 Erros de projeto

No que diz respeito aos problemas resultantes do cálculo das estruturas podemos definir diferentes causas, tais como:

- Especificação inadequada dos materiais (aço e betão);

A qualidade dos materiais escolhidos irá determinar a capacidade de resistência às ações agressivas externas, tanto químicas como físicas, para que estas não entrem num processo de degradação. A opção errada em relação às propriedades dos materiais poderá conduzir ao aparecimento de anomalias.

De modo a precaver tais situações, é necessário que o projetista proceda a uma avaliação atenta e correta relativamente às condições a que a estrutura irá estar submetida.

- Deficiente avaliação da agressividade das condições de exposição;

Na elaboração do projeto será necessário ter em conta a agressividade das condições de exposição a que a obra irá estar exposta, ao nível das características particulares do ambiente onde irá estar inserida.

- Cargas subdimensionadas;

Denomina-se uma estrutura de subdimensionada, quando se verifica que esta não possui resistência suficiente para suportar as cargas a que está sujeita, sem se danificar. As causas que por norma estão na origem são a subestimação das cargas de utilização ou das cargas permanentes, sendo que o erro mais frequente resulta da subavaliação ou omissão das ações térmicas. Para o cálculo de estruturas

flexíveis verifica-se com alguma frequência uma incorreta quantificação dos efeitos da ação do vento.

- Erros na modelação;

A aliança do aumento crescente do uso de ferramentas de cálculo automático com contínuo desenvolvimento da teoria das estruturas e do cálculo estrutural tem conduzido ao aparecimento de elementos estruturais cada vez mais esbeltos. Estes elementos quando solicitados pela ação dos agentes agressivos apresentarão características e propriedades menos resistentes ao processo de degradação.

- Falta de verificação de todas as condições impostas pela regulamentação;

As principais causas da falta de verificação de todas as condições impostas pela regulamentação assentam no deficiente controlo da deformação, da fendilhação e das deformações impostas (retração, temperatura).

2.3.1.3 Disposições construtivas inadaptadas

Na fase do projeto de execução, por vezes existem regras que não são cumpridas de forma taxativa, tais como:

- Deficiente pormenorização das armaduras;

Ao nível do cumprimento das disposições gerais impostas pelos regulamentos relativas a armaduras, existem vários aspetos que frequentemente não são considerados e que por norma são passíveis de originar futuros problemas. No leque de aspetos mais relevantes referem-se os seguintes:

- Agrupamento das armaduras;
- Distância mínima entre armaduras ou bainhas para permitir realizar uma betonagem em boas condições;

- Recobrimento mínimo de modo a garantir não só a necessária proteção contra a corrosão mas também a eficiente transmissão das forças entre as armaduras e o betão;
 - Curvatura máxima das armaduras, de modo a não afetar a sua resistência e sem provocar o esmagamento ou fendilhação do betão por efeito da pressão que exerce na zona da curva;
 - Aderência das armaduras ao betão (amarrações e emendas), de modo a garantir o funcionamento conjunto dos dois materiais;
 - Amarrações e emendas de armaduras ordinárias.
- Armadura passiva insuficiente;

A eficiência do comportamento estrutural de um elemento ocorre quando é garantido que as armaduras principais absorvem e transmitem os esforços, enquanto as armaduras secundárias limitam a ocorrência da fendilhação localizada, assegurando assim a ligação entre as partes dos elementos que tenham tendência para o destacamento em situações onde ocorre a variação brusca de geometria das peças e atuação de forças em zonas restritas dos elementos estruturais. Um exemplo muito claro e comum é o das consolas curtas (cachorros) e das vigas parede, em que o método das bielas e tirantes apenas permitem calcular a armadura principal, que deve ser complementada com armaduras secundárias.

- Especificação deficiente dos recobrimentos das armaduras;

A omissão de especificações dos recobrimentos das armaduras pode conduzir à adoção, durante a execução, de recobrimentos insuficientes. Os elementos que contenham um recobrimento insuficiente e que estejam expostos a ambientes agressivos estão mais vulneráveis à sua degradação precoce.

2.3.1.4 Impossibilidade de execução correta

A necessidade de efetuar alterações ao projeto, na maioria das vezes ocorre no período de execução da empreitada. É de ressaltar, que muitas vezes estas alterações são efetuadas em obra não havendo consulta prévia do projetista, o que muitas vezes poderá conduzir ao aparecimento inesperado de anomalias. Estas anomalias nem sempre se manifestam durante a fase de execução da obra. De modo a diminuir o risco de aparecimento de patologias originadas por este modo de atuação, dever-se-á primar por requerer as modificações necessárias ao gabinete de projetos responsável pela sua conceção.

2.3.2 Fase de execução

Segundo as lições de Professor Joaquim C. Sampaio [5], os três sintomas principais da degradação de uma obra de betão são as fissuras, a escamação e a desagregação.

Todos estes sintomas fundamentais são passíveis de serem detetados e diferenciados. A especificidade de cada um dos sintomas apresenta-se sob as mais diversas formas, tendo em conta o seu próprio significado. Os três sinais principais de degradação podem ocorrer em conjunto, assim como é suscetível de se manifestar em simultâneo sob as mais diferentes formas.

No que diz respeito à causa da degradação do betão, é uma operação bastante delicada e que difere, nitidamente, de idêntica pesquisa feita numa obra de aço ou de madeira, onde a relação entre os sintomas e a causa é habitualmente muito clara.

Posto isto, será necessário em primeiro lugar, avaliar todas as causas possíveis do estado de degradação observado de forma a proceder à sua eliminação. Trata-se de um processo que engloba a elaboração de uma lista dos agentes e dos processos de degradação, para compreensão do seu modo de atuação e afetação ao nível dos constituintes do betão. [6]

De forma a eliminar as anomalias existentes haverá necessidade de efetuar o diagnóstico da causa provável da ocorrência observada, para que seja possível escolher e aplicar o método de reparação mais adequado ao caso em análise.

Tendo em conta as situações mais correntes em obra, é possível definir os fatores mais frequentes de degradação do betão:

- Abatimentos localizados das superfícies de betonagem;
- Deslocamentos das cofragens;
- Vibrações;
- Segregação do betão fresco;
- Retração durante a presa do betão;
- Descofragem prematura;

2.3.2.1 Abatimentos localizados de superfícies de betonagem

Caso se verifique a existência ou presença de zonas de resistência desigual nas superfícies de betonagem, de bolsas de ar ou vazios, existirá uma elevada probabilidade de ocorrência de um assentamento localizado do betão fresco sob o efeito do seu próprio peso, que por sua vez irá resultar no aparecimento de fissuras.

2.3.2.2 Deslocamentos das cofragens

A existência de movimentos nas cofragens ocorridos no momento em que parte do betão se encontra a perder a fluidez e o restante se encontra no processo de presa resulta no aparecimento de fissuras que podem ser internas (invisíveis à vista desarmada), assim como a criação de bolsas de água e de vazios.

Este fenómeno irá conduzir à fissuração, destacamento e degradação do betão da zona envolvente.

A corrosão das armaduras devido à criação das bolsas de água acarreta igualmente alguns perigos.

2.3.2.3 Vibrações

As vibrações ocorridas durante a presa do betão são responsáveis por grande parte da fissuração dos elementos de betão durante este processo. As vibrações ocorridas durante a presa do betão podem resultar de diversas situações, tais como:

- Circulação de veículos;
- Cravação de estacas;
- Tiros de minas;
- Compactação por vibração tardia;
- Vibração acidental provocada por choques das ferramentas ou por negligência na execução dos trabalhos.

2.3.2.4 Segregação do betão fresco

No processo de presa ocorre uma sedimentação das partículas mais pesadas e que o betão endurece em primeiro lugar na superfície, caso surja algum obstáculo que altere a uniformidade desta sedimentação, conduzirá à ocorrência de fissuração.

Um exemplo deste obstáculo pode ser a armadura, pois caso esta se encontre colocada segundo uma malha muito apertada, as fissuras podem produzir-se não à superfície mas num plano inferior ao da malha. A ocorrência de fissuração segundo este plano irá degenerar em danos fruto da passagem da água do estado líquido ao estado sólido, afetando igualmente as armaduras fruto do fenómeno de corrosão.

2.3.2.5 Retração de presa do betão

A existência de variações de volume no princípio de presa do betão irá resultar no aparecimento de pequenas fissuras à superfície com um aspeto idêntico ao das escamas do crocodilo. No processo de endurecimento do betão existem reações químicas associadas e que se prolongam durante muito tempo, muitas vezes anos. A manifestação deste

fenómeno decorre de uma diminuição de volume designada por retração de endurecimento, ou simplesmente retração.

Na impossibilidade de a obra não se deformar livremente, poderão surgir tensões capazes de fissurar a massa de betão. A solução mais adequada de forma a controlar este fenómeno deverá passar pela colocação de armaduras capazes de absorver estas tensões.

2.3.2.6 Descofragem prematura

Tendo em conta os pressupostos da construção ao nível de prazo, duração e custo, é possível de notar que por diversas vezes são responsáveis pela execução de retiradas de cofragens e escoramentos prematuras sem que o betão tenha adquirido uma resistência suficiente. Tais factos irão provavelmente conduzir ao aparecimento de fissuras no betão, que em determinados casos se apresentam como situações graves.

É de ressaltar também que a remoção da cofragem implica a perda de algum isolamento térmico, ou seja, poderão produzir-se fissuras tendo em conta que a resistência do betão ainda não é suficiente (a origem das fissuras ocorre caso a diferença de temperatura entre o interior do betão e a superfície excede 20°C). [5]

2.3.3 Fase de serviço e utilização

Entende-se como fase de utilização ou serviço como o momento em que as estruturas se encontram terminadas e solicitadas pelas diversas ações. No entanto, existem múltiplos fatores internos e externos durante esta fase, que poderão contribuir para a sua degradação, surgindo a necessidade de proceder à monitorização e análise dos mesmos.

2.3.3.1 Tensões de origem térmica

2.3.3.1.1 Variações da temperatura atmosférica

A ocorrência de variações de temperatura no interior do betão endurecido origina mudanças de forma e de volume. No entanto, e tendo em conta que tais variações são

impedidas pela estrutura da obra é de prever que resultem tensões passíveis de produzir a fissuração do betão.

2.3.3.1.2 Variação da temperatura interna

A ocorrência de variações de volume do betão podem resultar de variações de temperatura interna, podendo apresentar-se segundo duas formas. Numa o betão está sujeito a uma variação de volume devido ao desenvolvimento de calor de cura. A outra forma resulta das variações de volume por força da inexistência de uniformidade entre a temperatura interna e externa.

2.3.3.1.3 Ciclos de gelo e degelo

Na presença de ciclos de temperaturas que provoquem a congelação e descongelação da água. Quando a água congela, o seu volume aumenta provocando tensões, fissuras e desagregações. Em função da classe de exposição ambiental, consegue-se minimizar este fenómeno através da introdução de ar no betão. Estes fenómenos ocorrem principalmente nas superfícies horizontais que estão expostas à água, ou em superfícies verticais que estão nas linhas de água em elementos submersos. [5]

2.3.3.2 Absorção de água pelo betão

Todo o elemento de betão é mais ou menos poroso, no entanto tem-se verificado que entre as diversas partes de uma mesma obra, construída com os mesmos materiais, pelo mesmo construtor e com as mesmas normas, algumas estão gravemente deterioradas enquanto outras se encontram em bom estado. A ocorrência deste fenómeno por norma resulta da diferença de quantidade de água absorvida pelo betão conforme as condições de utilização e a sua porosidade. Quando o teor de água do betão aumenta ele aumenta de volume. Se o aumento de volume é impedido produzem-se fissuras e escamação.

2.3.3.3 Reações químicas

A ação dos ácidos orgânicos e/ou minerais, soluções salinas e bases estão na base das alterações químicas induzidas nas estruturas. A desagregação e a degradação do betão decorrem destas alterações, uma vez que fruto do contacto das soluções e a superfície do betão ocorre a formação de novos compostos químicos, que à posteriori são absorvidos pelo elemento estrutural em causa.

Estas alterações químicas podem manifestar-se das mais diversas formas, tais como:

- Carbonatação

A carbonatação do betão é uma reação que ocorre nos poros do betão endurecido através da penetração de CO_2 por difusão, caso a proveniência seja o ar, ou por outro lado poderá provir da dissolução das águas das chuvas. Trata-se de um fenómeno que inicialmente é rápido mas que à medida que a profundidade de carbonatação aumenta se torna gradualmente lento.

O hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), parcialmente solúvel em água, é fortemente alcalino e o pH da água contida nos poros do betão é suficientemente elevado para que se formem à volta das armaduras de aço, óxidos básicos que tornam o aço passivado contra a corrosão.

Porém, a transformação do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio (CaCO_3) é acompanhada por uma descida brusca do pH que passa de valores dos 12,5 a cerca de 9, o qual (embora ainda alcalino) já não é suficiente para proteger as armaduras e este iniciará um processo de corrosão desde que haja acesso de oxigénio da atmosfera juntamente com água. [6]

A carbonatação não tem importância numa peça de betão não armado (blocos, por exemplo), uma vez que pode contribuir para o aumento da sua dureza e resistências. No entanto no caso do betão armado, quando a profundidade de carbonatação atinge a zona

das armaduras, estas ficam em risco imediato de corrosão que, por se dar com aumento de volume, inicia a destruição da peça.

- Ataque pela água doce e meios ácidos

Os efeitos da água doce têm origem na decomposição dos compostos de cimento por dissolução do hidróxido de cálcio, assim como dos compostos de alumina. A contínua dissolução pode originar um resíduo amorfo de sílica hidratada, óxido de ferro e alumina. Esta forma de ataque é geralmente lenta, a não ser que a água possa passar continuamente através da massa de betão [6].

Por outro lado, a ação da água pura devido ao seu PH mais ácido e à presença de poluentes industriais, de dióxido de carbono ou ácidos orgânicos ou inorgânicos, faz com que esta se torne mais agressiva. As águas ácidas podem contribuir para a eliminação dos produtos hidratados por lixiviação devido à acidez da água, para a formação de compostos expansivos do betão devido à reação dos iões sulfatos com os compostos do cimento, assim como para a despassivação das armaduras e início da sua corrosão devido à infiltração dos iões cloreto e da carbonatação do cimento pelo dióxido de carbono dissolvido.

- Ação dos cloretos

Esta ação é responsável pela sua degradação rápida, destruindo a película de passivação das armaduras, podendo dar origem a fenómenos de corrosão das armaduras, sempre que a presença de cloretos no betão seja elevada.

Os cloretos que são encontrados no betão advêm normalmente da água do mar, de alguns aceleradores de presa ou ambientes que contenham cloro como por exemplo piscinas.

- Ataque pela água do mar

O meio marítimo é muito agressivo para o betão, mesmo quando a estrutura não está submetida à ação das ondas. Neste tipo de ambientes ocorrem reações químicas entre a

pastas do cimento e os sulfatos, os cloretos e os sais de magnésio que por sua vez provocam uma diminuição de resistência do betão e da proteção das armaduras contra a corrosão.

- Reações expansivas internas
 - Reação álcalis-sílica

A reação álcalis-sílica é uma reação química interna do betão que se dá entre os álcalis do cimento ou dos agregados e a sílica de certos agregados reativos. A degradação do betão provocada por esta reação deve-se à influência em simultâneo de diferentes fatores, tais como, a presença de sílica reativa nos agregados, a um teor elevado de álcalis na solução intersticial do betão e à existência de um ambiente húmido. As zonas mais sensíveis das estruturas são as zonas em contacto com a água, expostas às intempéries ou com deficiente drenagem ou não estanques. [6]

Esta reação pode originar expansões internas do betão e fendilhação, podendo levar à destruição completa da estrutura. Além do mais, a expansão provocada pelo gel resultante da reação álcalis-sílica dificilmente pode ser interrompida. As estruturas que são afetadas por este tipo de reação interna exibem sinais evidentes de degradação, apresentando uma espécie de mapa de fendilhações à superfície.

Para não se confundir a fissuração causada pela reação álcalis-sílica com as originadas pela retração ou pelos ciclos de gelo degelo, é absolutamente necessário efetuar um diagnóstico com recurso a estudos microscópicos.

- Reação sulfática interna

A reação sulfática é uma reação química interna do betão causada pela ação dos sulfatos provenientes do meio exterior ou dos agregados com presença de cal e os aluminatos da pasta de cimento. Como produto desta reação resulta a formação de taumasite e etringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) que provoca a expansão do betão. Esta variação de volume

expande, pressiona e rompe a matriz de cimento originando o aparecimento de fendas, a desintegração à superfície e por sua vez a degradação da massa de betão.

2.3.3.4 Ação do fogo

As patologias originadas pelos incêndios são raras, mas quando ocorrem, provocam alguns danos nos materiais estruturais e seus elementos. O betão quando submetido às elevadas temperaturas perde humidade sobre a forma de vapor de água, provocando rebentamentos de pequenas partes de betão e induzindo a ocorrência de micro-fissuração, descasques e escamação. As elevadas mudanças de volume nos elementos submetidos à fonte de calor, podem originar a ocorrência de fenómenos de distorção, encurvamento e fendilhação.

2.4 Mecanismos de corrosão do aço

A corrosão do aço é um dos principais problemas das estruturas de betão armado, uma vez que as armaduras estão protegidas pela alcalinidade do cimento (PH de 12 a 13) encontrando-se num meio básico. Quando ocorre uma descida do PH para valores inferiores a 9, conciliada com uma atmosfera húmida contaminada por gases ácidos e fuligem, o meio torna-se favorável para a ocorrência da corrosão (Figura 2). No entanto, é de salientar que quando o PH é muito elevado, pode ocorrer corrosão básica.

A despassivação do aço consiste num processo eletroquímico, onde as reações corrosivas ocorrem na presença de água ou ambientes húmidos (Humidade Relativa > 60%).

A perda da película passivadora do aço está geralmente associada a dois fatores, a carbonatação e a penetração de cloretos do ambiente.

Nas estruturas de betão armado, a corrosão aparece sob a forma de picaduras na superfície das armaduras. Como a transformação do aço metálico em produtos de corrosão é em geral acompanhada por um aumento de volume, a expansão da corrosão, é responsável

pelo destacamento do betão de recobrimento e pelo aparecimento de fissuras, acelerando deste modo o fenómeno de degradação.

A classificação dos tipos de corrosão de armaduras é efetuada de acordo com a extensão da área atacada, sendo que os mais habituais são do tipo generalizada ou localizada, e por picaduras ou por fissuras.

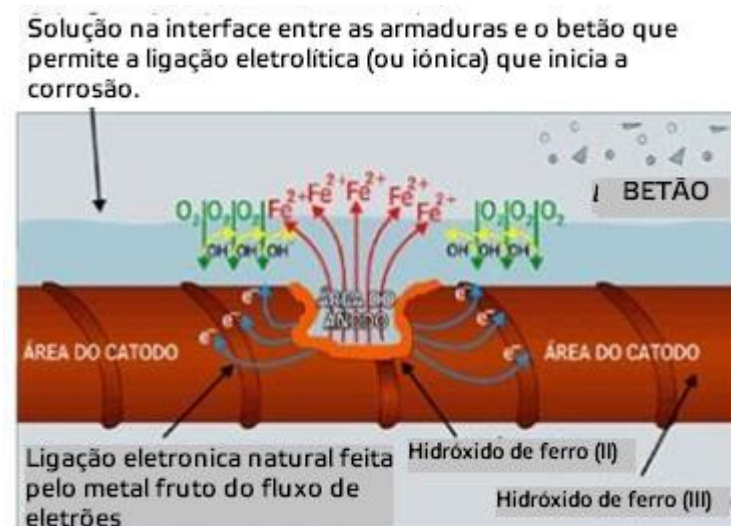


Figura 2 - Mecanismos de corrosão do aço (adaptada de www.engegraut.com.br).

Em estruturas de betão armado, a corrosão localizada sobre tensão é rara, sendo mais frequente em estruturas de betão pré-esforçado. Este tipo de corrosão origina o aparecimento de fissuras nas armaduras, que ao se desenvolverem, podem originar uma rotura frágil das armaduras, sem se observar perda de secção.

Para se evitar a corrosão das armaduras é fundamental que as estruturas apresentem um bom recobrimento, de forma a protegerem os aços dos mecanismos de degradação.

3 Avaliação do estado de degradação de estruturas de betão armado

3.1 Introdução

A necessidade de reparar uma estrutura resulta normalmente de uma inspeção periódica realizada à estrutura onde se identificam potenciais problemas, ou pela vontade expressa de um dono de obra em reabilitar uma construção visivelmente degradada.

Seja qual for a motivação, qualquer projeto de reparação terá de ser precedido de uma avaliação rigorosa da estrutura existente, seguindo uma metodologia que aparece sistematizada na Norma EN 1504 (2006), a qual define os princípios de proteção e reparação de estruturas de betão armado danificadas.

Segundo a norma, uma correta avaliação de uma estrutura existente deverá contemplar os seguintes aspetos [7]:

- a) Levantamento das condições atuais da estrutura, incluindo registo, visualização e análise de defeitos visíveis ou potenciais, caracterização de propriedades físicas e químicas dos materiais envolvidos, etc.;
- b) Recolha de todas as peças escritas e desenhadas do projeto original e as telas finais (caso existam), a fim de identificar o sistema estrutural, materiais utilizados, ações consideradas no dimensionamento, etc;
- c) História da estrutura: Identificação de eventuais alterações ao uso da estrutura no decorrer da sua vida útil, assim como registo de anteriores obras de reforço/reparação, etc...
- d) Caracterização das condições de exposição ambiental atuais;
- e) Caracterização das condições atuais de utilização;

O levantamento das condições atuais da estrutura inclui numa primeira fase a observação, registo, mapeamento das anomalias e análise dos defeitos e, numa fase mais avançada, a realização de uma campanha de ensaios não destrutivos e semi-destrutivos a fim de caracterizar da melhor forma possível os materiais envolvidos [8].

Este capítulo incide, essencialmente, na identificação e descrição sumária dos ensaios estruturais e de durabilidade "in situ" e em laboratório, de acordo com a classificação apresentada na Figura 3.

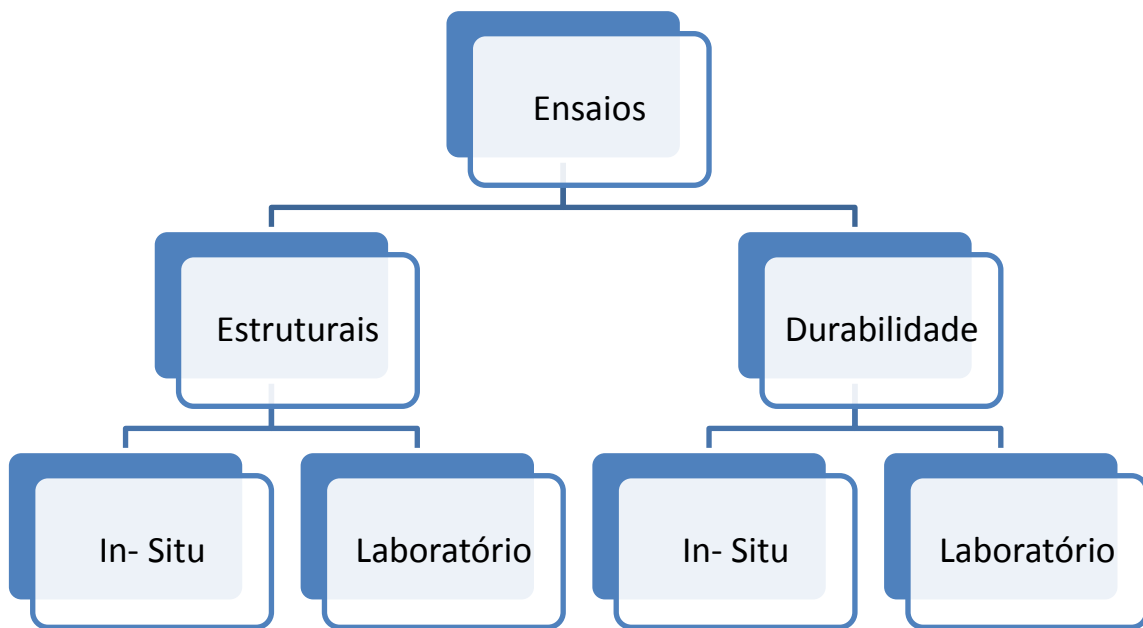


Figura 3 – Esquema dos ensaios estruturais e de durabilidade "in situ" e em laboratório.

3.2 Ensaios Estruturais "*In Situ*"

Os ensaios estruturais "*in situ*" têm por base a necessidade de determinação das características estruturais dos materiais envolvidos, bem como a análise do comportamento da estrutura em condições de serviço.

Os ensaios estruturais "*in situ*" mais correntes para avaliação do estado de degradação das estruturas são os seguintes:

- Carotagem do Betão
- Ensaio Esclerométrico
- Ensaio de Aderência por Tração (Pull Off Test)
- Ensaios de Ultra Sons
- Ensaio de Detecção de Armaduras

Descrevem-se os ensaios, os seus princípios e normas para a sua execução. Os textos que se apresentam resultam da pesquisa de diversos documentos sobre investigações precedentes, dissertações e guias sobre os ensaios não-destrutivos no betão e outros assuntos com eles relacionados. [7], [8] e [9]

3.2.1 Carotagem de betão

Para que seja possível efetuar a determinação das características de resistência de betões já existentes em obra, é necessário proceder á recolha de amostras destes mesmos elementos, de forma a efetuar ensaios de rotura à compressão. Geralmente, este procedimento está associado à extração de carotes através de um equipamento apropriado e devidos cuidados. A realização deste ensaio implica a manutenção da integridade e segurança da estrutura. [9]

O equipamento é composto por uma caroteadora e respetivos acessórios (Figura 4), máquina de corte de betão, máquina de retificação dos topos e prensa de ensaio.



Figura 4 – Demonstração da extração de carote para análise (www.leircortabetao.pt).

A metodologia deste ensaio implica que a recolha de carotes seja feita de forma a não danificar as armaduras existentes por norma na zona interior do elemento. De forma, a minimizar o risco de danificação das estruturas, é usado, em regra, um detetor de armaduras que permite definir um espaço entre varões onde seja possível extrair o respectivo carote.

Após a recolha de todas as amostras necessárias, procede-se à sua identificação e localização com referências num desenho esquemático a efetuar.

A realização deste ensaio pressupõe que a avaliação e o diagnóstico do elemento extraído sejam complementados com um ensaio em laboratório. Em laboratório efetua-se o corte e a retificação dos topos dos provetes para que a sua altura e diâmetro sejam iguais, ou seja, cerca de 100mm. Os provetes obtidos podem ser submetidos a ensaios de rotura à compressão simples realizados em laboratório segundo as especificações da norma E 226 do LNEC. No entanto, podem ser igualmente submetidos a ensaios de primeira avaliação ao nível da porosidade ou permeabilidade.

3.2.2 Ensaio esclerométrico

A realização deste ensaio “*in situ*” pressupõe a utilização de um esclerómetro, aparelho que permite a obtenção da resistência à compressão de elementos de betão de uma forma simples e não destrutiva. Tendo em conta que se trata de um ensaio de resistência

superficial, os valores obtidos representam apenas uma camada até 5 cm de profundidade da peça de betão.

A avaliação da homogeneidade do betão, a existência de um nível mínimo de resistência e a necessidade de realização de ensaios mais completos, são alguns dos dados possíveis de obter na realização deste tipo de ensaio. Outro parâmetro passível de ser obtido, é a tensão de rotura à compressão que resulta de uma estimativa com base na correlação com o índice esclerométrico, para provetes cúbicos e/ou cilíndricos.

No entanto, é necessário lembrar que a realização do Ensaio Esclerométrico (Figura 5) não substitui a realização de um ensaio em laboratório com provetes cilíndricos para determinação da tensão de rotura à compressão. [9]

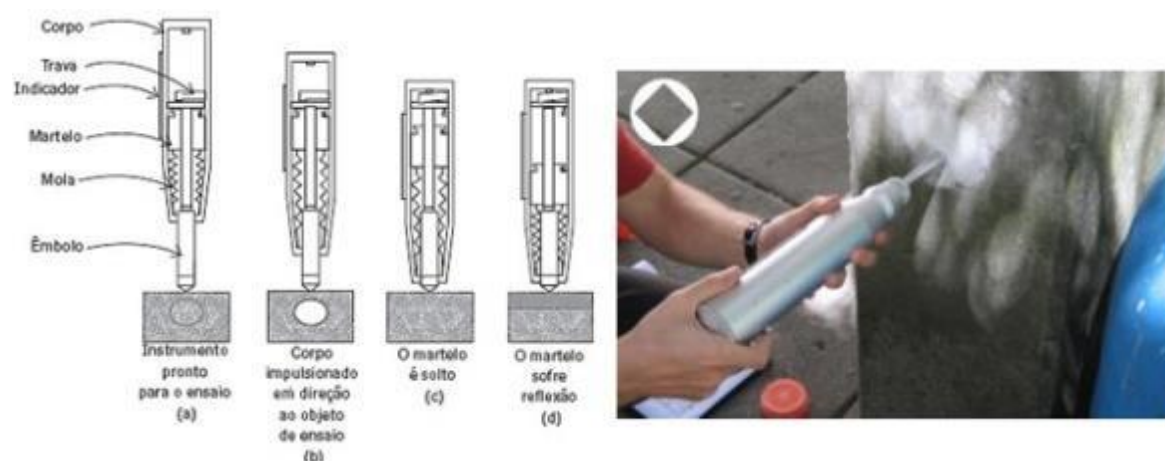


Figura 5 – Equipamento e esquema de funcionamento do ensaio esclerométrico (*adaptada de www.ncrep.pt*).

O equipamento associado e necessário para realização deste ensaio é esclerómetro de Schmidt.

A metodologia de utilização do equipamento acima descrito consiste nos seguintes passos:

- Pressionar o veio de compressão do esclerómetro contra a superfície de betão a ensaiar, de forma a comprimir a mola existente no interior do aparelho;

- No momento em que o veio atinge o seu máximo (fim de curso), ocorre a sua libertação instantânea que choca com a sua extremidade interior sendo este mesmo choque transmitido à superfície a ensaiar;
- Após a transmissão do choque à superfície a ensaiar, esta reage originando um ressalto;
- O ressalto é transmitido à massa móvel pelo veio, que ao deslocar-se, origina movimento num ponteiro visível no exterior do invólucro, registando o ponto máximo de ressalto da massa.

Tendo em conta o aparelho acima descrito, assim como a sua metodologia, é possível concluir que quanto maior o valor de ressalto registado, maior o valor de dureza e compactação da superfície de betão.

O valor de referência obtido através da escala do aparelho (índice Esclerométrico) permite efetuar a avaliação do valor de resistência à compressão do betão, em função do ângulo entre superfície ensaiada e o eixo longitudinal do esclerómetro.

3.2.3 Ensaio de aderência por tração - Pull Off Test

Um das principais razões para garantia de sucesso na execução de trabalhos de reparação ou reforço de estruturas, consiste na correta aderência dos materiais aplicados com os já existentes.

Esta exigência prevalece igualmente, no caso de pavimentos elevados e térreos, onde a ligação entre as diversas camadas dos diversos materiais aplicados deve estar garantida, de forma a conduzir a uma longevidade do elemento em boas condições de utilização. Para aferir as especificações exigidas é normal recorrer-se a ensaios de aderência.

O ensaio de aderência por tração direta pull-off (Figura 6) consiste na aplicação suave de uma força de tração, exercida de forma manual no volante de tensão de um aparelho concebido para esse fim. [9]

A tração é transmitida axialmente a uma peça metálica de ensaio colada previamente ao provete. O aumento gradual da força pode ser observado diretamente numa escala, sendo registado o momento em que ocorre o arrancamento do provete na secção mais frágil deste.

Através da análise do provete, caso se verifique que a secção pertence a um dos materiais é possível concluir que se tratou de um arrancamento por tração. No caso de a secção ficar contida na superfície de ligação entre os materiais denomina-se de arrancamento por aderência entre os materiais.

Os equipamentos necessários à realização deste ensaio são:

- Caroteadora portátil;
- Coroa diamantada;
- Caixa diferencial;
- Aparelho mecânico de aderência;
- Peças metálicas;
- Cola de resina epoxy;
- Extensão monofásica
- Mangueira para água.

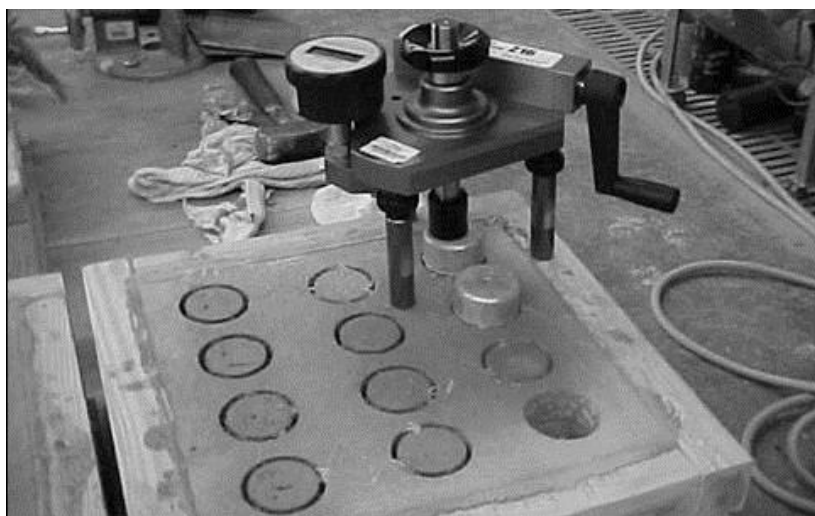


Figura 6 – Ensaio de aderência por tração – Pull Off Test (www.oz-diagnosticos.com).

A metodologia de realização do ensaio na sua preparação consiste na realização de um entalhe circular (\varnothing 40 mm) com recurso a uma caroteadora em que se garanta a perpendicularidade à superfície do material, assim como a profundidade suficiente para perfurar os diversos planos de ligação dos materiais e atingir o substrato de betão.

Estando a superfície isenta de água e humidade, procede-se à sua regularização com uma lixa grossa, removendo-se a poeira existente com recurso a acetona. De seguida, procede-se à colagem da peça metálica de ensaio com cola epoxídica ao provete. Logo que se verifique a cura completa da ligação, procede-se à colocação do aparelho, para que a garra “abrace” a peça metálica, colocando à posterior o manómetro de medição no zero para iniciação do ensaio atrás descrito.

3.2.4 Ensaio de ultra sons

O ensaio de ultra sons em elementos de betão (Figura 8) permite a determinação da velocidade de propagação dum impulso ultrassónico, entre dois pontos de medida para que se obtenha a seguinte informação:

- Características mecânicas;
- Homogeneidade;
- Presença de fissuras e de defeitos.

O impulso ultrassónico é gerado num ponto do elemento em estudo com recurso a um transdutor emissor (Tx) com base num sinal elétrico. Após atravessar o betão, o sinal ultra sónico é captado por um transdutor recetor (Rx) existente em outro ponto do elemento, fazendo a conversão da informação recebida para sinal elétrico. A velocidade de propagação é calculada com recurso a uma medição eletrónica numa unidade de medida central, do tempo despendido no percurso entre a transmissão e a receção.

A correlação existente entre a velocidade de propagação do impulso ultrassónico no betão (V) e o seu módulo de elasticidade (E) permite ter uma ideia da classe a que pertence o betão ensaiado, de acordo com Quadro 3.1, do Eurocódigo 2 (Figura 7).

Classes de resistência do betão														Expressão analítica /Comentários	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,0.95}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{cm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2)}$ $\leq C50/60$ $f_{cm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ck,0.05} = 0,7 \cdot f_{cm}$ quantilho de 5 %
$f_{ck,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ck,0.95} = 1,3 \cdot f_{cm}$ quantilho de 95 %
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)^{0,8}$ (f_{cm} em MPa)
ϵ_{t1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	ver Figura 3.2 $\epsilon_{t1}^{(0/100)} = 0,7 \cdot f_{cm}^{0,16} \leq 2,8$
ϵ_{t2} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	ver Figura 3.2 para $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{t2}^{(0/100)} = 2,8 + 27[(90 - f_{cm}/100)^2 \cdot f_{cm}/100]^2$
ϵ_{t3} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	ver Figura 3.3 para $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{t3}^{(0/100)} = 2,0 + 0,055(f_{ck} - 50)^{0,5}$
ϵ_{t4} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	ver Figura 3.3 para $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{t4}^{(0/100)} = 2,6 + 35[(90 - f_{cm}/100)^2]$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	para $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{cm}/100)^2]$
ϵ_{t5} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	ver Figura 3.4 para $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{t5}^{(0/100)} = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
ϵ_{t6} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	ver Figura 3.4 para $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{t6}^{(0/100)} = 2,6 + 35[(90 - f_{cm}/100)^2]$

Quadro 3.1 – Características de resistência e de deformação do betão

Figura 7 - Quadro 3.1, do Eurocódigo 2 “ Características de resistência e de deformação do betão”.

Associado a este ensaio encontram-se um equipamento denominado de unidade central, constituída por um gerador de impulsos elétricos, circuito de leitura e dois transdutores. Para a calibração do equipamento acima descrito, neste ensaio é utilizado um invar, ou barra padrão.



Figura 8 – Equipamento de ultra sons (www.epc.com.hk).

A realização deste tipo de ensaios pressupõe a possibilidade de utilização de três diferentes métodos (Figura 9):

- Direto;
- Semidirecto;
- Indireto.

A avaliação das características de resistência mecânica e de homogeneidade e deteção de descontinuidades no betão são obtidos através do método direto e semidirecto. A aplicação do método indireto ocorre apenas quando não existe possibilidade de colocar os transdutores de acordo com método direto. [9]

O método indireto permite a determinação da profundidade de fissuras.

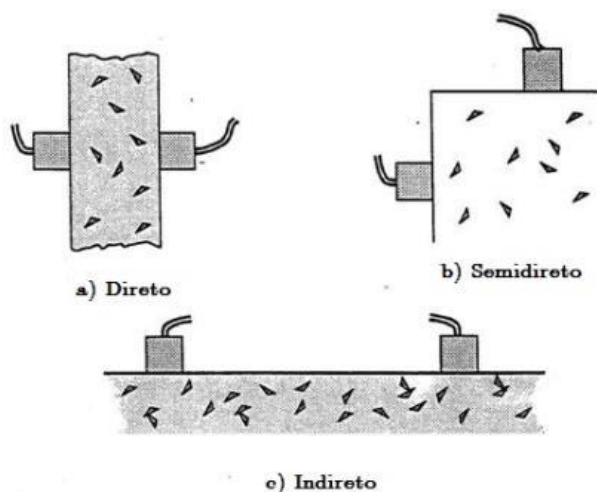


Figura 9 – Ilustração dos métodos existentes para execução do ensaio de ultra sons (*adaptada de www.theconstructor.org*).

A realização deste tipo de ensaios deve ocorrer em superfícies lisas, sendo aconselhável a utilização de uma massa de contacto entre a superfície e os transdutores para que sejam melhoradas as condições acústicas de transmissão. O balizamento da qualidade do betão é efetuado com base no Quadro 1.

Velocidade de Propagação dos Ultrassons (m/s)	Qualidade do Betão
>4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular
2000 a 3000	Medíocre
<2000	Mau

Quadro 1 - Balizamento da qualidade do betão através da velocidade de propagação do ultra sons.

3.2.5 Ensaio de deteção de armaduras

A análise e o estudo das armaduras em estruturas de betão armado e pré-esforçado são efetuados com recurso a medidores de recobrimento (Figura 10), que permitem a deteção das armaduras, assim como obter a sua direção, as suas dimensões e o seu recobrimento. A deteção de cabos de pré-esforço também pode ser efetuada com este mesmo equipamento, no entanto, existem maiores limitações quer ao nível das próprias características destes elementos resistentes, assim como com as capacidades do equipamento.

O medidor de recobrimento trata-se de um aparelho de pequenas dimensões, portátil e alimentado por pilhas, sendo constituído por uma unidade de leitura, dois detetores e dois espaçadores. [9]

Os parâmetros de medição deste tipo de equipamento varia em função do varão e do tamanho do detetor, sendo que existe a possibilidade de efetuar medições com FerroScan

PS 200 até 180 mm de profundidade (com varão nervurado de 36 mm), com uma precisão de ± 3 mm.

Na medição do recobrimento e após calibragem do aparelho, seleciona-se a dimensão e o tipo de aço dos varões cujo recobrimento pretendemos controlar com base no projeto. Numa primeira fase, recomenda-se a detetar a armadura num local favorável, de modo a identificar o tipo de armadura servindo de acerto à calibração do aparelho.

O microprocessador do aparelho permite a determinação automática do diâmetro dos varões, com base em duas leituras efetuadas num mesmo local através de um espaçador apropriado. Para que se obtenham resultados precisos é necessário alguns cuidados especiais, pelo que quando o conhecimento do diâmetro do varão se trata de um dado importante, nomeadamente para cálculos estruturais torna-se indispensável efetuar a exposição do varão, de modo a efetuar-se a confirmação.



Figura 10 – Ensaio de deteção de armaduras (www.pdig.pt).

3.3 Ensaios de Durabilidade “*In Situ*”

A base dos ensaios de durabilidade “*in situ*” é a determinação das características que influenciam a durabilidade de uma estrutura, nomeadamente a permeabilidade, a carbonatação, a corrosão, o teor em cloretos entre outros.

Os ensaios de durabilidade “*in situ*” mais correntes para avaliação do estado de degradação das estruturas são os seguintes:

- Determinação da profundidade de carbonatação;
- Determinação do teor de cloretos do betão;
- Determinação da permeabilidade do betão ao ar e à água;
- Detecção da corrosão das armaduras;
- Medição da resistividade do betão;
- Detecção de delaminação superficial do betão;
- Monitorização da abertura de fendas e fissuras;
- Levantamentos termográficos;
- Observação baroscópica de fendas e cavidades.

3.3.1 Ensaio de determinação da profundidade de carbonatação

Como referido no capítulo 2 relativo às causas de degradação do betão armado é sabido que um dos mecanismos mais correntes de degradação do betão armado é a carbonatação.

Analisando um betão homogéneo, é possível concluir que a carbonatação apresenta uma progressão paralela à superfície. Caso se verifique o atravessamento da carbonatação pela zona de recobrimento das armaduras, ocorre a perda de alcalinidade por parte destas (despassivação), dando-se início à carbonatação, fator determinante na redução da durabilidade da estrutura de betão armado.

De modo a analisar este fenómeno numa situação “*in situ*”, recorre-se a um indicador de fenolftaleína, de modo a obter a profundidade de carbonatação de superfícies recém-expostas. Posto isto, e com conhecimento do posicionamento da frente de carbonatação, torna-se possível efetuar a avaliação de durabilidade da estrutura, assim como estimar a extensão das áreas a reparar. [9]

Na realização deste ensaio são utilizados, normalmente, o berbequim de percussão, martelo, escopro, aspersor, régua graduada (mm) e uma solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%.

Durante a sua execução devem ser adotados pontos de medição criteriosamente selecionados, para que se torne possível efetuar uma comparação. O rigor pretendido e tipo de controlo adotado são fatores que influenciam a seleção dos pontos atrás mencionados. O número de medições aumenta em função do nível de exposição a agentes ambientais por parte das superfícies.

Tendo a necessidade de salvaguardar a integridade das armaduras, é necessário efetuar a deteção das mesmas, de modo a definir os pontos exatos de medição (identificados e localizados em planta).

A profundidade dos orifícios ou cavidades deverá ser superior em, pelo menos, 1 cm, ao recobrimento obtido com o detetor de armaduras. Torna-se impreterível a correta limpeza dos furos para garantia de isenção de resíduos, gorduras e/ou poeiras que poderão conduzir a uma adulteração de resultados.

A aplicação da solução alcoólica de fenolftaleína (Figura 11) é efetuada com recurso a um aspersor para humedecimento das zonas interiores das cavidades e conseqüente coloração das mesmas. A coloração manifestar-se-á com a tonalidade incolor nas zonas não carbonatadas e com a tonalidade rosada nas zonas carbonatadas. Tal diferença de tonalidade resultará na possibilidade de deteção da zona de transição da frente de carbonatação obtendo-se a profundidade carbonatada. (Figura 11) [9]



Figura 11 - Determinação da profundidade de carbonatação (www.oz-diagnosticos.com).

3.3.2 Ensaio de determinação do teor de cloretos do betão

A presença de cloretos no betão armado provoca a formação das denominadas pilhas eletroquímicas. Na maioria dos casos, a existência de uma corrosão localizada resulta da presença de cloretos acima de um certo valor crítico, assim como a presença de iões como SO_4^{2-} e S^{2-} , provenientes das matérias-primas de betão ou do meio ambiente. Tal como os cloretos, são iões de raio iónico pequeno que podem formar compostos solúveis. Caso se verifiquem concentrações superiores a um dado valor crítico podem também despassivar as armaduras e provocar corrosão localizada.

O indicador obtido a partir do ensaio é o teor solúvel em ácido de cloretos presentes no elemento de betão. De forma a obter este indicador, é necessário recolher pó do betão (Figura 12) em análise para posterior dissolução numa solução ácida normalizada, da qual resulta uma reação eletroquímica dos iões cloretos com o ácido.

Com recurso a um eléctrodo provido de um sensor de temperatura, devidamente calibrado, procede-se à sua introdução na solução, de forma a aferir o grau da reação química. Caso o aparelho, atrás mencionado, esteja concebido para o estudo em questão, procede à conversão da tensão gerada na concentração para percentagem em iões cloreto, corrigindo igualmente a temperatura. O valor em percentagem resulta da leitura efetuada num amostrador de cristais líquidos e permite a elaboração de perfis de concentração, a partir dos quais é possível avaliar os riscos envolvidos para as armaduras. [9]



Figura 12 - Determinação do teor de cloretos do betão (*www.oz-diagnósticos.com*).

A realização deste tipo de ensaio implica os seguintes equipamentos:

- Eléctrodo com sensor de temperatura instalado no exterior;
- Aparelho electrónico de leitura, para conversão directa em percentagens de cloretos, com circuitos compensadores da temperatura e microprocessador;
- Dois recipientes com soluções ácidas com coloração diferente de modo a permitir a calibração do eléctrodo;
- Balança para pesagem das amostras retiradas do elemento em estudo;
- Recipiente com solução ácida para mistura de cada amostra;
- Garrafa com agente de molhagem do eléctrodo;
- Concha para recolha do pó e soprador para amostragem;
- Chave de fendas e de bocas, alicate de fixação, buchas e brocas.

A realização da determinação do teor de cloretos num elemento em betão implica a localização prévia das armaduras existentes no elemento como tarefa primária.

De seguida, e com recurso ao alicate de fixação procede-se ao posicionamento da concha de recolha de pó através de uma bucha de fixação.

Inicia-se a perfuração do elemento em três locais, de modo a ensaiar a profundidade na qual se pretende estudar e analisar o teor de cloretos. Dever-se-á utilizar um saco plástico, hermeticamente fechado, para recolha de cerca de 20g de pó, ou seja, cerca de 6 mm de comprimento furado em cada furo. [9]

Caso se pretenda efetuar um perfil do teor de cloretos, é necessário proceder à recolha de amostras a três níveis, ou seja, perto da superfície, junto das armaduras e 2 a 3 cm abaixo das armaduras.

De acordo com a Norma NP EN 206-1:2007 – DNA 5.2.7 – «Teor de Cloretos», as classes de teor de cloretos do betão aplicáveis em Portugal são definidas no Quadro 2 que se segue, em função da classe de exposição ambiental, definidas no EC2:

Utilização do betão	Classes de exposição ambiental	
Betão sem armaduras de aço ou outros metais embebidos, com exceção de dispositivos de elevação resistentes à corrosão.	XC, XF, XA	XS, XD
	Cl 1,0	Cl 1,0
Betão com armaduras de aço ou outros metais embebidos.	Cl 0,4 (*)	Cl 0,2 (*)
Betão com armaduras pré-esforçadas.	Cl 0,2 (*)	Cl 0,1 (*)
(*) Estas classes podem deixar de se aplicar se forem tomadas medidas especiais de proteção contra a corrosão, como proteção do betão ou recobrimentos, devidamente justificados, ou utilização de aço inoxidável.		

Quadro 2 - Classes de teor de cloretos do betão aplicáveis em Portugal.

3.3.3 Ensaio de determinação da permeabilidade do betão ao ar e à água

As alterações no interior do betão, assim como a corrosão das armaduras podem resultar da penetração do ar e água. A medição da maior ou menor facilidade de penetração do ar e água através de uma espessura de betão exprime uma compacidade e durabilidade melhor do que a habitual avaliação da resistência.

Existem diversos métodos que nos permitem avaliar a permeabilidade do ar e da água no betão, tais como:

- Método do anel de ensaio (permeabilidade à água sob pressão);
- Método da Autoclam (permeabilidade ao ar e absorção da água);

- Método da agulha (utiliza oxigénio como fluido);
- Método de Parrot (permeabilidade ao ar);
- Método de Figg (permeabilidade ao ar e à água).

Relativamente aos ensaios atrás enunciados, a descrição sumária apresentada irá incidir sobre o Método de Figg, ou seja, os procedimentos associados a este ensaio para determinação da permeabilidade ao ar e à água.

O ensaio de permeabilidade aparente ao ar trata-se da avaliação do tempo necessário para que o ar penetre numa cavidade, previamente efetuada no betão, através de uma redução de pressão de - 55 kPa para - 50 kPa. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão ao ar. [9]

A realização do ensaio de permeabilidade aparente à água consiste no preenchimento da cavidade com água, registando-se o tempo total necessário para que ocorra a penetração de 0,1 ml de água no betão. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão à água.

Para realização dos ensaios acima descritos, o equipamento necessário e ilustrado na Figura 13 consiste numa unidade central com comandos, dispositivo de leitura e pontos de ligação de vários tubos de circulação do ar e da água, uma agulha hipodérmica, por tubos flexíveis para ar e para água, por uma bomba de pressão com válvula de vácuo, por uma seringa e por um filtro de ar e tampões de borracha.



Figura 13 - Determinação da permeabilidade do betão ao ar e à água (www.directindustry.com).

A metodologia associada à realização dos ensaios acima descritos passa pela execução de furos com 40 mm de profundidade e 10 mm de diâmetro com recurso a um berbequim e no local selecionado para cada ensaio.

Procede-se à limpeza dos furos, de modo a isentar os mesmos de poeiras, detritos e gorduras, para posterior colocação de um tampão em borracha por furo e em que o rebordo encosta à superfície de betão. No centro do tampão existe um orifício que permite a instalação de uma agulha hipodérmica.

No caso do ensaio de permeabilidade aparente ao ar, o tubo de saída de ar é ligado de um lado do aparelho e do outro uma agulha hipodérmica. De seguida, aciona-se a bomba de forma lenta, de modo a reduzir a pressão para um valor inferior - 55 kPa. O tempo necessário para variação da pressão entre - 55 kPa e - 50 kPa é lido pelo aparelho, apresentando o valor em segundos.

Para o ensaio de permeabilidade aparente à água procede-se à introdução de um tubo fino de plástico com comprimento suficiente para atingir furo a ensaiar. Efetuada a ligação ao aparelho de leitura no local indicado, a água forçada pela seringa entra no furo através do tubo fino de plástico. O aparelho regista automaticamente a leitura do tempo decorrido até que o betão tenha absorvido 0,01 ml.

3.3.4 Ensaio de deteção da corrosão das armaduras

A avaliação da corrosão nas armaduras pode ser efetuada através da medição de potenciais de corrosão na superfície de betão (Figura 14), tendo por base um elétrico de referência. Através da realização deste tipo de ensaio é possível identificar zonas onde se manifesta ou se poderá manifestar a corrosão, antecipando os sinais visíveis.

Posto isto, torna-se possível definir as áreas do betão armado com necessidade de reparação ou proteção. Através do referido ensaio e com recurso à repetição do mesmo, torna-se possível efetuar a monitorização do comportamento de estruturas novas, de forma a minimizar os custos de manutenção. [9]

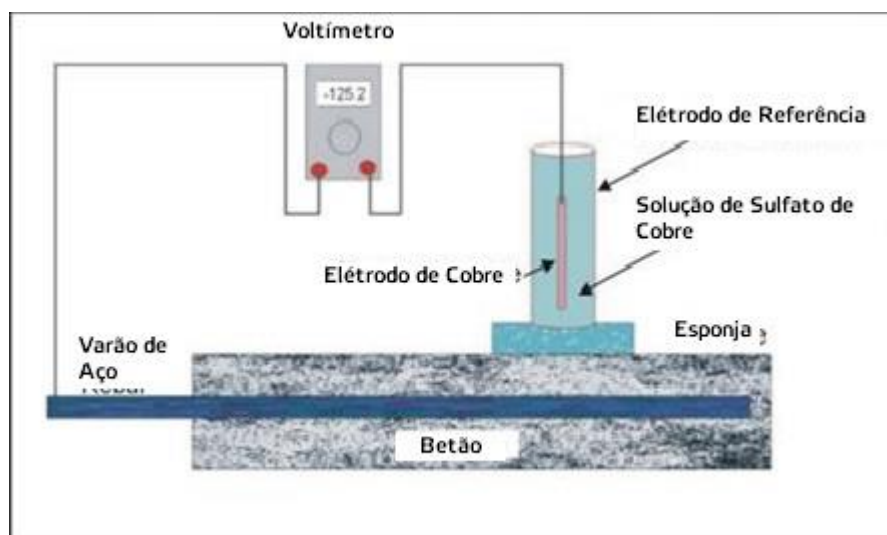


Figura 14 - Deteção da corrosão das armaduras (adaptado de www.cflhd.gov).

A realização do ensaio acima apresentado pressupõe o seguinte equipamento:

- Célula de medição Ag/AgCl (eléctrodo que contém a solução saturada Ag/AgCl, com uma esponja num dos topos, e a ficha para ligação ao voltímetro no outro, e com o qual se efetuarão as medições nas superfícies de betão);
- Medidor com ligação que permite leituras digitais em milivolts e kilohms (mV e kohms);
- Recipiente com líquido para reabastecer a célula de medição;
- Cabo de ligação;

- Brocas diamantadas de 10 e 18 mm de diâmetro;
- Martelo e escopro;
- Alicates de aperto à armadura (elétrodo secundário);
- Bico para contacto com armadura e chave Allen;
- 25 m de cabo de ligação;
- Extensão telescópica para fixação da célula de medição;

O equipamento implícito na realização do respectivo ensaio permite ainda:

- Calibração da célula de Ag/AgCl;
- Medição da temperatura em °C;
- Medição do pH.

No entanto, para além de todo o material acima descrito, no local de realização do ensaio é necessário existir um berbequim com percussão, balde, esponja, assim como um detetor de armaduras.

A metodologia a aplicar no ensaio encontra-se descrita na Norma ASTM C876-80, e de forma resumida consiste nos seguintes pontos:

- a) Seleção de uma área em função do estado aparente do betão e definem-se zonas de leitura da área a estudar, aumentando o número de leituras de acordo com estado de degradação aparente do betão.
- b) Limpeza com recurso a uma escova de aço, de um varão da armadura, previamente localizada com o detetor de armaduras.
- c) Fixa-se o elétrodo secundário, através do alicate de aperto ao varão da armadura, e liga-se o elétrodo ao voltímetro, através do cabo fornecido.
- d) Proceda-se à molhagem das superfícies em que vão efetuar-se leituras, de modo a humedecer em profundidade o betão a estudar.

- e) Coloca-se o eletrodo primário sucessivamente em cada ponto de leitura, medindo-se, no voltímetro do equipamento, o potencial elétrico. Durante a realização de todas as medições, o operador deve assegurar-se que a esponja do topo do eletrodo primário se encontra devidamente humedecida.

Utilizando o impresso próprio procede-se ao registo de todos os valores obtidos dos potenciais, procedendo-se à sua interpretação, tendo por base o Quadro 3:

Nível Potencial (mV)	Risco de Corrosão Ativa
- 260 a - 410	Até 95%
-110 a -260	Incerto
>-110	Até 5%

Quadro 3 - Nível de corrosão ativa em função do nível de potencial.

3.3.5 Ensaio de medição da resistividade do betão

A determinação da resistividade do betão permite estimar o índice de corrosão possível para as armaduras. Depende essencialmente da maior ou menor comunicação entre os poros do betão e da sua humidade relativa. A velocidade de corrosão depende da resistividade do betão e do acesso de oxigénio às armaduras. [9]

O ensaio é realizado em laboratório a partir de amostras extraídas e consiste em medir a resistência à passagem de corrente elétrica através do provete.

Os provetes ensaiados em laboratório são saturados, determinando-se desta forma a resistividade mínima, correspondente ao máximo índice de corrosão possível para o betão em causa.

A resistividade efetiva do betão, "*in situ*", dependerá do valor da humidade relativa do betão, que varia de zona para zona, e com a variação da humidade e temperatura ambiente, e será sempre superior ao valor determinado em laboratório.

A interpretação dos resultados pode ser feita de acordo com o Quadro 4.

Resistividade (kW/cm)	Nível de Corrosão
> 20 a 100	Baixo
< 5 a 10	Muito alto

Quadro 4 - Nível de corrosão em função da resistividade.

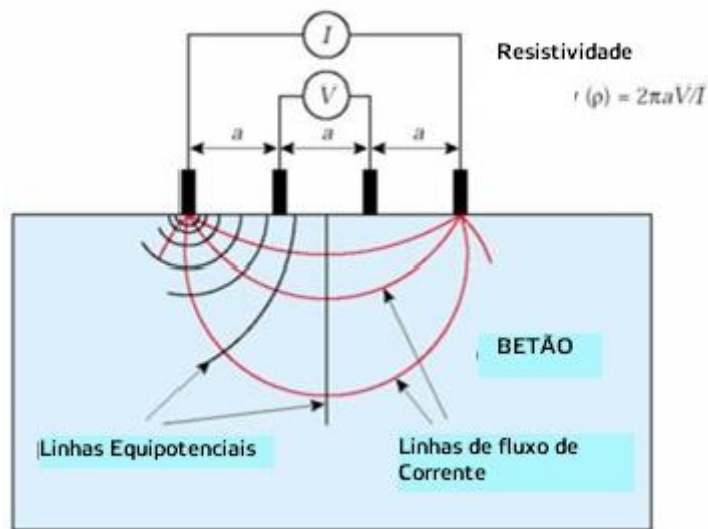


Figura 15 – Esquema da medição da resistividade segundo potenciais eléctricos (*adaptado de picasaweb.google.com*).

3.3.6 Ensaio de deteção de delaminação superficial do betão

O presente ensaio tem por objetivo a determinação e deteção de zonas delaminadas na superfície do betão, com recurso a percussão, arrastamento de correntes e passagem de um aparelho de rodas dentadas. [9]

Tendo por base diversas causas e fenómenos, a camada superficial de um elemento de betão com espessura de alguns centímetros, poderá ter tendência a destacar-se num plano paralelo à superfície. Na presença deste fenómeno, denomina-se delaminação superficial, fenómeno que indicia a presença de um processo de degradação da estrutura, nomeadamente o desenvolvimento de óxidos de ferro expansivos, associados ao processo de corrosão eletroquímica das armaduras. Na correção deste tipo de deficiência deve-se, em primeira circunstância, detetar as delaminações existentes, assim como referenciar as zonas por elas afetadas. Existem igualmente revestimentos que apresentam, por vezes,

delaminações fruto de deficiente execução, assim como incompatibilidade com o suporte. [9]

Tendo por base a diferente sonoridade emitida pelas zonas delaminadas, quando percutidas ou solicitadas acusticamente por processo idêntico, relativamente às zonas circundantes não afetadas, torna-se possível a deteção das zonas afetadas.

Para a realização deste ensaio, o equipamento é de simples utilização e pode consistir num simples martelo. Caso o ensaio seja aplicado a pavimentos de grandes extensões, utiliza-se um aparelho de rodado dentado (Figura 16), constituído por um pequeno par de rodas de aço, com um afastamento de cerca de 12 cm entre si, montadas num pequeno veio ligado a uma haste comprida para manuseamento.

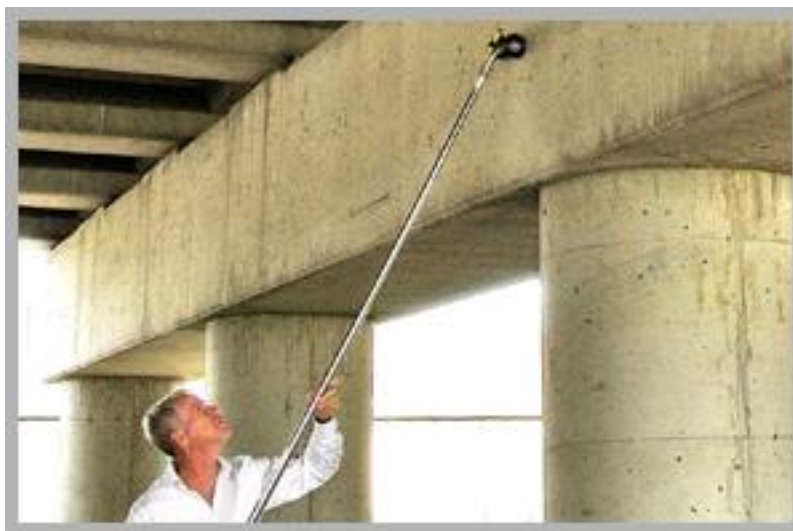


Figura 16 - Deteção de delaminação superficial do betão (*soundingtech.com*).

Relativamente ao registo e à análise de dados, dever-se-á proceder à identificação das zonas delaminadas, seguindo os processos atrás mencionados, efetuando a marcação nos desenhos da obra em estudo. [9]

A realização do ensaio pressupõe uma tarefa preliminar em que com recurso a um martelo leve se efetua uma percussão da superfície em estudo. Caso se recorra ao aparelho de rodas dentadas, dever-se-á percorrer toda a área do pavimento em estudo.

Independentemente do equipamento utilizado, todas as zonas que “soarem a oco” tratam-se de zonas delaminadas, devendo ser marcadas, de forma a serem facilmente identificadas.

Depois de efetuada a respectiva marcação, procede-se ao levantamento das zonas e registo nos desenhos das superfícies em estudo.

3.3.7 Monitorização da abertura de fendas e fissuras

3.3.7.1 Medição com fissurómetro simples

3.3.7.1.1 Medição de espessura de fissuras

A medição da abertura de fendas e fissuras, poderá ser efetuada com recurso a um medidor de fissuras ou medidor óptico. O medidor de fissuras trata-se de um retângulo plástico incolor, com diferentes marcações de espessuras para que através da comparação visual seja possível estimar a abertura da fissura. Já o medidor óptico consiste num conjunto óptico focável, em que o campo de visão é iluminado por uma lâmpada. Este equipamento possui uma exatidão de 0,02 mm através de uma lente graduada.

3.3.7.1.2 Medição de abertura de fissuras

A escolha do equipamento de medição será influenciada pelo nível de rigor pretendido na monitorização, assim como pela variação da abertura das fendas. [9]

Este tipo de ensaio requer alguns cuidados, assim como o cumprimento de alguns procedimentos que se descrevem:

- Marcação dos pontos de medição a realizar através de pequenos traços horizontais e verticais a lápis com uma dimensão de cerca de 20 cm;
- As marcações devem ser paralelas às direções principais da construção, caso se trate de um pavimento ou teto;
- As marcações devem ser numeradas, sendo efetuado um registo individual para cada uma das marcações;

- O fissurómetro deve ser fixo ao elemento estrutural para que as setas impressas nos extremos fiquem centradas para marcações anteriormente efetuadas e o centro reticulado coincidente com a fissura;
- O posicionamento do fissurómetro deverá ser efetuado segundo a direção normal mais próxima à fissura;
- O tipo de fixação assim como o material a utilizar na fixação varia consoante o tipo de suporte;
- Caso a cola seja a opção escolhida para a fixação, deverá ser o mais rígida possível e após o seu endurecimento deverá ser aplicada uma camada tão delgada quanto possível;
- Após a secagem e o endurecimento do material, procede-se à remoção cuidadosa dos autocolantes, de modo a ser possível efetuar as leituras.

Através do fissurómetro anteriormente colocado (Figura 17), é possível efetuar medição de duas componentes de deslocamento, direção longitudinal e transversal, e uma componente de rotação, ou seja, segundo um eixo perpendicular ao plano do instrumento. Este tipo de leitura é de registo simples, na respectiva folha de posição relativa aos traços de referência e do reticulado, funcionando como um registo fotográfico da abertura da fissura no momento da medição. [9]

Terminados os trabalhos acima mencionados, procede-se à monitorização da abertura de fendas e fissuras, marcando a primeira posição, e medindo o valor da abertura neste instante, através do comparador de fissura e/ou medidor óptico, efetuando-se o registo na respectiva folha. Estes aspetos são essenciais para analisar o estado das fendas no final da monitorização, com base em novas medições finais para comparação com os valores inicialmente obtidos.

Obtidos e registados os valores no tempo, será possível concluir a tendência do movimento para a estabilização, recuperação, agravamento ou variação cíclica. Existe ainda a possibilidade de estabelecer relações entre a causa-efeito com ações ou ocorrências a que a construção esteve sujeita ou a que foi submetida. A integração das leituras de diferentes fissurómetros permitirá interpretar os movimentos ao nível do comportamento dos elementos estruturais envolvidos, da deteção de movimentos de corpo rígido, assim como definir prováveis zonas de cedência da construção ou das suas fundações.

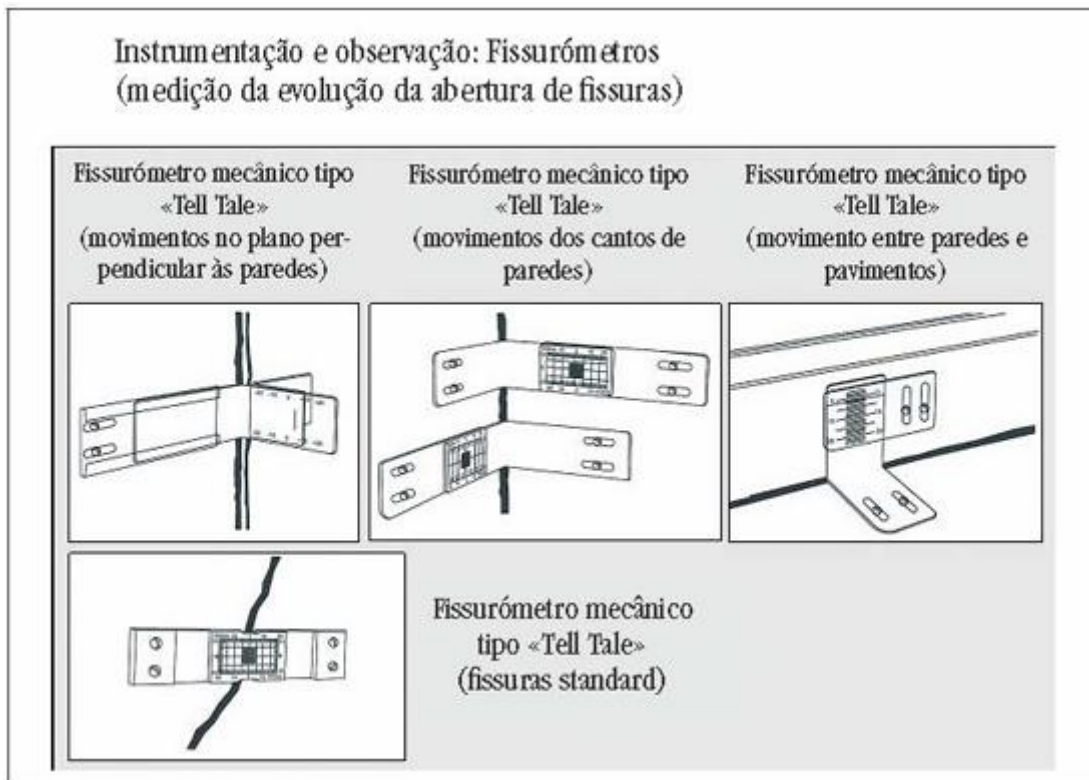


Figura 17 – Fissurómetro para medição da evolução de aberturas e fissuras
(*construironline.dashofer.pt*).

3.3.7.2 Medição com a alongâmetro de deslocamentos em juntas e fissuras



Figura 18 - a) Alongâmetro tipo LNEC; b) Alongâmetro de Staeger
(*reabilitacaodeedificios.dashofer.pt*).

Frequentemente as construções apresentam fissuras resultantes de deformações com causas variadas, desde alterações das solicitações ou das propriedades mecânicas dos materiais, assentamentos de fundações, variações de temperatura, assim como execução de obras subterrâneas em propriedades contíguas às existentes. [9]

Por norma existe o interesse na monitorização da abertura de fissuras e fendas com origem em comportamentos estruturais, com o decorrer do tempo, e em diversos pontos do seu desenvolvimento.

O dispositivo mecânico utilizado para medição precisa de pequenos deslocamentos em fendas, juntas e fissuras, denomina-se como alongâmetro. Este instrumento ilustrado na Figura 18, possui uma escala de milésimos e de base 200 mm, para medições inferiores de 0,002 mm. As medições das distâncias são efetuadas entre os pontos definidos por cada par de bases circulares com diâmetro de 5 mm. O invar, ou, barra-padrão tem por objetivo a correção dos valores lidos por influência de variações de temperatura no aparelho, assim como de esforços a que este possa ter estado submetido.

Para a realização do ensaio dever-se-á proceder à seleção e à marcação dos pontos para a realização das medições, de forma a permitir a colocação do par de bases metálicas de forma simétrica, recorrendo à colagem dos mesmos ao elemento em estudo.

Após o registo e a análise das leituras obtidas no decorrer do tempo, será possível aferir acerca da tendência de desenvolvimento da fissura, ou seja, se esta terá tendência a estabilizar, agravar, recuperar ou a uma variação cíclica. Posto isto, haverá sempre espaço para tentar estabelecer relações do género causa-efeito relativamente a ocorrências ou ações a que a construção esteja sujeita.

3.3.8 Levantamentos termográficos

O modo mais tradicional para aferição e avaliação de elementos estruturais passa pela remoção dos revestimentos superficiais, ou seja, rebocos e estuques. No entanto, apesar de moroso e dispendioso, este tipo de procedimento torna-se inexecutável fruto da impossibilidade de destruição de revestimentos de elevado valor, repercussões dos trabalhos em movimentos induzidos à estrutura, perturbações para os utentes, entre outros...

Por forma a manter o revestimento o mais intacto possível, efetuando amostras de um modo limpo e eficaz, utilizam-se técnicas não destrutivas de deteção e caracterização.

A termografia baseia-se no princípio de que todos os corpos emitem radiação térmica. Com recurso a equipamento adequado torna-se possível o registo e a visualização dos diferentes graus de emissão na faixa de infravermelhos.

Os diversos materiais que constituem as paredes, assim como outros elementos estruturais, nomeadamente metais, betão, madeira, tijolo ou pedra apresentam uma reação diferente, quando solicitados termicamente por fontes provenientes do exterior. O comportamento térmico dos diferentes materiais é determinado por dois parâmetros, a condutibilidade térmica e o calor específico. A variação destes dois parâmetros influenciará uma diferente condução e absorção de calor em materiais distintos, com diferentes temperaturas apesar de sujeitos à mesma solicitação térmica. [9]

No Quadro 5 especificam-se os parâmetros responsáveis pelo comportamento térmico dos materiais.

Material	Peso específico kg/m ³	Condutibilidade térmica kW.s/kg. °C (kcal/h.m. °C)	Calor Específico W/m. °C
Granito	2600	2,70 (1,65)	0,67
Arenito	2500	2,60 (1,60)	0,79
Calcário	2500	2,00 (1,20)	0,71
Tijolo	2000	0,81 (0,50)	0,92
Reboco comum	1800	0,70 (0,55)	0,75
Madeira	900	0,30 (0,15)	1,48

Quadro 5 - Valores de referência da condutividade térmica e calor específico de diferentes materiais.

A Figura 19 ilustra um levantamento termográfico em edifícios com escala de temperaturas visível para percepção das zonas quentes, frias e amenas.



Figura 19 - Imagem termográfica de um edifício (*facingyconst.blogspot.com*).

A utilização de equipamentos de termovisão sensível à radiação na banda de infravermelhos ao nível da superfície torna possível a deteção das diferenças de temperatura na ordem do grau centígrado. [9]

Através desta técnica, é possível efetuar um levantamento rigoroso de diversos pormenores construtivos de cada elemento, sem efetuar qualquer ensaio destrutivo nos revestimentos superficiais, tais como rebocos, estuques ou pinturas (Figura 20). Com este tipo de ensaio também não existe a necessidade de aceder aos elementos em estudo, podendo ser efetuados à distância.

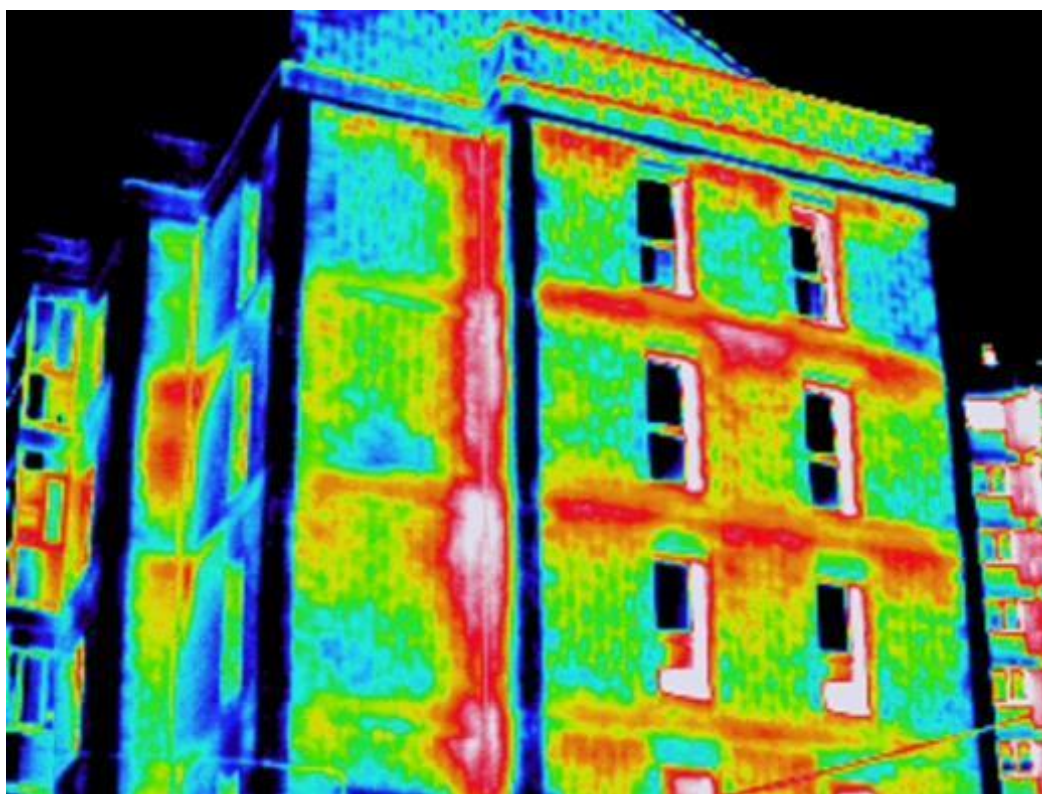


Figura 20 - Imagem de termografia de um edifício (*www.aparejadorbilbao.com*).

O equipamento para execução dos levantamentos termográficos consiste numa câmara termográfica sensível à radiação infravermelha (Figura 21), pares termoeletricos para controlo das temperaturas e equipamento de gravação, assim como para gravação dos termogramas obtidos.

O processamento de imagem permite o posterior tratamento dos termogramas em computador, permitindo igualmente a escolha de gamas de temperatura mais estreitas para salientar aspetos de pormenor com maior relevância.



Figura 21 – Equipamento termográfico (www.aparejadorbilbao.com).

Existe sempre a possibilidade de a termografia ser acompanhada, complementada, ou aferida por outros equipamentos, quando existir a necessidade de determinação de temperaturas precisas.

Para isto existe a necessidade de determinar as emissividades dos materiais com precisão, bem como introduzir outros parâmetros na câmara termográfica. Habitualmente, o objetivo prende-se com a obtenção da diferença de temperatura aproximada e não a temperatura absoluta. [9]

Pode ainda utilizar-se uma câmara termográfica para determinar quais os locais com probabilidade de condensação superficial (desde que a mesma possua módulo de determinação do ponto de saturação). Posto isto, torna-se imprescindível a determinação da temperatura e humidade relativa do interior da habitação.

A metodologia a utilizar na análise termográfica pode passar por um pré-aquecimento dos elementos, com recurso a projetores de elevada potência. No caso de elementos exteriores poder-se-á aproveitar a radiação solar.

O registo dos levantamentos termográficos realizados pode ser efetuado em suporte digital ou em equipamentos videográficos, de forma a permitir uma posterior visualização de análise, confirmação e interpretação dos elementos observados em obra. Caso seja necessário, existe a possibilidade de proceder à sua impressão em suporte físico para composição em mosaicos.

3.3.9 Observação boroscópica de fendas e cavidades

A observação e análise de patologias das estruturas e materiais, assim como o seu levantamento são facilitados pela possibilidade de proceder à inspeção do interior de fissuras, fendas e cavidades de pequenas dimensões existentes nos elementos em estudo, conforme ilustrado na Figura 22.

Para execução de análise reduzida e intrusiva destas observações, recorre-se à boroscopia, ou seja, técnica baseada na utilização dum instrumento óptico.



Figura 22 - Observação boroscópica de fendas e cavidades (*reabilitacaodeedificios.dashofer.pt*).

O boroscópio consiste numa haste delgada com uma ocular numa extremidade, e um prisma e uma objetiva na extremidade oposta. Para iluminação da cavidade em estudo, existe um segundo sistema óptico no interior da haste que permite a condução do feixe de luz para o campo em observação. A condução deste feixe de luz é efetuado por meio de

fibras ópticas, enquanto o feixe de luz surge por via de uma fonte de iluminação dotada de lâmpadas halogéneas com uma potência de 250 W.

A haste permite a inclinação face à vertical, assim como a rotação em toda a sua volta, que juntamente com a grande amplitude do sistema óptico, minimiza os ângulos mortos nas observações.

Existe ainda a possibilidade de adaptar uma câmara fotográfica de 35 mm ou até mesmo câmara de vídeo, para registo da observação direta em imagens.

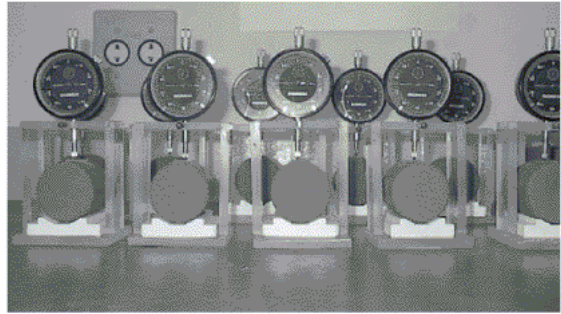
A metodologia a aplicar na realização deste ensaio, consiste na execução de um ou mais furos com cerca de 10 mm de diâmetro nos pontos de observação seleccionados. Caso a largura da fenda seja suficientemente larga ou superior ao diâmetro dos furos a realizar não existirá a necessidade de os efectuar. [9]

Após a devida e correta montagem do equipamento, e posterior ligação da fonte de iluminação, introduz-se a haste no orifício, de modo a visualizar o interior da fenda ou cavidade.

3.4 Ensaios estruturais em laboratório

Os ensaios estruturais em laboratório desenvolvem-se paralelamente aos ensaios “*in situ*” e funcionam como complementares destes, tendo em conta que, por vezes, se obtêm resultados substancialmente diferentes. Seguidamente, no Quadro 6, descrevem-se alguns dos ensaios estruturais em laboratório mais correntemente utilizados.

Tipo de Ensaio	Parâmetro medido	Normas	Imagens ilustrativas dos ensaios
Ensaio de rotura à compressão simples	Tensão resistente à compressão simples do betão de um determinado número de carotes recolhidas “ <i>in situ</i> ”	NP EN 12390-3	
Ensaio brasileiro	Tensão resistente à tração do betão a partir da compressão diametral de carotes recolhidas “ <i>in situ</i> ”. O princípio baseia-se em submeter o provete a uma força de compressão numa zona estreita ao longo do seu comprimento, a qual origina tensões ortogonais que vão levar à rotura do provete por tração.	Método ISRM	
Ensaio módulo de elasticidade	Módulo de elasticidade do betão, a partir do registo das deformações e tensões axiais das amostras recolhidas quando submetidas a uma compressão elástica uniaxial	ASTM C469/469 M	

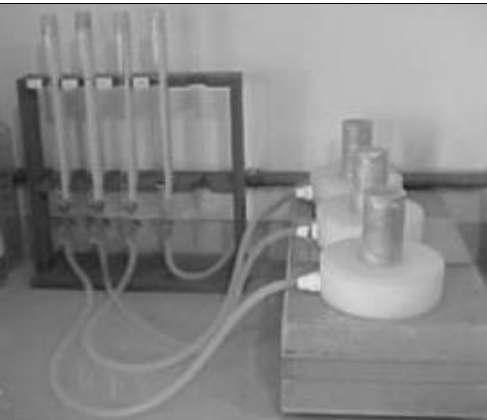

<p>Ensaio de fluência</p>	<p>Coefficiente de fluência. Os provetes de betão são submetidos a tensões de compressão constantes ao longo de vários meses, sob condições de temperatura e humidade controladas.</p> <p>São registadas as deformações elásticas iniciais e as deformações em diversos instantes t.</p> <p>O coeficiente de fluência no instante t, j, é determinado pela relação entre o quociente entre a deformação total nesse instante, $\xi_{c,t}$, e a deformação elástica inicial, $\xi_{c,0}$, menos 1, ou seja:</p> $\varphi = (\xi_{c,t} / \xi_{c,0}) - 1$	<p>ASTM E139</p>	
<p>Ensaio de retração</p>	<p>Deformação de retração em instantes t. Os provetes são submetidos a um estado de deformação livre num ambiente controlado. Em cada instante t, é possível medir a deformação por retração (encurtamento) dos provetes, e assim aferir o efeito deste fenómeno.</p>	<p>ASTM C-157/93</p>	



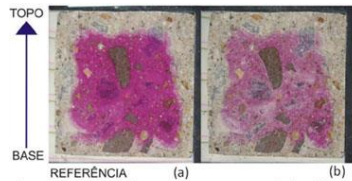
Quadro 6 - Descrição dos ensaios estruturais em laboratório (imagens obtidas de www.lnec.pt e www.scielo.br).

3.5 Ensaios de durabilidade em laboratório

Os ensaios de durabilidade em laboratório realizam-se complementarmente aos ensaios "in situ" e com estes permitem uma avaliação das características dos materiais que influenciam a durabilidade da estrutura.

No Quadro 7 descreve-se sucintamente alguns dos ensaios de durabilidade mais correntemente realizados em laboratório.

Tipo de Ensaio	Parâmetro medido	Normas	Imagens ilustrativas dos ensaios
<p>Ensaio de absorção de água por capilaridade</p>	<p>Coefficiente de absorção de água. Uma face dos provetes é colocada dentro de água (até 5mm) durante 4 horas, sendo que a área molhada vai aumentando ao longo do tempo. O coeficiente de absorção de água determina-se a partir de uma relação entre a absorção de água por unidade de área e o tempo.</p>	<p>EN 1015-18</p>	
<p>Ensaio de absorção de água por imersão</p>	<p>Absorção de água. Os provetes são inicialmente secos durante 72 horas a uma temperatura de 105°C, e posteriormente pesados (M1). Seguidamente são imersos em água durante 30 minutos e pesados novamente após esse período de tempo (M2). A absorção de água, A, determina-se a partir da seguinte relação:</p> $A = (M2 - M1) / M1$	<p>EN 12091</p>	

			
Ensaio de permeabilidade à água	Volume de água que atravessa uma amostra submetida a uma pressão de água numa face	EN 1015-19	
Ensaio de permeabilidade ao gás	Volume de gás que atravessa uma amostra submetida a uma pressão de oxigénio numa face	ASTM D 1434	
Ensaio de difusão de cloretos	<p>Coefficiente de difusão de cloretos.</p> <p>Ensaio tipo 1 – Coloca-se uma amostra de betão na fronteira entre duas câmaras, uma saturada com cloretos e outra sem cloretos. Após algum tempo, determina-se o coeficiente de difusão de cloretos, medindo a concentração de cloretos em ambas as câmaras.</p> <p>Ensaio tipo 2 – Coloca-se uma amostra de betão em água saturada com cloretos e, após algum tempo, determina-se a percentagem de cloretos na amostra a diferentes profundidades. Com estes valores é possível determinar o coeficiente de difusão de cloretos.</p>	ASTM C1202/97	
Ensaio de carbonatação acelerada	Profundidade da carbonatação ao longo do tempo numa amostra de betão colocada numa câmara com ambiente controlado e com uma percentagem de CO ₂ de 5%. A profundidade de carbonatação relaciona-se com o coeficiente de carbonatação a partir da lei da difusão.	LNEC E 391	 <p>Figura 6 - (a) Frente de carbonatação imediatamente após a aspersão de fenolftaleína e (b) após 7 dias da aspersão, na amostra de referência</p>

Quadro 7 - Descrição dos ensaios de durabilidade em laboratório (imagens obtidas de www.sciencedirect.com, www.lnec.pt e www.scielo.br).

4 Enquadramento Normativo segundo a NP EN 1504

4.1 Introdução

O desenvolvimento e evolução aprendizagem da relevância da manutenção e reabilitação estrutural conduziram à evolução do conhecimento e respectiva melhoria dos sistemas, técnicas e produtos. No entanto, existe a necessidade de garantir o elo de ligação entre a construção recente e a antiga. Conjuguar estes fatores nem sempre é simples, uma vez que existe um desconhecimento do tipo e construção inicial, para além do estado da estrutura em estudo.

Num tempo não muito distante, era reduzida a existência de disposições normativas que especificamente sustentassem os programas de manutenção e reabilitação. Tendo em conta estas necessidades, tornou-se necessário a normalização por forma a organizar e estabilizar todo o processo de reabilitação e/ou reforço, e que apresentasse a metodologia que deveria ser seguida, desde o diagnóstico inicial, passando pela seleção apropriada das técnicas até às propriedades particulares dos produtos e sistemas, para uma boa decisão.

No decorrer da década de 80, o Comité Europeu de Normalização (CEN) iniciou a preparação de um conjunto de normas referentes à reparação e proteção de estruturas de betão. Esse esforço culminou na Norma NP EN 1504, sob o título de “Produtos e Sistemas para a Proteção e Reparação de Estruturas de Betão”. [3] Esta reúne toda a informação sobre produtos e sistemas para manutenção e proteção, reabilitação e reforço de estruturas de betão [10].

A referida norma, constituída essencialmente por 10 partes, explicita a divisão de um projeto de reabilitação em 5 fases distintas, ou seja, fase de diagnóstico, fase deliberativa,

fase de dimensionamento, fase execução e fase de inspeção, monitorização e manutenção, sendo que esta última é facultativa.

4.2 Estrutura da NP EN 1504

A NP EN 1504 encontra-se dividida em 10 partes, inicia-se nas definições e objetivos da norma na parte 1. Nas partes 2 à 7 são referidos os sistemas e produtos que permitem realizar as operações de reabilitação e/ou reforço, com o estabelecimento de valores para as propriedades que estes devem apresentar em função da aplicação. As partes 8 e 10 tratam prospectivamente, da avaliação da conformidade e da aplicação e controlo da qualidade. A parte 9 apresenta os princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas. [11]

De forma sucinta apresenta-se uma descrição mais específica das matérias e conteúdos abordados em cada parte da NP EN 1504 (2006).

A classificação e definição os tipos de produtos e sistemas para reparação, manutenção, proteção ou reforço de estruturas de betão constam da parte 1 da NP EN 1504 (2006), estando agrupadas da seguinte forma:

- Definições gerais - Definições gerais de produtos, sistemas, tecnologias, comportamento dos produtos e sistemas, e requisitos de comportamento;
- Principais categorias de produtos e sistemas - Produtos e sistemas para proteção superficial, reparações estruturais e não estruturais, colagem estrutural, injeções, ancoragens, proteção das armaduras ou de outros elementos metálicos;
- Principais tipos químicos e constituintes de produtos e sistemas para proteção e reparação - Produtos líquidos hidrófobos para impregnação ou preenchimento de poros, produtos para obtenção de películas superficiais, ligantes hidráulicos, polímeros reativos, adjuvantes, adições, argamassas e betões hidráulicos, modificadas com polímeros ou com ligante exclusivamente polimérico.

Já no que diz respeito à especificação dos requisitos de identificação, comportamento (incluindo durabilidade) e segurança de produtos e sistemas para a proteção superficial do

betão, para aumentar a durabilidade de estruturas de betão e de betão armado, em estruturas novas ou em trabalhos de manutenção e reparação, encontra-se descrito na A parte 2 da NP EN 1504 (2006).

Na parte 3 da NP EN 1504 (2006) estão especificados os requisitos de comportamento (incluindo aspetos de durabilidade) e segurança dos produtos e sistemas para a reparação estrutural e não estrutural. Neste documento também se identifica os sistemas de reparação, que podem ser por meio de caldas, argamassas e betões, utilizados conjuntamente com outros componentes incluindo colas e tratamentos das armaduras.

Por seu lado, a parte 4 da NP EN 1504 (2006) especifica os requisitos e critérios de conformidade para a identificação, comportamento (incluindo aspetos de durabilidade) e segurança de produtos e sistemas para colagem estrutural de materiais de construção a estruturas de betão. Neste documento encontra-se igualmente especificados os seguintes aspetos:

- A colagem de placas de aço ou de outros materiais à superfície do betão, para efeito de reforço;
- A colagem entre peças de betão endurecido, aplicável à utilização de sistemas de pré-fabricação;
- A colagem de betão fresco a betão endurecido, quando é necessário o funcionamento conjunto das partes de uma estrutura com betão de idades diferentes.

Os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspetos de durabilidade) e segurança de produtos de preenchimento de fendas e cavidades internas no betão, por injeção ou por gravidade, em trabalhos de proteção ou reforço de estruturas, estão especificados na parte 5 da NP EN 1504 (2006). Neste documento encontra-se igualmente mencionado como objetivos, a garantia de estanqueidade da estrutura e a impossibilidade de penetração de agentes agressivos que induzam corrosão nas armaduras.

Na parte 6 da NP EN 1504 (2008) estão especificados os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspetos de durabilidade) e segurança de produtos de injeção de caldas em ancoragens, em trabalhos de proteção ou de reforço.

Já os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspetos de durabilidade) e segurança de produtos e sistemas de prevenção da corrosão das armaduras, em particular por realcalinização e extração eletroquímica de cloretos constam da parte 7 da NP EN 1504 (2008).

Na parte 8 da NP EN 1504 (2006) estão especificados os procedimentos para a amostragem, verificação da conformidade, marcação de produtos e identificação de sistemas para a proteção e reparação de estruturas, segundo a série de normas NP EN 1504.

A verificação da conformidade assenta num conjunto de ensaios iniciais que visa demonstrar que o produto satisfaz os requisitos da parte de NP EN 1504 que se lhe aplica, e no controlo de produção. [11]

A definição dos princípios para a proteção e reparação de estruturas de betão, que tenham sofrido ou possam vir a sofrer danos ou deteriorações, assim como indicação regras para a seleção adequada dos produtos e sistemas constam da parte 9 da NP EN 1504 (2009).

Para além do mencionado, é neste documento que se encontram estabelecidas as etapas principais de um processo de reparação:

- 1) Avaliação das condições da estrutura;
- 2) Identificação das causas de degradação;
- 3) Decisão sobre os objetivos da proteção e da reparação;
- 4) Seleção dos princípios adequados para a proteção e reparação
- 5) Seleção de métodos;
- 6) Definição das propriedades dos produtos e sistemas;
- 7) Especificação dos requisitos de manutenção após os trabalhos de proteção e reparação.

Na parte 10 da NP EN 1504 (2008) estão apresentados os requisitos para armazenamento, preparação e aplicação de produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão, incluindo o controlo de qualidade, manutenção, saúde e segurança.

A segurança e estabilidade, antes, durante e após a reparação, devem ser asseguradas nos termos da parte 9 da NP EN 1504. Qualquer intervalo de tempo necessário para a obtenção de resistência dos produtos de reparação deve ser considerado como parte do prazo da reparação.

Devem ser verificadas as condições físicas e químicas das bases de aplicação de quaisquer produtos de reparação, incluindo a pesquisa de contaminantes. Deve ser avaliada a capacidade da estrutura para suportar cargas, movimentos ou vibrações durante a execução dos trabalhos, bem como a compatibilidade dos materiais estruturais com os materiais de reparação. [11]

Os requisitos definidos são os seguintes:

- Verificação das propriedades especificadas dos produtos e sistemas de reparação, quando aplicados nas condições reais;
- Verificação da compatibilidade do betão e armaduras originais com os materiais de reparação, bem como a compatibilidade entre materiais de sistemas de reparação diferentes;
- Verificação das condições da base de aplicação, tais como: rugosidade, fendilhação, resistência à tração e à compressão, existência e profundidade de penetração de cloretos ou outros contaminantes, profundidade de carbonatação, teor em humidade, temperatura e grau de corrosão das armaduras;
- Verificação das condições de armazenamento e de aplicação dos materiais em termos de temperatura e humidade, proteção do vento e da chuva e outras de carácter temporário

Encontram-se igualmente especificadas as verificações a efetuar de modo a demonstrar a sua adequação aos princípios a que se referem, com base numa lista de propriedades a

verificar, métodos de ensaio e normas que se lhes aplicam, valores limite dos resultados dos ensaios ou observações e frequência dos mesmos.

A norma estabelece o requisito da elaboração de um manual de qualidade, para todos os trabalhos de intervenção numa estrutura, baseado no modelo da série de normas EN ISO 9000 (2008), que inclua a definição dos intervalos de inspeção para verificação da eficácia das técnicas utilizadas e de necessidades futuras de manutenção. [11]

Para que os produtos possam ser utilizados em projetos de reabilitação devem estar devidamente certificados e com marcação CE, referindo-se igualmente às exigências de cumprimento das normas de ensaio de produtos e sistemas existentes. Na Figura 23 demonstra-se a ligação das diferentes partes da norma em estudo com a normalização externa.

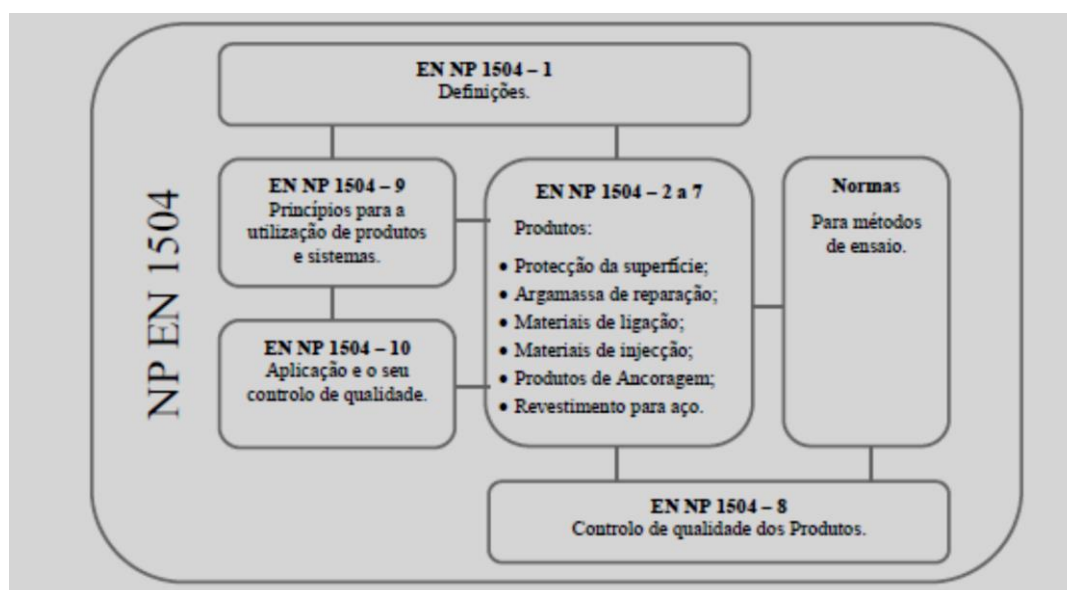


Figura 23 – Estrutura da Norma NP EN 1504 - “Produtos e sistemas para a protecção reparação de estruturas de betão” (Silva, 2008).

Segundo a parte 9 da NP EN 1504 é possível agrupar as etapas em 5 fases distintas:

- Fase de diagnóstico - início do processo de reabilitação, visando avaliação do estado da estrutura e a identificação das avarias/patologias existentes;

- Fase deliberativa - engloba as decisões acerca das medidas a adotar, assim como métodos e princípios a adotar para o reparação ou reforço;
- Fase de dimensionamento – com base na solução adotada, assim como nas decisões da fase anterior;
- Fase de execução – com base na solução dimensionada, executa-se os trabalhos especificados;
- Fase da inspeção/monitorização/manutenção - do tipo facultativo, com a exceção de obras em estruturas especiais.

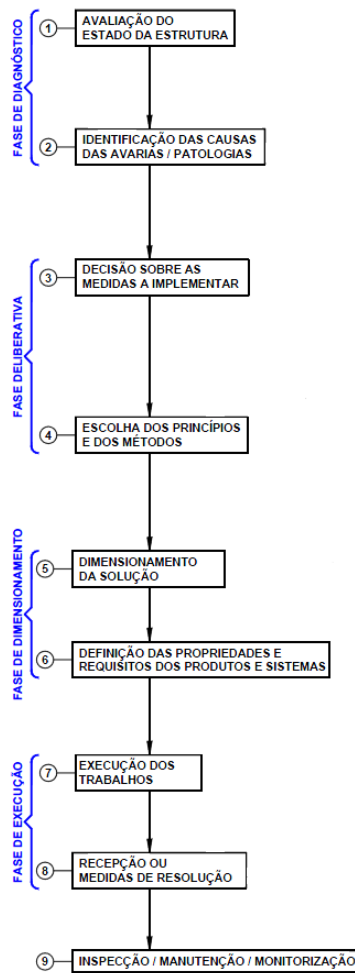


Figura 24 – Fases e etapas de um processo de reparação (Silva, 2008).

4.2.1 Fase de diagnóstico

O processo de reabilitação ou reforço de uma estrutura de betão inicia-se pela fase de diagnóstico que compreende a recolha de toda a informação acerca da estrutura. Esta recolha de informação permitirá o total conhecimento do estado atual da estrutura, devendo incluir levantamento da estrutura, toda informação disponível sobre a história da estrutura, documentação do projeto original, inspeções feitas anteriormente, condições de carregamento, propriedades dos materiais, exposição ambiental e nível de segurança existente (Figura 25).

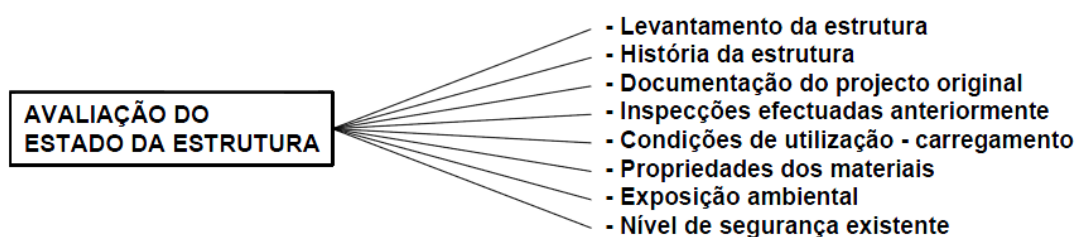


Figura 25 - Tarefas para avaliação do estado da estrutura (Silva, 2008).

Após a conclusão das tarefas atrás mencionadas, seguem-se os procedimentos para identificação das causas das patologias/avarias, para que seja possível conhecer todas as patologias/avarias existentes no betão e/ou armaduras. No caso do betão, as causas das anomalias podem ser do tipo mecânicas, físicas ou químicas. Já nas armaduras, a carbonatação do betão, assim como as correntes vagabundas ou contaminantes corrosivos podem ser os responsáveis pela corrosão (Figura 26).

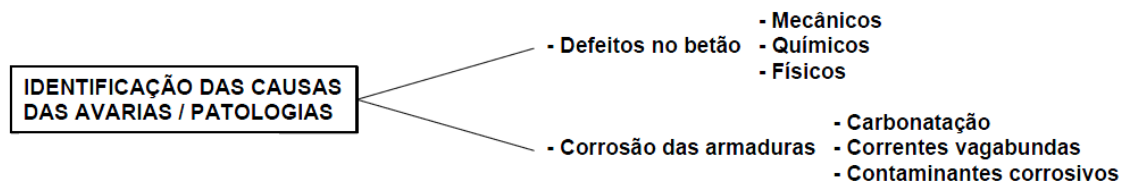


Figura 26 - Tarefas para identificação das causas das avarias/patologias (Silva, 2008).

Algumas vezes as patologias/avarias resultam da deficiente execução da obra (deficiente dimensionamento, erro construtivo ou ausência de especificação). Só depois de se perceber a origem das patologias/avarias é que se poderão definir as medidas a aplicar. [12]

4.2.2 Fase deliberativa

A EN NP 1504-9 (2008) apresenta diversos fatores que influenciam a tomada de decisão acerca das medidas a adotar, relativamente ao tempo de vida útil e utilização pretendida para a estrutura, características de desempenho pretendidas, disponibilidade para execução das reparações e desempenho previsto a longo prazo, custo e número de futuras intervenções de manutenção, conservação e reparação no período de vida útil da estrutura. Para além dos fatores acima mencionados existem ainda aspetos passíveis de ser tidos em conta, tais como:

- Propriedades e Métodos de Preparação do substrato existente;
- Aparência da estrutura após a reparação;
- Distribuição de cargas nos períodos durante e pós reparação;
- Critérios de higiene e segurança;
- Condições de exposição ambiental a longo prazo;
- Necessidade de proteção parcial ou total da estrutura, a nível ambiental;
- Consequências de colapso da estrutura.

Na Figura 27 apresenta-se o esquema das possibilidades de decisão sobre as medidas a implementar no processo de reparação.

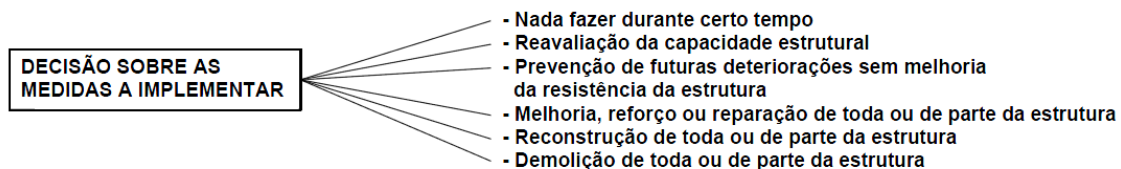


Figura 27 – Esquema de possíveis decisões (*Silva, 2008*).

Na Figura 28 apresenta-se o esquema das possibilidades de decisão sobre os princípios e métodos a implementar no processo de reparação.

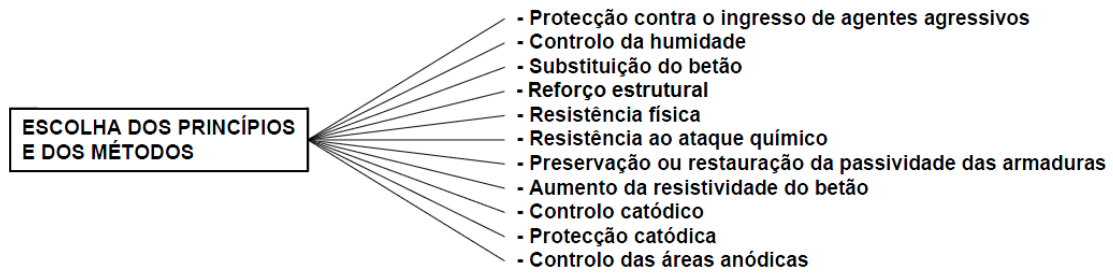


Figura 28 - Esquema de princípios e métodos (Silva, 2008).

4.2.3 Fase de dimensionamento

Por forma, a elencar os procedimentos associados à fase de dimensionamento, apresenta-se o esquema da Figura 29.

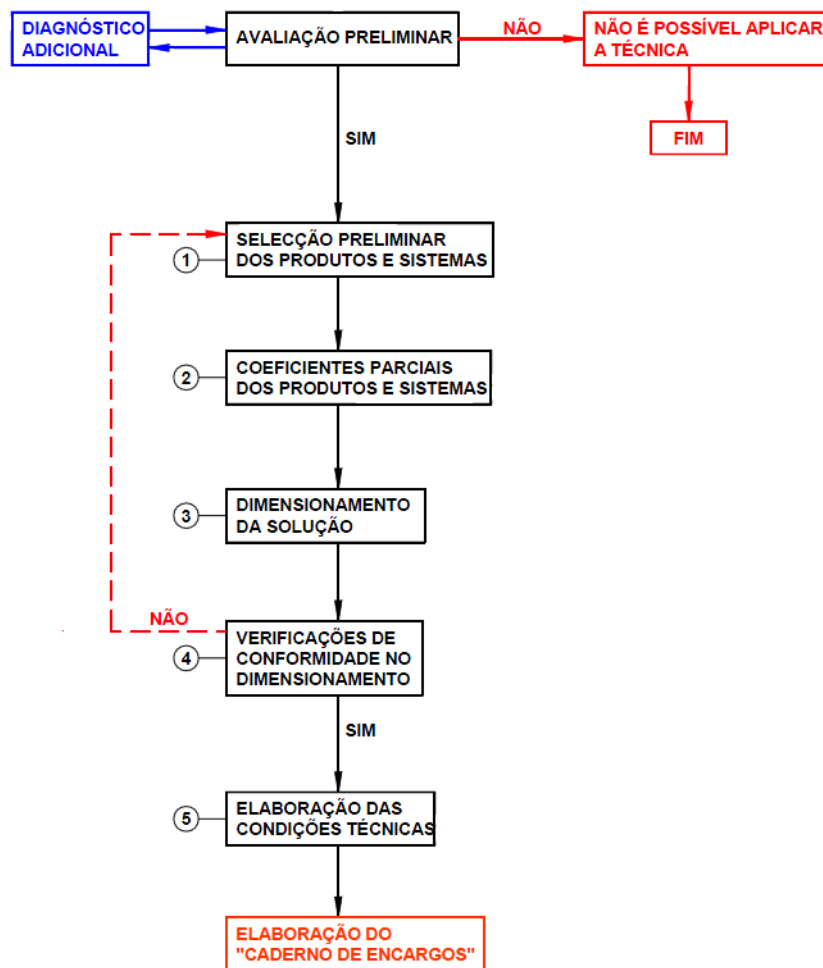


Figura 29 - Processo de dimensionamento (Silva, 2008).

O procedimento acima ilustrado inicia-se pela avaliação preliminar de modo a avaliar o nível de exequibilidade das técnicas de reabilitação. No entanto, a primeira tarefa passa

pela seleção preliminar de sistemas e produtos, que pressupõe uma análise da viabilidade das técnicas para o reforço a utilizar. A sustentabilidade da ação atrás descrita tem por base toda a informação obtida nas observações, ensaios e análises da fase de diagnóstico, sem descurar os critérios estabelecidos para a reparação. Caso se verifique que a técnica selecionada, cumpre a totalidade dos parâmetros avança-se para a ação seguinte, ou seja, a seleção preliminar dos produtos e sistemas. Em caso contrário, será necessário optar por um novo método de reparação.

Para que seja possível avançar para a tarefa seguinte, existe a necessidade de definir o material a utilizar na técnica de reparação. Esta escolha ficará a cargo projetista, assim como será variável face às propriedades do existente, assim como do pretendido para o futuro.

A segunda ação consiste na definição dos coeficientes parciais de segurança, uma vez que existe uma imensa oferta e variabilidade das propriedades de materiais, tanto o curto e longo prazo. A fase seguinte consiste na definição das características para o reforço a utilizar, ou seja, estamos perante a terceira tarefa de dimensionamento da solução.

As dimensões e disposição do sistema executado, o enquadramento ambiental, o tipo de utilização, assim como o controlo do nível obtido de reparação são aspetos da quarta tarefa de verificação de conformidade no dimensionamento.

Findas todas as etapas, é necessário que se encontrem satisfeitas todas as verificações, sob pena de reiniciar todo o processo de dimensionamento com regresso à primeira ação. Em caso afirmativo, o projetista inicia a elaboração das condições técnicas, especificando os seguintes aspetos para execução do reforço:

- Características de produtos e sistemas
- Procedimentos de execução dos trabalhos;

- Plano de controlo de qualidade de todas as etapas compreendidas entre este ponto até à conclusão da obra.

4.2.4 Fase de execução

Finda a fase de dimensionamento, inicia-se a fase de execução constituída pelos procedimentos descritos e ilustrados no fluxograma da Figura 30.

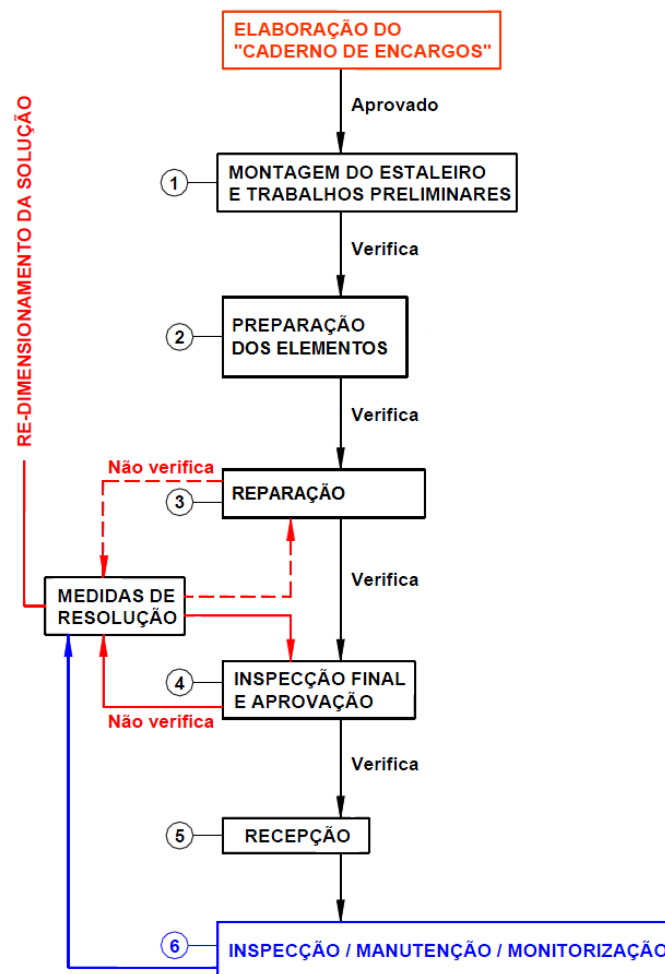


Figura 30 - Processo de execução da reparação (Silva, 2008).

Nesta fase é necessário efetuar-se o ajuste do caderno de encargos entre o projetista e o promotor, por forma a otimizar a solução escolhida. Para além deste ajuste, é necessário igualmente a implementação deste caderno de encargos por parte da fiscalização antes do início dos trabalhos. Neste documento devem ser satisfeitas as condições técnicas

especificadas pelo projetista, elencados todos os aspetos afetos à execução da reparação e respetivo controlo de qualidade. Não é demais referir que devem ser esclarecidas as responsabilidades das partes envolvidas.

Findos aspetos acima descritos, iniciar-se-á a montagem de estaleiro, assim como os trabalhos preparatórios de obra. Posto isto, procede-se a um controlo de qualidade sobre as matérias e métodos a utilizar na reabilitação em causa. Deve assegurar-se igualmente o correto e adequado acondicionamento e disposição dos elementos afetos à intervenção, assim como verificação das especificações, propriedades e procedimentos especificados no caderno de encargos.

A preparação dos elementos a reparar, inicia-se após a existência de um parecer positivo da fiscalização. Nesta ação é necessário cumprir os procedimentos propostos no caderno de encargos e respetivo controlo de qualidade.

Procede-se de seguida ao início da ação de reparação, aonde existe a obrigatoriedade de se proceder à recolha de amostras dos diferentes sistemas e produtos, pro forma a proceder ao seu ensaio e avaliação para comprovação da sua homogeneidade face aos valores de aceitação previsto no controlo de qualidade.

Caso o acima disposto não demonstre resultados positivos, deverá o empreiteiro reportar as medidas de resolução à fiscalização. A intervenção do projetista apenas será necessária, caso as medidas se revelem ineficazes, havendo a necessidade de redimensionar a solução. Sendo as medidas de resolução aceitáveis, cabe à fiscalização efetuar a sua aprovação.

Finda a reparação, urge efetuar a inspeção final e aprovação pro forma a efetuar uma inspeção global aos trabalhos executados. Nesta inspeção é necessário que o empreiteiro efetue as seguintes ações:

- Detecção de possíveis defeitos;

- Avaliação do cumprimento das tolerâncias admissíveis face aos possíveis defeitos existentes.

Em caso de incumprimento das tolerâncias, terá o empreiteiro de apresentar medidas corretivas para as situações detetadas por forma a garantir o cumprimento do estipulado no caderno de encargos. [11]

A realização de um ensaio de carga “*in situ*” representa o término dos trabalhos, para garantia da reparação efetuada. Caso se obtenham os resultados pretendidos, deverá a fiscalização proceder à receção da intervenção, ou seja, a receção do projeto de reparação.

4.2.5 Fase de inspeção, monitorização e manutenção

É nesta fase que se procede à implementação de um plano de monitorização da estrutura com base no estabelecido no caderno de encargos por forma a acompanhar o desempenho da estrutura. Nesta fase poderá ser necessário proceder a inspeções periódicas, sendo que os resultados obtidos poderão conduzir à definição de medidas futuras.

A definição de inspeção periódica dos elementos deverá acontecer para que se previna a degradação acelerada da estrutura, no entanto trata-se de uma medida de baixa implementação no que diz respeito a edifícios de pouca importância como a habitação.

É de ressaltar que as inspeções periódicas do tipo visual deverão acontecer de ano em ano. Já as inspeções periódicas do tipo mais específico e detalhado deverão acontecer a cada seis anos.

O objeto de análise das inspeções não passa exclusivamente pelas zonas e materiais da área reparada, mais sim a totalidade da estrutura. Esta análise alargada permitirá verificar a existência de um agravamento na zona reparada, assim como a existência de outros locais com patologias.

A realização de inspeções com maior detalhe, pressupõe a análise da existência de patologias e defeitos menos perceptíveis ao olho humano e de preferência com recurso a técnicas não destrutivas.

No entanto estas inspeções não invalidam a necessidade de conhecimento de possíveis defeitos, a sua origem, assim como a possível localização. Outro aspeto importante é a adequação dos métodos de ensaio disponíveis aos objetivos pretendidos.

5 Estudo de um caso prático

No seguimento dos capítulos anteriores, apresenta-se de seguida um caso de estudo prático para implementação dos princípios abordados nos capítulos anteriores.

O presente caso de estudo foi efetuado nas Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia (Figura 31), edificação localizada na Avenida Vasco da Gama, Vila Nova de Gaia. A sua construção data de 1983, sendo constituída por diversos blocos denominados pelas letras A,B,C,D,E,F,G e H respectivamente. (Figura 32 e Figura 33)

O imóvel destina-se à prestação de serviços a nível municipal, no que diz respeito às áreas de mecânica, serralharia e carpintaria.



Figura 31 - Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia.

O presente capítulo descreve os trabalhos realizados com o objetivo de identificar as patologias e avarias existentes na estrutura de betão armado, nomeadamente ao nível dos pilares. O objetivo deste relatório é avaliar a degradação destes elementos, estabelecendo-se também os parâmetros necessários para a realização da reparação dos elementos afetados.

O edifício objeto deste relatório é o edifício E (Figura 34), uma estrutura porticada de betão armado, com pilares e vigas em betão à vista. A estrutura é constituída por dois pisos abaixo da cota de soleira e um acima desta.

Os elementos de betão à vista não se encontram protegidos com qualquer pintura ou recobrimento que sirva de proteção ao meio ambiente. A exceção são dois pilares do edifício, onde as armaduras apresentam um revestimento que consiste na pintura com um primário anti corrosão. Este revestimento permitiu abrandar o avanço da corrosão das armaduras nestes dois elementos da estrutura, no entanto carecem de intervenção complementar.

Em todos os elementos de betão armado é notória a elevada porosidade. Uma das anomalias também verificadas, a corrosão de armaduras, aponta para uma corrosão induzida pela carbonatação do betão.

O edifício situa-se em área urbana e na sua área envolvente existe um grande número de indústrias, influenciando a corrosão por carbonatação devido principalmente ao CO₂ existente na atmosfera, concluindo-se que os elementos de betão armado estão sujeitos a uma exposição ambiental agressiva.

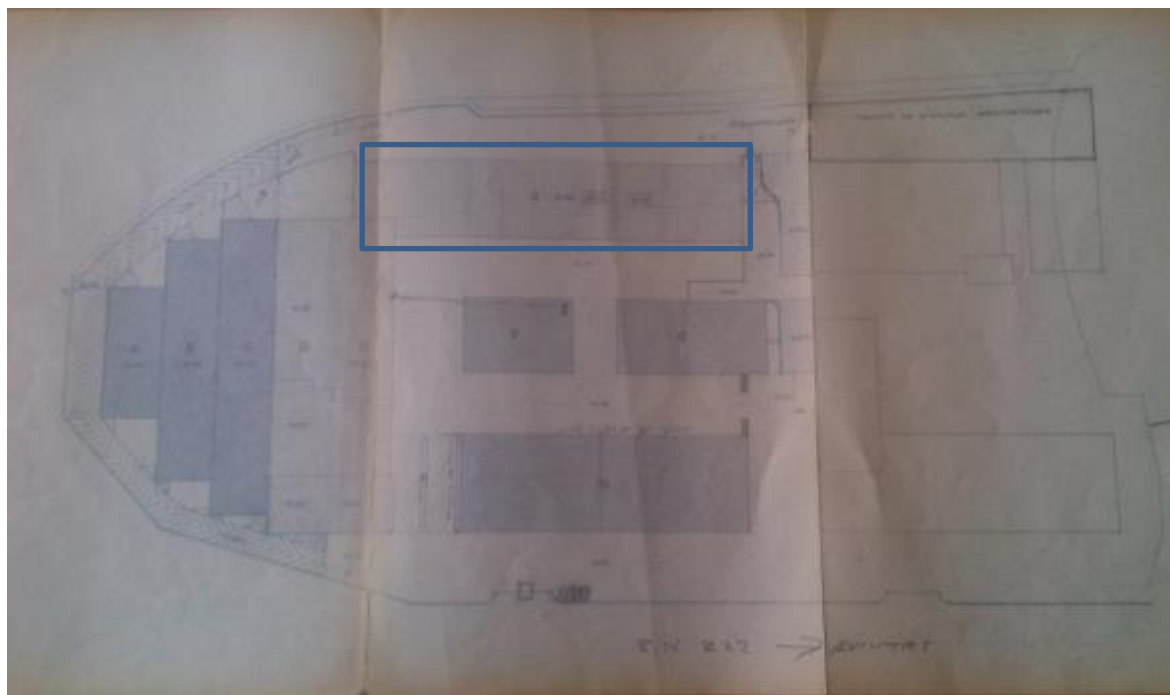


Figura 32 – Planta geral das Oficinas Gerais da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia (*Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia*).

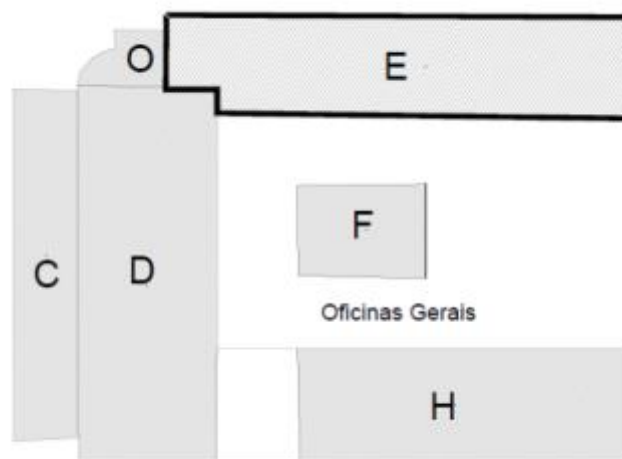


Figura 33 - Planta de localização dos edifícios (*Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia*).

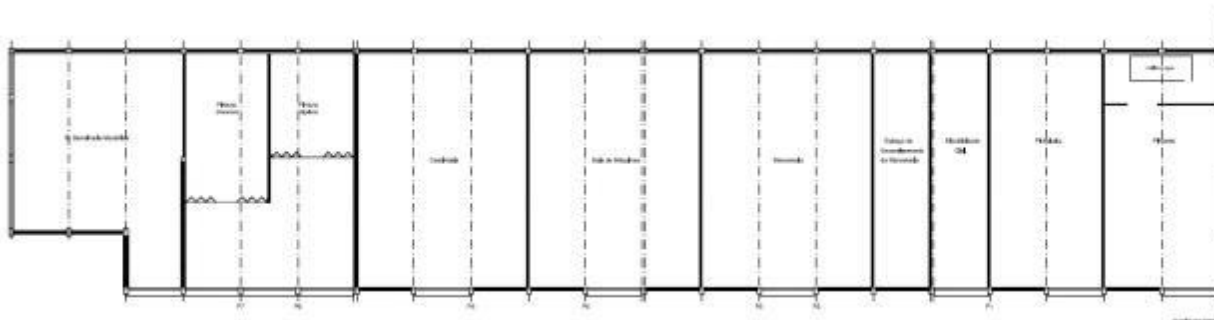


Figura 34 - Planta estrutural do edifício E.

A vistoria realizada incidiu, sobretudo, na análise e deteção das patologias e avarias existentes, quais as suas repercussões, causas e consequências.

A informação contida neste capítulo resultou dos seguintes parâmetros:

- Informações recolhidas no local;
- Elementos do projeto de execução, assim como peças desenhadas e respetivo caderno de encargos,
- Estudo das patologias/avarias observadas;
- Ensaios de carácter não destrutivo realizados.

O presente capítulo apresenta a seguinte estrutura:

- Avaliação das condições da estrutura;
- Identificação das causas de degradação;
- Decisão sobre os objetivos da proteção e da reparação;
- Seleção dos princípios adequados para a proteção e reparação
- Seleção de métodos;
- Definição das propriedades dos produtos e sistemas;
- Especificação dos requisitos de manutenção após os trabalhos de proteção e reparação.

De forma a interpretar corretamente o comportamento geral do edifício, mais concretamente a estrutura de betão armado, houve necessidade de aceder ao interior das instalações, de modo a observar e a analisar o comportamento da construção. As imagens a seguir ilustradas permitem visualizar o tipo de problemas existentes. Dá-se especial destaque às anomalias mais gravosas, indicando sempre um local onde estejam presentes.

No presente caso de estudo houve lugar à realização de um exame preliminar (inspeção visual) e um exame pormenorizado (ensaios “*in situ*”) em elementos estruturais selecionados da envolvente exterior do edifício que atualmente exibem sinais de degradação.

Por forma a complementar o caso prático realizaram-se ensaios “*in situ*”, com vista à caracterização e à avaliação da resistência dos materiais e elementos estruturais.

Durante a inspeção realizada, foram objeto de apreciação os elementos estruturais da envolvente exterior do edifício, nomeadamente:

- Pilares em betão armado;

5.1 Diagnóstico da estrutura

5.1.1 Avaliação das condições da estrutura

A avaliação das condições da estrutura incluiu uma inspeção visual, com elementos e documentação do projeto inicial, assim como um enquadramento e breve resumo efetuado com as pessoas responsáveis pelo edifício em questão, por forma a obter informação acerca da construção, manutenção e conservação do imóvel até à data para além do estado atual do imóvel.

Face ao exposto, a informação obtida foi elucidativa, no entanto, como não foi possível obter relatos dos executantes e demais intervenientes na empreitada, os elementos de preparação da empreitada, relatórios de progresso e relatórios de ensaio não foram passíveis de serem consultados.

A análise e inspeção visual serviram para identificar e diagnosticar anomalias mais elementares, tais como a existência de corrosão de armaduras expostas ao meio ambiente, assim como deformações localizadas. A realização de ensaios “*in situ*”, medições, análises, e levantamentos, serviram para avaliação de anomalias mais complexas que carecem de uma investigação pormenorizada e exaustiva.



Figura 35 - Alçado Principal Edifício E.

Na Figura 36 identificam-se os pilares objeto de análise mais detalhada, diagnóstico e definição do processo de reparação.

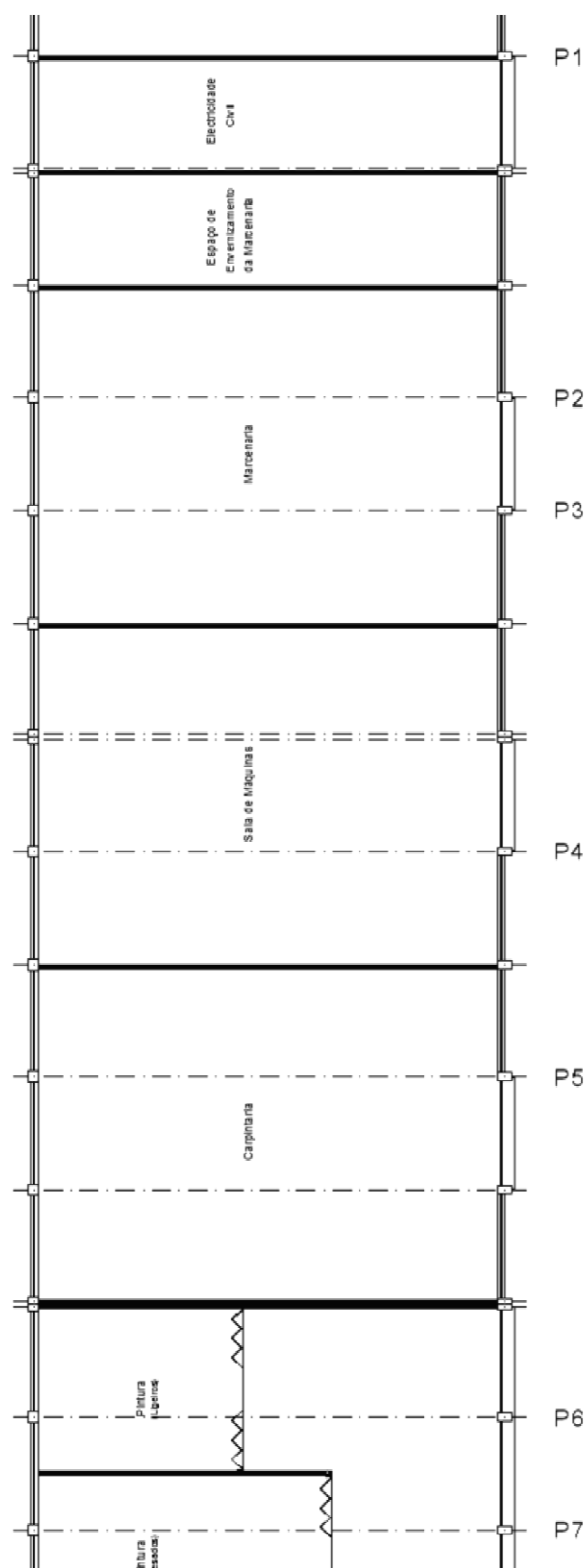


Figura 36 - Identificação dos elementos objeto de avaliação.

5.1.2 Identificação das anomalias

5.1.2.1 Análise e inspeção visual da estrutura

A inspeção visual efetuada permitiu detetar alguns tipos de anomalias visíveis a olho nu. Após a avaliação das condições da estrutura constatou-se que as anomalias principais identificadas são:

- Betão com corrosão ativa das armaduras;
- Betão com delaminação e/ou escamação superficial;
- Betão delaminado com exposição de armaduras;
- Betão com fissuração superficial passiva;

Nos elementos estruturais de betão armado inspecionados verificou-se que as anomalias acima descritas estão em grande parte associadas entre si, com maior ou menor grau de gravidade e diferente extensão.

5.1.2.2 Betão com corrosão ativa das armaduras

Resultam de uma deficiente execução do betão armado, por força de um recobrimento insuficiente e inadequada vibração do betão. As armaduras apresentam um elevado estado de degradação, perceptível pelo volume expansivo e degradado das armaduras; (Figura 37, Figura 38 e Figura 39);



Figura 37 – Betão com corrosão ativa das armaduras.



Figura 38 – Betão com corrosão ativa das armaduras.



Figura 39 - Betão com corrosão ativa das armaduras.

5.1.2.3 Delaminação ou escamação superficial

Pelas imagens abaixo deduz-se que os elementos em estudo encontram-se excessivamente comprimidos, originando a sua delaminação ou escamação superficial visível através do destacamento do recobrimento das armaduras; (Figura 40, e Figura 41)



Figura 40 - Delaminação ou escamação superficial do betão.



Figura 41 - Delaminação ou escamação superficial do betão.

5.1.2.4 Delaminação superficial com exposição de armaduras

Esta anomalia encontra-se associada geralmente ao recobrimento insuficiente, assim como o facto de o betão se encontrar poroso, carbonatado ou com elevado teor de cloretos, permitindo a corrosão das armaduras. (Figura 42, Figura 43 e Figura 44)



Figura 42 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.

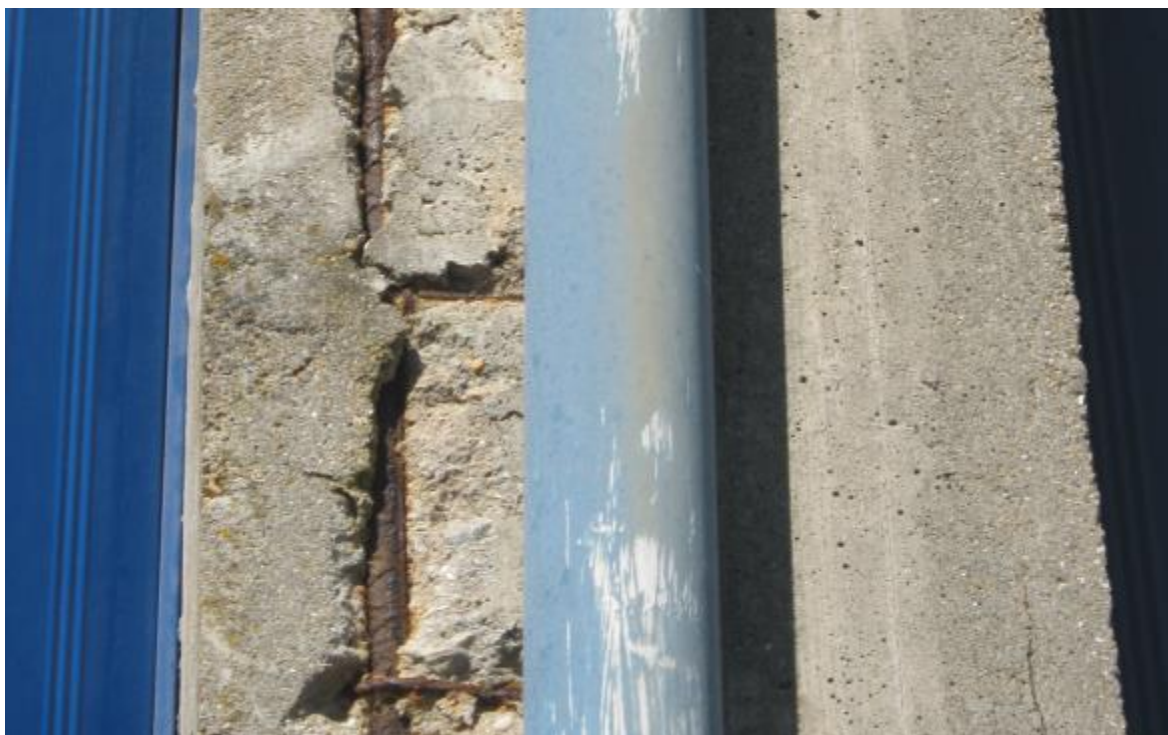


Figura 43 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.



Figura 44 - Delaminação superficial com exposição de armaduras.

5.1.2.5 Betão com fissuração superficial passiva

Esta anomalia encontra-se associada geralmente à deficiente cofragem, retração plástica, cura deficiente, perda de água superficial, assim como vento e/ou calor excessivo no momento da betonagem. (Figura 45 e Figura 46)



Figura 45 - Fissuração superficial passiva.



Figura 46 - Fissuração superficial passiva.

5.1.3 **Análise e diagnóstico da estrutura, com recurso a ensaios não destrutivos** *“in situ”*

Após a avaliação das condições da estrutura, procedeu-se à realização de um conjunto de ensaios *“in situ”*, de modo a que fosse possível obter uma caracterização material da estrutura. É de ressaltar que a realização destes ensaios, foi baseada no descrito em normas portuguesas e/ou internacionais. Nos casos em que as normas são inexistentes ou omissas adotou-se o descritivo existente em documentação técnica aplicável.

Os ensaios realizados foram de carácter não destrutivo em elementos estruturais representativos para caracterização das anomalias detetadas, nomeadamente:

- Detecção de armaduras e avaliação do seu diâmetro e recobrimento (Ferroskan PS 200);
- Ensaio esclerométrico digital (Schmidt 2000 Proceq);
- Ensaio de ultrassons em betão (Tico Proceq);

- Medição da resistividade do betão (Proceq Resipod);
- Detecção da corrosão das armaduras (Proceq Canin +).

5.1.3.1 Detecção de armaduras e avaliação do seu diâmetro e recobrimento (Ferroscan)

Nos elementos de betão armado, as armaduras são um fator chave no desempenho da estrutura como um conjunto. Na avaliação destes elementos é essencial a definição da localização, profundidade, espaçamento e diâmetro das armaduras para que se efetue uma boa análise e diagnóstico. A razoabilidade da definição da técnica de reparação será influenciada por este diagnóstico, permitindo responder às necessidades de intervenção pretendidas.

Para além destes aspetos, existe a necessidade de definir a malha das armaduras nos elementos em análise por forma a realizar os restantes ensaios, uma vez que alguns deles devem ser realizados fora da zona das armaduras.

O equipamento utilizado na deteção das armaduras foi “Ferroscan PS 200” da HILTI (Figura 47).

Após consulta junto dos técnicos especializados da HILTI, foi indicado pelos mesmos que para análise de elementos com secção inferior a 60 x 60 cm², se utilize um elemento em madeira que permita prolongar a superfície em estudo, de modo a que a leitura comece e acabe nesse elemento. Esta sugestão facilitou a execução do ensaio, assim como garantiu uma fiabilidade superior.



Figura 47 - Equipamento de deteção de armaduras, Ferroscan PS 200.

Na realização do ensaio, procedeu-se à limpeza das zonas a ensaiar para eliminação das impurezas e elementos existentes nas superfícies que impedissem a livre circulação do aparelho. Foi efetuada igualmente a análise e limpeza do aparelho de leitura, nomeadamente das rodas.

Iniciada a leitura, efetuou-se uma leitura com a função Quick Scan para perceção “in loco” da localização das armaduras, e posterior marcação nas superfícies em análise como apresentado na Figura 48.

Finda esta análise, efetuou-se uma leitura mais pormenorizada com recurso à função Image Scan. Esta leitura foi efetuada em três patamares, movendo o aparelho lentamente na horizontal, com afastamento *standard* da grelha do fornecedor do equipamento. De seguida, efetuou-se a leitura segundo os mesmos pressupostos, na direção perpendicular ao anteriormente efetuado, finalizando a leitura da grelha.



Figura 48 – Marcações da grelha das armaduras após deteção com ferramenta Quick Scan.

É de ressaltar que todas as leituras tiveram em conta para a sua realização, o afastamento de 1,5 m face aos planos horizontais conforme especificação do fornecedor, assim como evitar a execução de leituras nas zonas degradadas do topo e da base dos pilares.

Findas as leituras, procedeu-se à transmissão dos resultados obtidos para o monitor que compõe o Ferrosan, permitindo uma primeira análise para cálculo do diâmetro dos varões da armadura, assim como o seu recobrimento.

A análise mais aprofundada das leituras foi efetuada com recurso ao *software* dos fabricantes instalado previamente num computador. A análise com recurso ao *software* permite obter uma imagem da leitura (Figura 49 e Figura 50), onde se efetua a marcação de diversos pontos sobre as armaduras visualizadas, para que o programa efetue o cálculo. O cálculo obtido fornece um valor médio, com base nos pontos anteriormente assinalados, para o diâmetro e espaçamento dos varões, assim como o recobrimento.

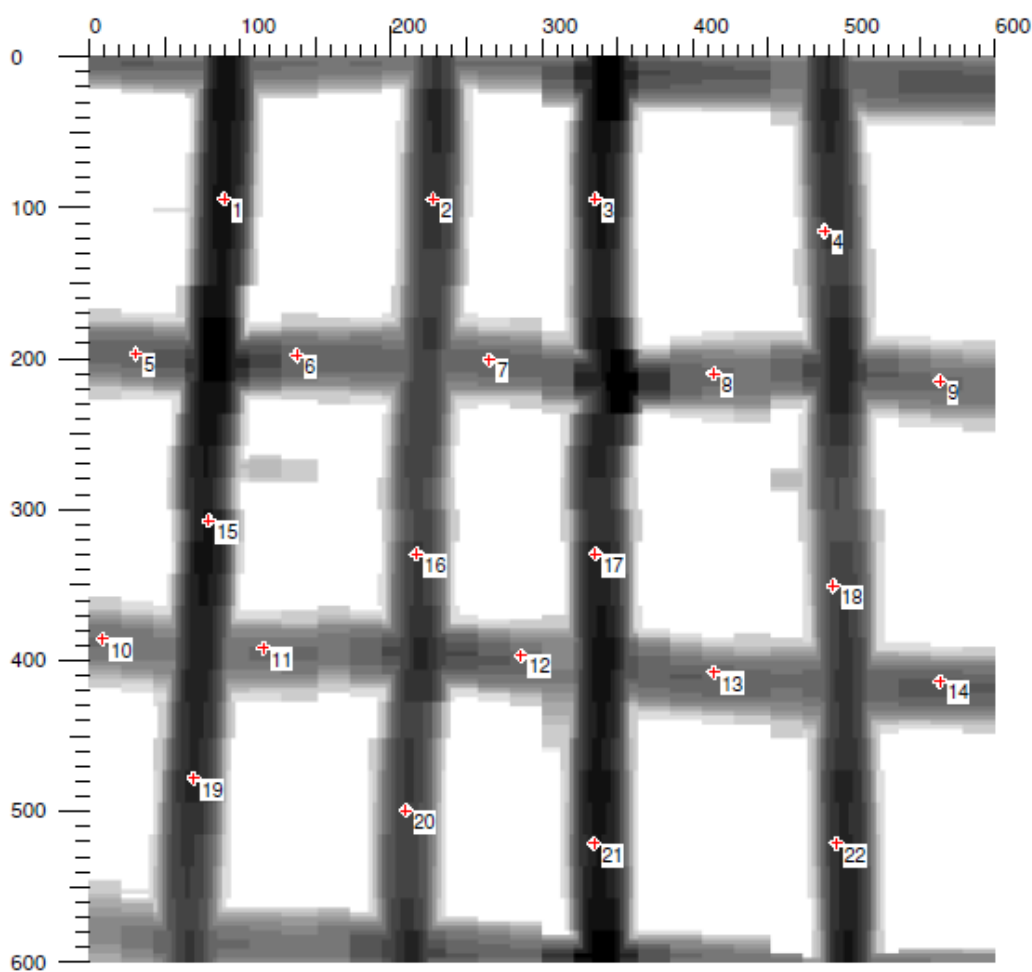


Figura 49 - Imagem da deteção das armaduras com recurso ao Software PS 200 com identificação dos varões.

Point:	x: [mm]	y: [mm]	Cov.: [mm]	Bar:	Orientation:	Usage:
1	91	96	19	8mm	Vertical	Measurement
2	229	96	26	12mm	Vertical	Measurement
3	338	96	24	12mm	Vertical	Measurement
4	491	117	23	6mm	Vertical	Measurement
5	31	198	32	6mm	Horizontal	Measurement
6	139	200	32	8mm	Horizontal	Verify only
7	267	203	33	8mm	Horizontal	Measurement
8	417	212	33	8mm	Horizontal	Measurement
9	567	217	34	6mm	Horizontal	Measurement
10	10	388	32	8mm	Horizontal	Verify only
11	117	395	32	6mm	Horizontal	Measurement
12	289	399	31	6mm	Horizontal	Verify only
13	417	411	31	8mm	Horizontal	Measurement
14	567	416	29	8mm	Horizontal	Measurement
15	80	310	18	8mm	Vertical	Verify only
16	219	331	26	8mm	Vertical	Measurement
17	338	331	24	10mm	Vertical	Measurement
18	496	353	24	6mm	Vertical	Measurement
19	71	481	22	6mm	Vertical	Measurement
20	211	503	28	8mm	Vertical	Measurement
21	337	524	22	12mm	Vertical	Measurement
22	498	524	21	6mm	Vertical	Measurement

Figura 50 - Imagem dos resultados obtidos para diâmetro e recobrimento da armadura com recurso ao Software PS 200.

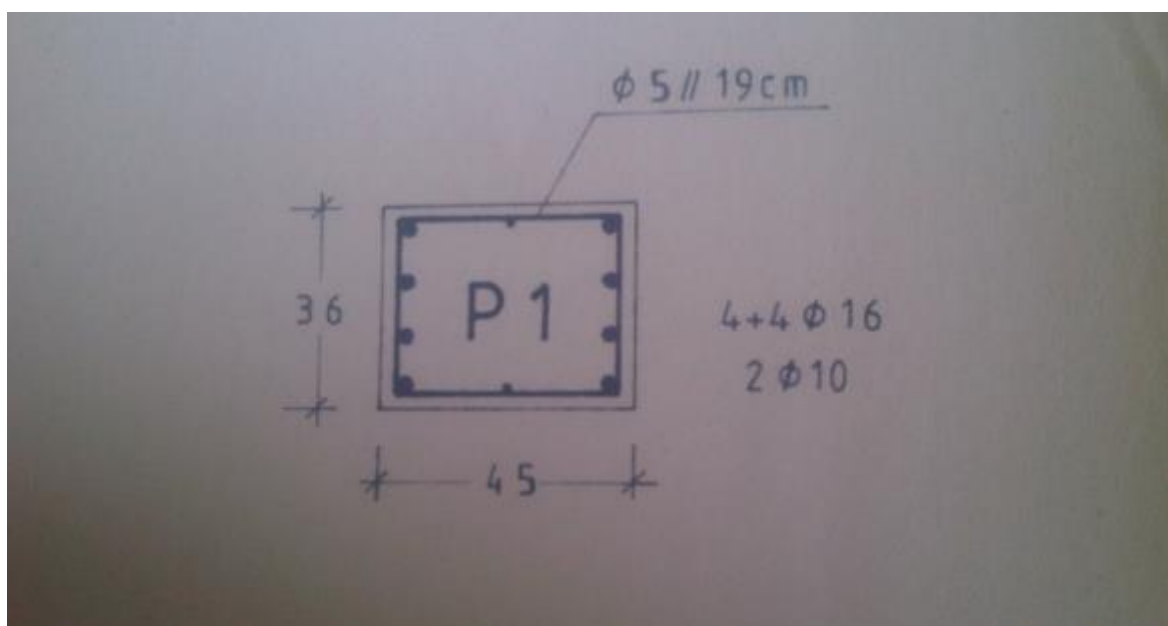


Figura 51 - Imagem do pormenor construtivo da armadura projetada para o pilar em análise (Arquivo Câmara Municipal de VN de Gaia).

Da análise do anteriormente exposto, é possível verificar que o recobrimento das armaduras ronda os 2 a 3 cm (Figura 50) contrariamente ao estipulado no projeto (Figura 51), armaduras da face menor já não apresentam o diâmetro de 16 mm mas sim diâmetros que variam entre os 8 e os 12 mm, desconhece-se a colocação na construção do diâmetro

estipulado. No entanto, a acelerada degradação das armaduras poderá estar na origem desta discrepância entre o avaliado e o projetado.

5.1.3.2 Ensaio esclerométrico digital (Proceq)

Para a realização do ensaio esclerométrico o equipamento utilizado foi o DIGI-SCHMIDT 2000 (Figura 52). Com a utilização deste equipamento pretende-se obter o índice Esclerométrico segundo o descrito na norma NP EN 12504-2. [12]

Este tipo de ensaio é de carácter não destrutivo, permitindo efetuar o ensaio em construções correntes de pontes e edifícios, com resistências compreendidas entre 20 a 60 MPa, segundo uma energia de impacto na ordem dos 2,2 Nm. As leituras efetuadas são registadas de forma automática, o que minimiza o erro face a outros instrumentos de leitura por parte do utilizador.



Figura 52 – Equipamento para o ensaio esclerométrico, DIGI-SCHMIDT 2000 (www.proceq.com).

A realização deste ensaio pressupõe a deteção prévia e marcação das armaduras utilizando o Ferro Scan (Figura 53). Esta marcação pressupõe a delimitação de uma área com as dimensões de 300 x 300 mm², por forma a realizar leituras em 9 pontos de impacto afastados entre si cerca 25 mm. À semelhança dos restantes ensaios foi necessário garantir a limpeza das superfícies, sendo que nos casos mais complexos recorreu-se ao uso de elemento abrasivo para desgaste da película superficial assegurando a sua planura.



Figura 53 – Exemplo de área em análise.

A realização do ensaio pressupõe que o embate do percutor ocorresse perpendicularmente à superfície, estando o instrumento na posição horizontal. Efetuada a leitura, o índice esclerométrico ficou registado no equipamento. (Figura 54)



Figura 54 - Ensaio esclerométrico do betão, DIGI – SCHIMDT 2000 (www.proceq.com).

Findas as leituras nos elementos assinalados, efetuou-se a transmissão dos dados para o computador, apresentando-se no Quadro 8 os valores obtidos:

Pilar	Valor das Leituras Efetuadas (N/mm ²)									Média das Leituras (N/mm ²)	Desvio Padrão (N/mm ²)
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9		
P1	26	24	40	42	33	35	40	33	38	34,6	6,3
P2	34	35	33	33	33	33	33	35	32	33,4	1,0
P3	33	31	31	33	33	36	32	31	33	32,6	1,6
P4	34	32	32	38	29	33	33	28	32	32,3	2,9
P5	32	30	31	43	40	44	31	29	32	34,7	5,9
P6	31	32	53	46	32	30	32	33	29	35,3	8,3
P7	35	36	38	38	37	36	39	41	41	37,9	2,1

Quadro 8 - Valores obtidos do índice esclerométrico nos elementos ensaiados.

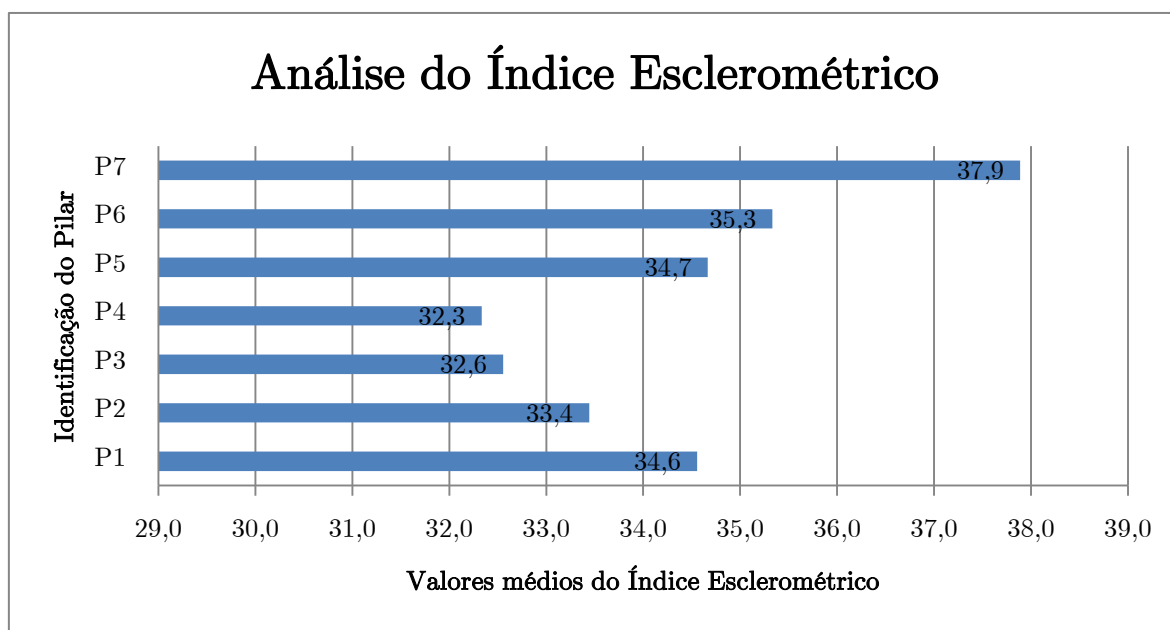


Gráfico 1 - Análise do Índice Esclerométrico.

Com base nos resultados obtidos (Gráfico 1) pretende-se obter o valor da resistência à compressão do elemento. Posto isto, é necessário analisar o gráfico da Figura 55, onde através do número de ressalto (R) e a posição em que o esclerómetro foi ensaiado, é possível a obter o valor da resistência à compressão do elemento.

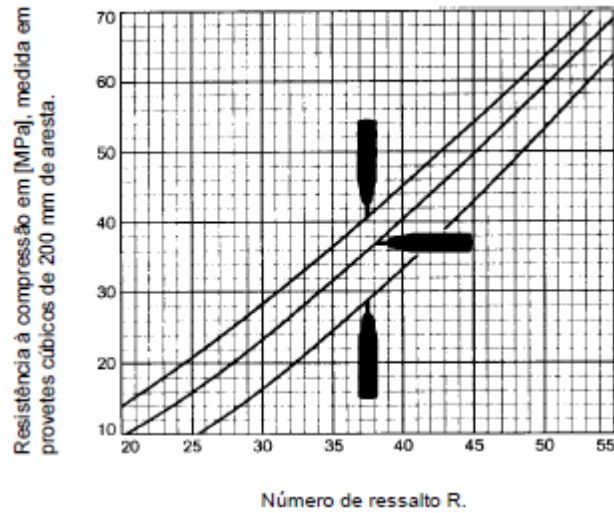


Figura 55 – Ábaco de correlação entre a resistência à compressão e o número de ressalto (modelo Tipo N) (www.oz-diagnostico.pt).

O Quadro 9 apresenta os resultados para a resistência à compressão (MPa) obtidos com base na correlação através da análise do número de ressalto (R) e a posição em que o esclerómetro foi ensaiado.

Elemento	Média das leituras (N/mm ²)	Resistência à compressão (MPa)
P1	35	32
P2	33	28
P3	33	28
P4	32	26
P5	35	32
P6	35	32
P7	38	36

Quadro 9 - Classes de resistência à compressão do betão obtidas através do ábaco de correlação entre a resistência à compressão e o número de ressalto (modelo Tipo N)

Tendo em conta os resultados obtidos através da consulta do ábaco de correlação entre a resistência à compressão e o número de ressalto (modelo Tipo N), efetuou-se o cálculo do valor médio para a resistência à compressão, obtendo-se o valor de 31 Mpa, a que corresponde um valor característico de 25 MPa.

Com base neste valor característico é possível concluir que o betão utilizado na execução destes elementos terá sido um C 20/25 com base no Quadro 10.

Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima em cilindros $f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)	Resistência característica mínima em cubos $f_{ck,cube}$ (N/mm ²)
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Quadro 10 – Classes de resistência à compressão do betão.

5.1.3.3 Ensaio de ultra sons em betão (Proceq)

A realização deste ensaio foi efetuada com o equipamento TICO da PROCEQ (Figura 56), segundo o método direto. Com a utilização deste equipamento pretende-se determinar a velocidade de propagação, entre dois pontos de medida, por forma a obter as características mecânicas e de homogeneidade. Estes ensaios foram realizados de acordo com as normas BS 1881 Parte 203 [13] e ASTM C 597 [14].



Figura 56 - Equipamento para o ensaio de ultra sons, TICO (www.ampri.res.in).

Antes de se efetuar as leituras houve a necessidade de preparação das superfícies dos elementos a ensaiar. Optou-se pela realização do ensaio utilizando o método direto visto que a adopção dos restantes métodos obrigaria à remoção das zonas em desagregação ou delaminadas essencialmente nas faces frontais dos pilares. Atendendo a que a autorização para a realização dos ensaios pressupôs a não danificação do existente, optou-se por adaptar o ensaio às condicionantes existentes, sem desviar do objetivo proposto de avaliar o estado dos elementos.

Os pontos de colocação dos transdutores deverão ser seleccionados de modo a evitarem-se juntas e irregularidades superficiais, bem como zonas da secção resistente onde a densidade de armaduras é elevada, que influenciem os resultados.

A realização deste ensaio implica uma análise prévia para deteção e marcação das armaduras na superfície do elemento em estudo.

Antes de se iniciarem as leituras e depois de a superfície devidamente preparada, procedeu-se à calibração do aparelho de ensaio, colocando dois transdutores em ambos os lados do tubo circular de aço de calibração. Para a correta calibração o aparelho deve indicar 20,6 μ s.

Para a realização do método direto, em cada zona de ensaio, foram executadas 5 medições em locais distintos (pontos da mesma face, afastados entre si pelo menos 20 cm), afastados tanto quanto possível das armaduras do elemento estrutural em ensaio.

Efetuada as medições necessárias, procedeu-se ao registo dos valores apresentados nos Quadro 11 e Quadro 12.

Elemento	Valor das Leituras Efetuadas (μs)					Média das Leituras (μs)	Desvio Padrão (μs)
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	158	117	115	237	115	148	53
P2	153	128	163	216	205	173	37
P3	445	304	617	626	628	524	145
P4	260	104	197	220	151	186	61
P5	195	593	190	268	269	303	167
P6	123	128	142	205	404	200	119
P7	115	132	123	348	126	169	100

Quadro 11 – Valores obtidos do tempo de propagação dos ultras sons nos elementos ensaiados.

Elemento	Valor das Leituras Efetuadas (m/s)					Média das Leituras (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	2210	3000	3050	1480	3050	2558	700
P2	2135	1790	2270	1620	1710	1905	282
P3	790	1150	570	560	560	726	257
P4	1580	3950	2743	1860	2720	2571	928
P5	1800	590	1840	1310	1300	1368	506
P6	2850	2740	2470	1710	870	2128	832
P7	3040	2660	2860	1010	2790	2472	829

Quadro 12 – Valores obtidos da velocidade de propagação dos ultra sons nos elementos ensaiados.

Velocidade de Propagação dos Ultra Sons (m/s)	Qualidade do Betão
>4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular
2000 a 3000	Medíocre
<2000	Mau

Quadro 13 – Valores referência para a velocidade de propagação dos ultra sons (*www.oz-diagnostico.pt*).

Analisando os valores médios do Quadro 12, e face aos valores referência do Quadro 13, é possível concluir o seguinte acerca da qualidade do betão dos elementos analisados:

- Qualidade do Betão Medíocre – Pilares P1, P4, P6 e P7;
- Qualidade do Betão Mau – Pilares P2, P3 e P5;

Face às conclusões obtidas torna-se evidente a necessidade de tomar providências para reabilitação dos elementos analisados, evitando a continuação da sua degradação.

5.1.3.4 Medição da resistividade do betão (Proceq Resipod)

Este ensaio não destrutivo permite efetuar a medição da resistividade da superfície do elemento de betão.

O equipamento utilizado trata-se de uma sonda Wenner, com 4 pontos de contato, RESIPOD, da PROCEQ, e está concebido para aferir a resistividade elétrica do betão.

A realização deste ensaio implica uma análise prévia para deteção e marcação das armaduras na superfície do elemento em estudo.

Previamente à execução do ensaio, as sondas devem ser mergulhadas num recipiente com água pressionando as mesmas para humedecimento e absorção de água pelos 4 pontos de contacto. A realização do ensaio pressupõe a colocação das sondas na diagonal à armadura do elemento em betão armado a inspecionar. De seguida, pressiona-se o equipamento

contra a superfície de modo a que seja aplicada uma corrente nas sondas das extremidades, e posterior medição da diferença de potencial pelas sondas internas. O valor da resistividade calculada varia em função do espaçamento das sondas.



Figura 57 - Equipamento para o ensaio de resistividade do betão, RESIPOD.

5.1.3.4.1 Estimativa da probabilidade de corrosão

As medições de resistividade podem ser utilizadas para estimar a probabilidade de corrosão. Quando a resistividade elétrica (ρ) do betão é baixa, a probabilidade de corrosão aumenta. Quando a resistividade elétrica é alta, no caso de betão seco e carbonatado, a probabilidade de corrosão diminui. Com base em testes empíricos, obtiveram-se os seguintes valores típicos para a resistividade medida que podem ser usados para determinar a probabilidade de corrosão. Estes valores são para cimento Portland comum a 20°C. [15]

- Quando $> 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Risco de corrosão insignificante
- Quando $= 50 \text{ to } 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Risco de corrosão baixo
- Quando $= 10 \text{ to } 50 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Risco de corrosão moderado
- Quando $< 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Risco de corrosão elevado

5.1.3.4.2 Indicação da taxa de corrosão

A seguinte interpretação das medições de resistividade do sistema de quatro sondas pelo método de Wenner tem sido citada com relação ao aço despassivizado (Langford and Broomfield, 1987) [14].

- Quando $> 20 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Taxa de corrosão baixa
- Quando $= 10$ a $20 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Taxa de corrosão baixa a moderada
- Quando $= 5$ a $10 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Taxa de corrosão alta
- Quando $< 5 \text{ k}\Omega\text{cm}$ - Taxa de corrosão muito alta

Pilar	Valor das leituras efetuadas ($\text{k}\Omega\text{cm}$)					Média das leituras ($\text{k}\Omega\text{cm}$)	Desvio padrão ($\text{k}\Omega\text{cm}$)
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	12,1	10	13,7	13,1	12,5	12	1
P2	17,8	17,4	13,2	14,6	15,2	16	2
P3	13,6	18,9	15,5	12,3	13	15	3
P4	10,8	6,66	11,9	9,16	12,9	10	2
P5	11,9	7,5	13,1	8,4	5,9	9	3
P6	12,9	12,7	17,6	17,6	16,1	15	2
P7	19,4	12,6	15,3	14,4	12,1	15	3

Quadro 14 – Valores obtidos da resistividade nos elementos ensaiados.

Analisando os valores médios do Quadro 14, e comparando com os valores referência dos pontos 5.2.6.4.1 e 5.2.6.4.2, é possível aferir o seguinte:

- Risco de corrosão
 - Risco de corrosão moderado – Pilares P1, P2, P3, P4, P6 e P7;
 - Risco de corrosão elevado – Pilares P5;
- Taxa de corrosão
 - Taxa de corrosão baixa a moderada – Pilares P1, P2, P3, P4, P6 e P7;
 - Taxa de corrosão alta – Pilares P5;

Tendo em conta os valores obtidos, torna-se evidente a necessidade de tomar providências para reabilitação dos elementos analisados, evitando a continuação da sua degradação.

Os elementos da estrutura encontram-se no limite das suas propriedades, caminhando a passos largos para uma degradação tal, que poderá ser irreversível a sua recuperação e reparação. Urge a tomada de medidas para minimização dos danos existentes.

5.1.3.5 Detecção da corrosão das armaduras (Proceq Canin +)

A deteção da corrosão das armaduras resulta da medição do campo potencial através da medição dos potenciais na superfície do betão para determinação de uma imagem característica do estado de corrosão da superfície do aço no interior do betão. Através da combinação do potencial e da medição da resistividade obtêm-se com maior exatidão informações sobre a condição de corrosão das armaduras.

Para realização do ensaio, o equipamento utilizado foi o CANIN +, da PROCEQ, que apresenta dois métodos para investigar e avaliar a corrosão do aço em betão armado. Um dos métodos, é o do potencial de corrosão de meia célula, ou seja, efetuar medições precisas de potencial de campo ajuda a detetar corrosão ativa em armaduras.

A realização deste ensaio implica uma análise prévia para deteção e marcação das armaduras na superfície do elemento em estudo.

Aproximadamente 10 a 20 minutos antes de se iniciar as medições houve a necessidade de humedecer a superfície em estudo, assim como os pontos de contacto das sondas de forma a garantir o correto contacto entre a superfície e as sondas do aparelho de medição. Durante este período e por forma a certificar o correto funcionamento do aparelho, efetuou-se a medição numa placa de potenciais elétricos, para aferição e obtenção de um valor de potencial elétrico padrão.

Garantidas as premissas anteriores, procedeu-se à colocação da sonda encostada à superfície até à obtenção de uma leitura estável. A realização do ensaio pressupõe a realização de 5 leituras do mesmo local, movimentando a sonda alguns milímetros entre medições, efetuando uma média com os valores obtidos. É necessário garantir um bom contato entre os eléctrodos e o betão para que o fluxo de corrente não seja reduzido. Se a condutividade do betão for diminuta ocorre o mesmo fenómeno, ou seja, ocorre uma redução do fluxo de corrente.

O indicador de fiabilidade das leituras é fornecido pelos seguintes parâmetros:

Intervalo de Confiabilidade	Grau de Confiabilidade
50% a 100%	Confiável
20% a 50%	“Valor não Exato”
0% a 20%	Contacto bastante deficiente (Resistência > 99 kΩcm)

Quadro 15 – Valores do indicador de fiabilidade do fabricante para o equipamento utilizado.

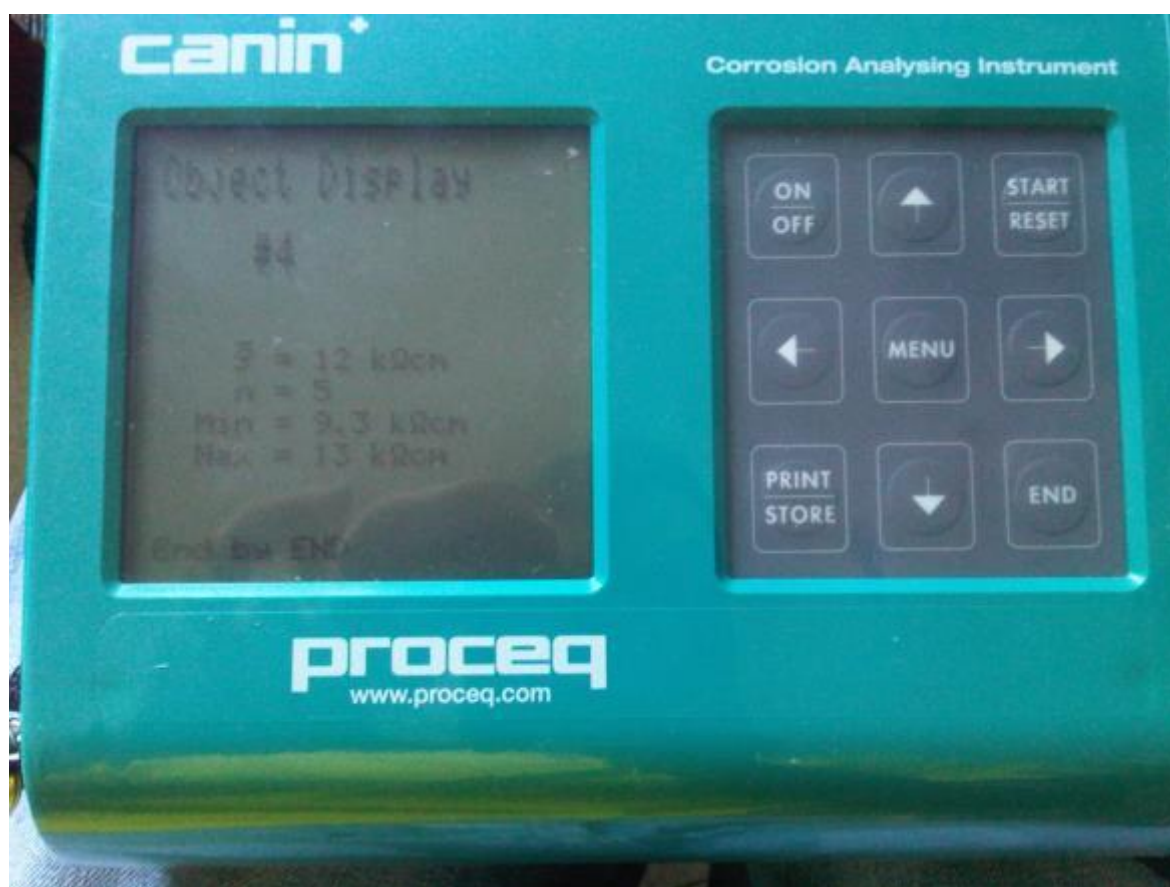


Figura 58 - Detecção da corrosão das armaduras, CANIN +.

Segundo os testes empíricos chegaram aos valores limite a seguir que podem ser usados para determinar a probabilidade de corrosão:

- Quando $> 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ a corrosão é improvável;
- Quando $= 8$ a $12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ a corrosão é possível;
- Quando $< 8 \text{ k}\Omega\text{cm}$ a corrosão é quase certa

Pilar	Valor das leituras efetuadas ($\text{k}\Omega\text{cm}$)					Média das leituras ($\text{k}\Omega\text{cm}$)	Desvio padrão ($\text{k}\Omega\text{cm}$)
	L1	L2	L3	L4	L5		
P1	9,3	12	12	13	13	12	2
P2	14	13	12	13	13	13	1
P3	14	13	12	13	13	13	1
P4	7	13	12	13	12	11	3
P5	13	12	14	11	7	11	3
P6	11	13	13	13	14	13	1
P7	15	19	14	13	18	16	3

Quadro 16 - Valores obtidos da medição da resistividade

Analisando os valores médios do **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, e comparando com os valores referência anteriormente apresentados, é possível concluir o seguinte:

- Corrosão é improvável – Pilares P1, P2, P3, P6 e P7;
- Corrosão é possível – Pilares P4 e P5;

Os resultados obtidos para este ensaio carecem de validação, uma vez que as conclusões no sentido de uma corrosão improvável não condizem com a realidade. Face ao estado da estrutura, apenas se podem associar estes valores como válidos para as zonas em que não ocorreu o destacamento e/ou desagregação do recobrimento, estando as armaduras protegidas dos fatores externos.

5.1.4 Conclusões da inspeção da estrutura

Através da deteção de armaduras, foi possível verificar que o recobrimento das armaduras ronda os 2 a 3 cm em vez dos 5 cm estipulados, e que as armaduras dos pilares colocadas na face menor já não apresentam o diâmetro de 16 mm mas sim diâmetros que variam

entre os 8 e os 12 mm, desconhecendo-se a colocação na construção do diâmetro estipulado. No entanto, a acelerada degradação das armaduras poderá estar na origem desta discrepância entre o avaliado e o projetado.

A realização do ensaio esclerométrico, assim como os resultados obtidos permitiram concluir que o betão utilizado na execução destes elementos terá sido da classe C 20/25.

O diagnóstico efetuado com recurso ao equipamento de ultra sons, balizou o estado do betão entre mau e medíocre, pelo que se torna evidente a necessidade de tomar providências para a reabilitação dos elementos analisados, evitando a continuação da sua degradação.

A medição da resistividade do betão permitiu aferir que as probabilidades de ocorrência de corrosão são consideráveis, ou seja, os elementos da estrutura encontram-se no limite das suas propriedades, caminhando a passos largos para uma degradação tal que poderá ser irreversível a sua recuperação e reparação. Urge a tomada de medidas para minimização dos danos existentes.

A medição da resistividade das armaduras levantou bastantes dúvidas, uma vez que as conclusões no sentido de uma corrosão improvável não condizem com a realidade. Face ao estado da estrutura, apenas se podem associar estes valores como válidos para as zonas em que não ocorreu o destacamento ou desagregação do recobrimento, estando as armaduras protegidas dos fatores externos.

Para além dos resultados e respetivas conclusões apresentados, foi possível verificar que as superfícies do betão estão extremamente porosas e com uma elevada capacidade de absorção. Tais factos remetem para que a curto médio/prazo a corrosão se torne muito mais provável de ocorrer, por força da penetração da água e/ou humidade que atingirá as armaduras desencadeando o processo de corrosão das mesmas.

Para além dos aspetos diagnosticados, é de ressaltar a falta de impermeabilização da cobertura do edifício que permite a infiltração de água e/ ou humidade na secção de topo dos elementos avaliados, assim como os fenómenos de humidade ascendente na secção da base, fenómenos que contribuem para acelerar degradação da estrutura. Para além das reparações dos elementos de betão armado, o edifício deverá ser objeto de intervenções ao

nível do sistema de drenagem de águas pluviais na cobertura e do saneamento dos pavimentos térreos.

5.2 Decisão sobre os objetivos da proteção e da reparação

A decisão relativamente aos objetivos de proteção e de reparação da estrutura de betão armado em estudo deve garantir a reposição das características da estrutura à data da sua construção.

Tendo por base os resultados obtidos é óbvio que a intervenção primária deverá passar pelo controlo da corrosão das armaduras expostas ao meio ambiente. Existem alguns locais aonde o aproveitamento da armadura existente não é possível, pelo que será necessário proceder á sua substituição pontual.

A reparação do betão será uma intervenção a realizar à posteriori das armaduras, no entanto não menos importante. Os princípios utilizados na reparação do betão deverão garantir uma homogeneidade entre o existente e o novo, assegurar uma correta adesão do material, assim como garantir o recobrimento suficiente para proteção das armaduras anteriormente reparadas.

Após reparação da estrutura de betão armado na sua totalidade urge avaliar e monitorizar o seu desempenho no tempo, por forma a garantir a eficácia da intervenção realizada. No entanto a reparação da estrutura de betão armado poderá ser finalizada por uma proteção superficial do betão armado por forma a garantir uma resistência superior aos ataques do meio ambiente.

5.3 Seleção dos princípios adequados para a proteção e reparação

Segundo o guia ilustrado de produtos e sistemas para a reparação do betão da BASF, os métodos e princípios descritos na norma EN 1504 baseiam-se em boas práticas que apresentam um registo histórico de sucesso de muitos anos. No entanto, deve referir-se que outros métodos podem ser utilizados, ou podem ser necessários em certas condições específicas. Os métodos para a reparação e proteção de estruturas de betão detalhados na norma EN 1504 parte 9 estão agrupados em 11 princípios que estão relacionados com a degradação da matriz de betão e/ou defeitos causados pela corrosão das armaduras.

Posto isto, e de acordo com as especificações da BASF apresentam-se no Quadro 17 os princípios propostos.

Princípio	Definição do princípio
Princípio 1 [PI]	<p>Proteção contra o ingresso</p> <p>Redução ou prevenção da absorção de agentes agressivos.</p> <p>Ex: água, outros líquidos, vapor, gás químicos e agentes biológicos.</p>
Princípio 2 [CH]	<p>Controlo de Humidade</p> <p>Ajuste e manutenção do teor de humidade no betão dentro da gama de valores especificada.</p>
Princípio 3 [RB]	<p>Reparação de betão</p> <ul style="list-style-type: none"> • Restituição do betão original de um elemento da estrutura à sua forma e função específica originais. • Restituição da estrutura do betão por substituição de uma parte do mesmo.
Princípio 4 [RE]	<p>Reforço estrutural</p> <p>Aumento ou restituição da capacidade de carga de um elemento da estrutura de betão.</p>

Princípio	Definição do princípio
Princípio 5 [RF]	Resistência física Aumento da resistência a ataques físicos ou mecânicos
Princípio 6 [RQ]	Resistência química Aumento da resistência da superfície do betão à degradação por ataque químico.
Princípio 7 [RP]	Preservação ou restauração da passividade Criação de condições químicas em que a superfície da armadura possa manter ou voltar a adquirir a sua condição passiva.
Princípio 8 [AR]	Aumento da resistividade Aumento da resistividade elétrica do betão.
Princípio 9 [CC]	Controlo catódico Criação de condições em que as áreas potencialmente catódicas da armadura são incapazes de produzir uma reação anódica.
Princípio 10 [PC]	Proteção catódica Criação de condições em que as áreas potencialmente catódicas da armadura são incapazes de participar numa reação de corrosão.
Princípio 11 [CA]	Controlo de áreas anódicas Criação de condições em que as áreas potencialmente anódicas da armadura são incapazes de participar numa reação de corrosão.

Quadro 17 - Princípios que estão relacionados com a degradação da matriz de betão e/ou defeitos causados pela corrosão das armaduras.

5.4 Seleção de métodos

Com base nos princípios da degradação da matriz de betão ou defeitos causados pela corrosão das armaduras, é necessário especificar os métodos correspondentes aos 11 princípios detalhados na norma EN 1504 parte 9, identificando os produtos associados nos Quadro 18, Quadro 19, Quadro 20 e Quadro 21.

Princípio	Métodos baseados no princípio	Produtos recomendados
Princípio 1 [PI]	1.1 Impregnação	Masterseal® 501
	1.2 Revestimentos de superfícies com e sem capacidade de execução de pontes de fissuras	
	1.3 Bandas locais para fissuras	Masterflex® 3000
	1.4 Preenchimento de fissuras	Concresive® Materiais de injeção
	1.5 Transferência da fissuração para as juntas	Masterflex® 462TF / 468 / 472 / 474 / 700
	1.6 Montagem de painéis externos	Não aplicável
	1.7 Aplicação de membranas	Conipur® / Conideck® Membranas
Princípio 2 [CH]	2.1 Impregnação hidrofóbica	Masterseal® 303
	2.2 Revestimento superficial	Masterseal® F1120 / F11 31 - 136 / 138 / 190 / 531 / 5 50 / 588
	2.3 Resguardo e revestimento	Não aplicável
	2.4 Tratamento eletroquímico	Não aplicável

Quadro 18 - Métodos correspondentes aos princípios 1 e 2 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.

Princípio	Métodos baseados no princípio	Produtos recomendados
Princípio 3 [RB]	3.1 Aplicação manual de argamassa	Emaco® Nanocrete R4 / R3 / R2 / FC
	3.2 Reposição com betão	Emaco® Nanocrete R4 Fluid
	3.3 Projeção de betão ou argamassa	Emaco® Nanocrete R4 / R3
	3.4 Substituição de elementos	Não aplicável
Princípio 4 [RE]	4.1 Adição ou substituição de barras de aço para reforço embebidas ou externas	Não aplicável
	4.2 Instalação de barras de reforço aderidas em orifícios perfurados ou pré-formados no betão	Não aplicável
	4.3 Aderência de laminados	Sistemas MBrace® e adesivos Concresive®
	4.4 Adição de argamassa ao betão	Emaco® Nanocrete
	4.5 Injeção de fissuras, vazios e fendas	Concresive®
	4.6 Enchimento de fissuras, vazios e fendas	Materiais de injeção
	4.7 Pré-esforço (pós-tensão)	<i>Não aplicável</i>
Princípio 5 [RF]	5.1 Coberturas e revestimentos	Mastertop® Sistemas de pavimentos
	5.2 Impregnação	

Quadro 19 - Métodos correspondentes aos princípios 3 a 5 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.

Princípio	Métodos baseados no princípio	Produtos recomendados
Princípio 6 [RQ]	6.1 Coberturas e revestimentos	Conipur® / Conideck® Revestimentos
	6.2 Impregnação	Não aplicável
Princípio 7 [RP]	7.1 Aumento do recobrimento das armaduras com adição de betão ou argamassa cimentosa	
	7.2 Substituição de betão contaminado ou carbonatado	Emaco® Nanocrete R4 / R3 / R4 Fluid
	7.3 Re-alcalização do betão carbonatado por difusão	Não aplicável
	7.4 Re-alcalização eletroquímica do betão carbonatado	Masterseal® 550 / 588
	7.5 Extração eletroquímica de cloretos	Não aplicável
Princípio 8 [AR]	8.1 Limitação do teor de humidade por tratamentos de superfície, revestimentos ou coberturas	
Princípio 9 [CC]	9.1 Limitação do teor de oxigénio (no cátodo) por saturação ou revestimento da superfície	
Princípio 10 [PC]	10.1 Aplicação de potencial elétrico	Emaco® CP 10 Emaco® CP 30 Emaco® CP 60 Emaco® CP 15 Grout

Quadro 20 - Métodos correspondentes aos princípios 6 a 10 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.

Princípio	Métodos baseados no princípio	Produtos recomendados
Princípio 11 [CA]	11.1 Pintura das armaduras com revestimentos que contenham pigmentos ativos	
	11.2 Pintura das armaduras com revestimentos de barreira	Emaco [®] Epoxiprimer BP
	11.3 Aplicação de inibidores sobre o betão	Protectosil CIT

Quadro 21 - Métodos correspondentes ao princípio 11 da norma EN 1504 parte 9 com identificação dos produtos associados.

5.5 Definição das propriedades dos produtos e sistemas;

A identificação, o desempenho, a durabilidade dos materiais e a segurança dos produtos a utilizar para a reparação do betão encontram-se especificados na norma EN 1504.

Tendo em conta o caso de estudo, de seguida apresentar-se-á uma identificação dos princípios, métodos e produtos a aplicar na reparação da estrutura, especificando as características e requisitos para a reparação do betão degradado.

5.5.1 Reparação do betão e preservação ou restauração da passividade

Para a reparação do betão, os campos de aplicação são os seguintes:

- Princípio 3 – Reparação do betão
 - Método 3.1 – Aplicação manual de argamassa ou betão;
 - Método 3.2 – Nova betonagem;
 - Método 3.3 – Projeção de argamassa ou betão.
- Princípio 7 – Preservação ou restauração da passividade
 - Método 7.1 – Aumento do recobrimento com argamassa ou betão;
 - Método 7.2 – Substituição do betão contaminado;

A seleção da qualidade do material de reparação do betão está interligada com a qualidade do betão específico em cada intervenção, para que a reparação permita alcançar o resultado pretendido.

De acordo com o especificado apresenta-se de seguida as especificações para as características e requisitos de desempenho dos produtos de reparação do betão.

De acordo com especificações da norma EN 1504 existem 4 classes de argamassa de reparação R4, R3, R2 e R1, posteriormente divididas em argamassas de reparação estrutural e não-estrutural. Existe ainda uma subdivisão destas argamassas conforme o tipo de aplicação pretendido, ou seja, em argamassas de elevada resistência ou elevado módulo de elasticidade e baixa resistência ou baixo módulo de elasticidade.

A subdivisão das diferentes classes não está relacionada com os desempenhos dos produtos de reparação, uma vez que a classe da argamassa de reparação indica o campo de aplicação do produto, tal como:

- Classe R4 - Argamassa de reparação de elevada resistência e/ou elevado módulo de elasticidade para reparação de betão de elevada resistência sujeito a cargas elevadas;
- Classe R3 - Argamassa de reparação de média resistência e/ou médio módulo de elasticidade para reparação de betão de baixa resistência sujeito a cargas;
- Classe R2 e R1 - Argamassa de reparação não estrutural para reparação de betão onde não ocorra a transferência de cargas para a zona a reparar;

Para além da escolha da classe mais adequada, é extremamente importante especificar e definir as condições climatéricas e atmosféricas a que o produto vai estar exposto. Para estas especificações, a durabilidade dos produtos é determinada pelos ensaios considerados relevantes, assim como as classes de exposição.

Para compreensão dos elementos anteriormente mencionados apresenta-se o Quadro 22, onde se efetua uma correlação entre as características de desempenho pretendidas e o método de reparação mais adequado.

Características de desempenho	Princípio de reparação 3	
	Método de reparação	
	3.1; 3.2	3.3
✓ Para todas as utilizações ❖ Para certas utilizações		
Resistência à compressão	✓	✓
Teor de cloretos	✓	✓
Aderência	✓	✓
Retração/expansão impedidas	✓	✓
Durabilidade - Resistência à carbonatação	✓	✓
Durabilidade compatibilidade térmica	❖	❖
Ciclos de gelo/degelo, térmicos com chuva e a seco	❖	❖
Módulo de elasticidade	❖	❖
Resistência ao deslizamento	❖	❖
Coefficiente de dilatação térmica	❖	❖
Absorção capilar (permeabilidade à água)	❖	❖

Quadro 22 - Características de desempenho dos produtos de reparação do betão.

Depois de apresentada a correlação entre as características de desempenho pretendidas e o método de reparação mais adequado, é necessário garantir que o desempenho das argamassas de reparação respeite o especificado no Quadro 23.

Características de desempenho		Requisito (Quadro 3 da EN 1504 parte 3)	
		Classe R4	Classe R2
Resistência à compressão	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 15 MPa
Teor de cloretos	EN 1015-17	≤ 0,05 %	
Aderência	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 0,8 MPa
Retração/ Expansão impedidas	EN 12617-4	Resistência de colagem após ensaio	
		≥ 2,0 MPa	≥ 0,8 MPa
Durabilidade - Resistência à carbonatação	EN 13295	$d_k \leq$ betão de controlo (MC(0,45))	Sem requisito
Durabilidade - Compatibilidade térmica Ciclos gelo/degelo	EN 12617-4	Resistência de colagem após 50 ciclos	
		≥ 2,0 MPa	≥ 0,8 MPa
Durabilidade - Compatibilidade térmica Ciclos térmicos com chuva	EN 12617-4	Resistência de colagem após 30 ciclos	
		≥ 2,0 MPa	≥ 0,8 MPa
Durabilidade - Compatibilidade térmica Ciclos térmicos sem chuva	EN 12617-4	Resistência de colagem após 30 ciclos	
		≥ 2,0 MPa	≥ 0,8 MPa
Módulo de elasticidade	EN 13412	≥ 20 GPa	Sem requisito
Resistência ao deslizamento	EN 13036-4	Classe I > 40 unidades ensaiadas molhadas Classe II > 40 unidades ensaiadas secas Classe III > 55 unidade ensaiadas molhadas	
Absorção capilar (permeabilidade à água)	EN 13057	≤ 0.5 kg/m ² .h ^{0.5}	≤ 0.5 kg/m ² .h ^{0.5}

Quadro 23 - Requisitos de desempenho dos produtos de reparação do betão.

5.5.2 Proteção contra a corrosão das armaduras

A especificação dos requisitos de identificação, desempenho e durabilidade de produtos e sistemas utilizados na proteção de armaduras de aço para reparação de estruturas de betão consta da parte 7 da EN 1504. Para o tratamento das armaduras são apresentados dois tipos de produtos:

- Revestimentos Ativos
- Revestimentos Barreira

A reparação e proteção das armaduras deve ser efetuada segundo a EN 1504 Parte 9, de acordo com:

- Princípio 11 – Controlo das áreas anódicas
 - Método 11.1 – Pintura das armaduras com revestimentos que contenham pigmentos ativos
 - Método 11.2 – Pintura das armaduras com revestimentos barreira.

A seleção do sistema de revestimento deve ser efetuada de acordo com uma avaliação às causas de degradação segundo os princípios e métodos mais adequados para proteção e reparação da ENV 1504-9.

Relativamente ao princípio de reparação e proteção das armaduras apresentam-se dois tipos de revestimentos:

5.5.2.1 Revestimentos ativos para armaduras

Revestimentos com cimento Portland ou pigmentos electroquimicamente ativos, que podem funcionar como inibidores, assim como garantir proteção catódica localizada. No caso do cimento Portland, trata-se de um pigmento ativo devido à sua elevada alcalinidade, sendo designado como um primário de base cimentosa para as armaduras.

5.5.2.2 Revestimentos de barreira para armaduras

Revestimentos que permitem isolar a armadura da água e/ou humidade proveniente dos poros da matriz cimentosa envolvente, designando-se o primário de base polimérica para armaduras.

É de notar que este tipo de proteção não abrange a reparação e proteção em armaduras de aço pré-esforçado e/ou aço inoxidável.

5.6 Especificação dos requisitos de manutenção após os trabalhos de proteção e reparação.

É de notar que este tipo de estrutura face ao seu atual estado irá necessitar de manutenção e reparações periódicas, tendo em conta o meio onde está inserido assim como o tipo de utilização a que se destina. Essas mesmas ações de manutenção e reparação apresentam as mais diversas formas de execução, cabendo às entidades responsáveis pela gestão dos equipamentos ajustar essas ações às necessidades e aos objetivos pretendidos.

Por outro lado, estas manutenções poderão ser evitadas e/ou proteladas no tempo, caso sejam efetuados os trabalhos sugeridos e preconizados sob o ponto de vista do rigor e cumprimento das condições técnicas especificadas

Como na generalidade dos casos os serviços de manutenção e reparação são necessários, sugere-se que no período de reparação da estrutura seja elaborado um plano de manutenção que abarque conteúdo suficiente para minimizar ao máximo os efeitos de degradação a que a estrutura se encontra sujeita.

Este plano de manutenção e reparação deverá definir a periodicidade das inspeções visuais, inspeções de diagnóstico, medidas preventivas e condições técnicas de reparação para casos mais urgentes e comuns.

5.7 Condições Técnicas de Reparação

As condições técnicas para reparação dos elementos de betão armado seguem as indicações e especificações descritas na norma EN 1504 que define produtos e sistemas para proteção e reparação das estruturas de betão.

5.7.1 Preparação das Superfícies

5.7.1.1 Limpeza do betão

A limpeza do betão poderá funcionar como preparação da superfície consoante o grau da anomalia.

Uma das soluções para a limpeza do betão passa pela decapagem com recurso a jato de água a alta pressão dos elementos de betão armado de modo a realizar uma limpeza eficaz ou remoção superficial do betão até uma profundidade de 2 mm, dependendo do grau da anomalia dos elementos.

5.7.1.2 Ponte química e aderência entre materiais

Finda a limpeza da superfície do betão é necessário proceder à criação de rugosidade no substrato com recurso a um martelo de agulhas. Este procedimento visa garantir uma boa aderência entre a superfície existente e o material a utilizar na reparação.

5.7.1.3 Remoção do betão degradado

A execução dos trabalhos de remoção do betão deteriorado carece de precaução, sob pena de comprometer a segurança da estrutura. A leitura e marcação prévia da localização das armaduras são fundamentais para que estas não sejam danificadas.

O betão deteriorado, solto ou em desagregação deve ser removido numa profundidade mínima de 15 mm, caso exista contaminação por cloretos deverá ser removido até 20 mm para além das armaduras. Sendo que a distância de remoção deve variar entre 50 e 100 mm.

Para além do anteriormente descrito é necessário proceder à remoção de todos os fragmentos de ferros de amarração, pregos e outros elementos metálicos visíveis.

A remoção do betão deve ser a mínima possível e as áreas a reparar devem ser modificadas de modo à implementação de formas simples para uma correta execução. Por forma a minimizar a área de remoção utiliza-se o método de corte que visa delimitar o contorno da área de reparação, facilitando a remoção do betão deteriorado com o auxílio de outro método com base numa lavagem a jato de água de elevada pressão, cerca de 60 MPa.

Os bordos do betão deverão ser cortados com um ângulo mínimo de 90° e um ângulo máximo de 135 ° para reduzir a possibilidade de transbordar sobre a superfície do betão adjacente sólido e deverão ser tornados suficientemente rugosos de forma a fornecer boa ligação entre o material original e o produto de reparação.

De forma a garantir a remoção das impurezas resultantes das operações anteriormente descritas será lavada a área da remoção com jato de água de alta pressão.

Por fim, todos os elementos de betão armado deverão ser inspecionados para certificação que todas as etapas foram cumpridas.

5.7.1.4 Preparação das armaduras

Na preparação das armaduras deve-se remover a ferrugem, argamassa, betão, poeira ou outros detritos que reduzem a aderência e contribuem para a corrosão. Toda a superfície exposta deve ser uniformemente limpa, exceto se considerações estruturais não o permitirem.

As armaduras devem ser limpas sem lhes causar danos ou danificar ou contaminar o betão ou o ambiente adjacente, com auxílio de uma escova de aço ou outro processo abrasivo. A menos que a limpeza seja feita imediatamente antes da aplicação dos produtos e sistemas de proteção, os substratos devem ser limpos e protegidos de contaminação.

A técnica de limpeza depende das armaduras e da extensão a limpar. Em pequenas extensões, uma limpeza manual é suficiente por exemplo com esfregão de aço. Em grandes extensões, o jato de areia é um método eficiente.

Nos casos em que existe perda significativa de secção de um varão (mais de 25%), é necessário proceder-se ao seu reforço. Os varões devem ser colocados com comprimento equivalente à zona de perda significativa de secção mais o comprimento da emenda para cada lado. Para além deste método podem ser ligados aos varões existentes por soldadura ou acoplação mecânica.

5.7.2 Reparação do betão com corrosão ativa das armaduras

5.7.2.1 Aplicação nas superfícies das armaduras de proteção do aço contra a corrosão

Para aplicação de proteção do aço contra a corrosão optou-se pelo revestimento dos varões de aço através de um primário de epóxi e pó de zinco para o aço, pois é um material menos expansivo, ligeiramente mais solúvel que o óxido de ferro, possibilitando o alojamento na interface aço-betão, diminuindo as tensões e consequentes fissurações.

O produto escolhido é da marca BASF – Emaco Epoxiprimer BP. É um revestimento à base de ponte de união epóxi e primário de barreira para a proteção de armaduras, a dois componentes, com funções de promotor de aderência e de proteção anticorrosiva.

Os seus campos de aplicação são a união entre betão novo e betão velho, ponte de união entre betão e argamassa de reparação, a proteção contra a corrosão das armaduras de aço, assim como em casos onde o aço está visível e o recobrimento de betão é inferior a 10mm.

5.7.3 Reparação do betão com delaminação ou escamação superficial

5.7.3.1 Aplicação de argamassa em zonas degradadas

Aplicação da argamassa de reparação da BASF - Emaco S 88, é uma argamassa tixotrópica de elevada compatibilidade, para reparações estruturais, à base de cimento, agregados selecionados, adjuvantes especiais e fibras sintéticas de poliacrilonitrilo.

A superfície da base deve estar limpa, sã, isenta de partículas em desagregação, leitadas superficiais, isenta de gorduras, óleos e pinturas, assim como o mais regularizada possível. O substrato deve apresentar alguma rugosidade.

A aplicação pode ser realizada manualmente, seguindo procedimentos tradicionais ou mecânicos, com recurso a uma espátula ou por projeção. No caso de se aplicar sobre ponte de união, a aplicação deverá realizar-se enquanto a mesma esteja ainda fresca.

Para assegurar um bom desempenho a argamassa fresca deve ser protegida da desidratação prematura, utilizando os métodos de cura adequados.

5.7.3.2 Aplicação nas superfícies de betão de proteção contra a corrosão

Face à avaliação efetuada ao betão não degradado e/ou destacado, verificou-se o seu estado poroso. Posto isto, é aconselhável aplicação de um produto com características inibidoras de corrosão.

De modo a garantir um tratamento deste género, propomos aplicação do produto BASF – Masterseal 303, é uma impregnação hidrofóbica, que penetra na superfície e repele a água e componentes agressivos nela misturados, como os cloretos e poluição reduzindo o aparecimento de eflorescências, fungos, entre outros.

A aplicação do produto consiste geralmente em 1 a 2 demãos, sendo necessário proteger as superfícies impregnadas do contacto com a água durante o período mínimo de 4 horas.

É necessário garantir que as superfícies de aplicação se encontrem limpas, firmes, rugosas e isentas de óleos, gorduras, pinturas, restos de óleos descofrantes, pó, musgo, salitre, etc.

5.7.4 Reparação do betão com delaminação superficial com exposição de armaduras

5.7.4.1 Aplicação nas superfícies das armaduras de proteção do aço contra a corrosão

A aplicação de proteção do aço contra a corrosão deverá ser efetuada de acordo com o estipulado no item 5.8.2.1.

5.7.4.2 Aplicação de argamassa de regularização e selagem

Para regularização e selagem das superfícies sugere-se aplicação do produto BASF Emaço NanoCrete R4, argamassa de reparação estrutural fibro-reforçada, de retração compensada que garante elevada resistência estrutural, boa resistência à carbonatação e à ação dos sulfatos.

Preconizou-se que a aplicação desta argamassa de regularização seja efetuada em todo o perímetro e extensão exterior dos elementos de betão armado, tendo como função aumentar a espessura de recobrimento e proteger o betão contra a penetração de substâncias agressivas.

A aplicação de argamassa será efetuada segundo os procedimentos tradicionais ou mecânicos, utilizando equipamento de projeção húmida.

Para o processo de cura é conveniente efetuar a proteção das superfícies com uma sarapilheira molhada durante 2 ou 3 dias.

5.7.4.3 Aplicação de revestimento de proteção e acabamento

Por forma a efetuar a proteção e acabamento dos elementos de betão preconiza-se aplicação de um revestimento elástico para proteção de elementos de betão contra a carbonatação, do tipo Masterseal 325 E.

Este revestimento terá a função de proteger o betão contra a água líquida e gases como CO₂ e SO₂, outras substâncias como cloretos, resistente aos raios ultra violetas, entre outros.

No que diz respeito à preparação da base é necessário garantir que se encontre seca, sólida e isenta de sujidade, gordura e partículas em desagregação.

O período de secagem dos barramentos cimentosos deve ser de pelo menos 4 dias antes de iniciar a pintura.

Pode ser aplicado com pincel, trincha, rolo de pelo curto ou por projeção, com pistola, de acordo com as especificações do fabricante.

5.7.5 Reparação do betão com fissuração superficial passiva

5.7.5.1 Aplicação de resina epóxi de injeção nas fissuras, aberturas e fendas

A reparação do betão fissurado poderá ser executada utilizando resina epóxica de injeção, Concrecive 50 Poxy, da BASF, sistema epóxido com dois componentes, de baixa viscosidade e grande capacidade de penetração capilar, por isso é recomendada para injeção em fissuras e poros. Previamente à aplicação das resinas deve-se proceder à remoção do betão deteriorado e limpeza das fissuras com ar comprimido ou jato de água.

Nos casos em que a fenda é muito profunda, dever-se-á garantir um afastamento entre tubos para injeção o mais reduzido possível, por forma a minimizar as pressões resultantes da injeção que são muito elevadas. A selagem estanque da superfície da fissura deve ser realizada com uma camada fina de argamassa epoxídica que possua capacidade de suportar a pressão de injeção.

Após a injeção, deve-se proceder à remoção da selagem e limpeza das superfícies.

5.7.5.2 Aplicação de revestimento de proteção e acabamento

A proteção e acabamento das superfícies de betão deverão ser efetuados de acordo com o estipulado no item 5.8.4.3.

5.8 Conclusões do Caso Prático

A estrutura avaliada apresenta algumas debilidades, o estado de degradação do betão é avançado e preocupante, assim como o estado de corrosão das armaduras expostas ao meio ambiente denotam preocupação, uma vez que para além da diminuição da secção inicial existem determinados elementos em desagregação. Denotou-se igualmente que o betão apresenta um recobrimento menor que o valor mínimo estabelecido, assim como uma

elevada porosidade que permite a penetração de água e/ou humidade que contribuem para acelerar o processo de degradação dos elementos estruturais.

Com base no diagnóstico efetuado à estrutura, foi possível concluir que existem erros de execução tanto ao nível do betão como das armaduras. Efetuada a leitura das armaduras existentes nos pilares e após análise com *software* adequado, verificou-se que as armaduras existentes em alguns elementos não correspondem ao inicialmente projetado. Se em certos elementos é evidente o facto da exposição ao meio ambiente ser responsável pela alteração da sua secção, existem outros elementos em que o seu recobrimento apesar de garantido apresentam uma secção diferente da projetada, deduzindo-se que ocorreu uma errada execução.

Relativamente ao estado do betão, e com base nos resultados obtidos dos ensaios de ultras e esclerométrico, foi possível balizar a sua qualidade entre medíocre a mau em função de cada elemento, assim como perceber a diminuição de resistência do betão. O projeto de execução aponta para execução de um betão B30, ou seja, C 30/37 que neste momento e com base nos valores obtidos apresenta uma resistência equivalente à de um betão C 20/25.

Quando avaliados os parâmetros da resistividade do betão e da deteção da corrosão das armaduras obtiveram-se resultados um pouco díspares, que permitem conclusões opostas.

Através dos resultados obtidos para a resistividade do betão, foi possível confirmar que face ao atual estado do betão, nomeadamente fruto da sua elevada porosidade, o risco de corrosão das armaduras assim como a sua taxa de corrosão estão balizadas entre o moderado a alto. Já depois de efetuada a análise para aferição da corrosão das armaduras os resultados apontaram na sua maioria para uma possibilidade de corrosão improvável.

No cômputo geral, a avaliação do estado de degradação da estrutura analisada é preocupante. Existem anomalias que estão a conduzir a estrutura para uma situação de

necessidade de intervenção imediata, nomeadamente o tratamento da corrosão ativa, delaminação do betão com exposição da armadura. Relativamente à delaminação do betão e fissuração passiva poder-se-á colocar num patamar de uma intervenção de curto/médio prazo.

Face à normal morosidade deste género de intervenção sendo este um edifício público, urge apelar à consciencialização da instituição responsável para as necessidades de intervenção.

É simples concluir que neste momento a intervenção face ao estado atual da estrutura já será bastante onerosa, pelo que quanto mais tempo decorrer mais oneroso se tornará, sob pena de o edifício se considerar irrecuperável.

6 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

6.1 Conclusões Gerais

O tema que serviu de base ao presente trabalho é de real importância face ao estado atual do parque edificado em Portugal. No entanto, e apesar do estado de degradação do parque edificado, foi possível concluir que a inspeção, diagnóstico e reparação de estruturas de betão armado são temas já aprofundadamente estudados. Este conhecimento é ainda mais consistente devido ao vasto suporte existente tanto a nível de documentação técnica e normativa, assim como de obras de referência.

Os mecanismos de degradação das estruturas de betão são hoje, matéria estudada, conhecida e compreendida. Existe hoje em dia uma muito maior preocupação e perceção dos aspetos de durabilidade, sendo estas questões cuidadosamente abordadas nas normas de projeto e execução de estruturas de betão armado.

Ao nível das ferramentas de diagnóstico das estruturas de betão armado, com recurso aos ensaios “*in situ*” é possível concluir que existem uma diversidade de equipamentos capazes de aferir o estado de degradação da estrutura com rigor e exatidão assinalável. O recurso a este tipo de ensaios de carácter não destrutivo trata-se de uma mais-valia para o diagnóstico, uma vez que mantém intactas as características, propriedades e secções dos elementos estudados.

A norma EN 1504 é uma ferramenta importante no processo de reparação de estruturas de betão, uma vez que funciona como um guia prático que resume todas as especificações, métodos e requisitos que devem ser garantidos na inspeção, diagnóstico e reparação de estruturas de betão armado.

A aplicação do presente tema a um caso prático funcionou para o autor numa mais-valia na deteção e identificação das causas de degradação numa estrutura de betão armado,

assim como o seu diagnóstico através da utilização de ensaios “*in situ*” de carácter não destrutivo. Sendo este um tema em que autor apresentava algumas lacunas ao nível da formação académica, foi possível conseguir abarcar um conhecimento mais aprofundado, por forma a servir como uma mais-valia a nível profissional.

6.2 Desenvolvimentos Futuros

Partindo do princípio que a maioria dos objetivos que o autor se propôs foram alcançados, e como é normal neste tipo de dissertações existem sempre matérias que carecem de um estudo mais aprofundado e minucioso. Face ao exposto, o autor apresenta algumas diretrizes passíveis de serem utilizadas para futuros trabalhos:

- A realização de outros ensaios de carácter não destrutivo que não tenham sido utilizados no presente trabalho, que permitam estabelecer correlações, assim como alcançar outras conclusões acerca do estado de degradação da estrutura;
- Abordagem e estudo da temática de reforço de estruturas de betão armado, que funcionará como um complemento à presente dissertação;
- Assegurar o cumprimento das normas e especificações técnicas na aplicação das condições técnicas apresentadas para a reparação da estrutura;
- Introdução de normas e legislação existente às especificações técnicas apresentadas por forma a garantir um controlo da qualidade;
- Desenvolvimento de um plano de manutenção, monitorização e inspeção para implementação após a execução dos trabalhos de reparação de uma estrutura de betão armado.

7 Referências Bibliográficas

1. Eurocódigo 2. Projeto de estruturas de betão. Instituto Português da Qualidade, 2010.
2. INE, 2011, Decenal - INE, Recenseamento da População e Habitação
3. EN 1504, 2006, “Produtos e Sistemas para a Proteção e Reparação de Estruturas de Betão”. Definições, Requisitos, controle de qualidade e avaliação da conformidade”. Instituto Português da Qualidade, Portugal.
4. Antoniazzi, Juliana P., Patologia da construção: Abordagem e Diagnóstico. Universidade Federal de Santa Maria
5. Sampaio, Joaquim C., 1995, Patologia dos Materiais Conservação e Reabilitação de Edifícios, FEUP
6. Beleza, Luís de Fátima Teixeira. 1996.A reparação de betões. Porto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (tese de mestrado)
7. Saraiva, J., 2007, “Técnicas de Proteção e Reparação de Estruturas de Betão Armado”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
8. Appleton, Júlio, 1986, Reparação e Reforço de Estruturas, módulo 2-B, Betão Armado e Pré-Esforçado, IST.
9. Coias, V., 2006. Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
10. BS 1881: Testing Concrete – Part 204. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.
11. Silva, Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da, 2008, Comportamento de Estruturas de Betão Reforçadas por Colagem Exterior de Sistemas de CFRP, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DECivil, Porto.

12. NP EN 12504-2 (2003). Ensaio do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo, determinação do índice esclerométrico, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)
13. BS 1881: Testing Concrete – Part 203. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.
14. ASTM C 597 – 09. Standard test Method for Pulse velocity through Concrete.
15. PROCEQ, 2012. Instruções Operacionais. Análise da corrosão.
16. Costa, Aníbal, 1997, DECivil 1997, Reparação, Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão, FEUP.
17. Matos, Domingos S, 1997, DECivil 1997, Reparação, Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão, FEUP.
18. Appleton, João, 2003, “Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção”. Edições Orion-1ª Edição
19. Silva, Vítor Córias, 2004, “Guia Prático para a Conservação de Imóveis”. Edições Dom Quixote- 1ª Edição
20. Beckmann, Poul, Bowles, Robert, 2004, “Structural Aspects of Building Conservation” – 2ª Edição
21. Appleton, J., Costa, A., Apontamentos da cadeira de “Reabilitação e Reforço de Estruturas”- Módulo 1: Reabilitação e Reforço de Estruturas, IST.
22. Coutinho, J.S., 1998, “Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento da cofragem”. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, FEUP.
23. Saraiva, J., 2007, “Técnicas de Proteção e Reparação de Estruturas de Betão Armado”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.

24. Appleton, J., Costa, A., Apontamentos da cadeira de “Reabilitação e Reforço de Estruturas”- Módulo 4: Inspeção, Avaliação e diagnóstico da deterioração e do comportamento estrutural, IST
25. BS 1881 – 6. Methods of testing concrete. Analysis of hardened concrete. 1971.
26. AASHTO T 260 – 97. Standard Method of test for Sampling and Testing for chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials.
27. ASTM C876-09. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
28. BS 1881-207. Testing Concrete. Recommendations for the Assessment of Concrete strength by near-to-surface tests, 1992.
29. LNEC E 226. Betão. Ensaio à Compressão. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa,1968.
30. LNEC E 397. Betões. Determinação do módulo de elasticidade em compressão. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1993.
31. Eurocódigo 1. Ações em Estruturas. Instituto Português da Qualidade, 2009.
32. Catálogos e Fichas Técnicas da BASF, 2012.

8 Anexos

Neste anexo, reúnem-se elementos que servem de suporte à presente dissertação, nomeadamente fichas técnicas de produtos considerados.

8.1 Fichas Técnicas dos Produtos

Emaco® Epoxiprimer BP

Legaran

Ponte de união epoxy e primário de barreira para a protecção de armaduras.

Descrição

Resina epoxy em bicomponente.

Campos de aplicação

- União entre betão novo e betão velho.
- Ponte de união entre betão e argamassa em reparações estruturais.
- Ponte de união para pavimentos e revestimentos de betão ou argamassa.
- Protecção contra a corrosão das armaduras de aço.
- Ponte de união para argamassas ou revestimentos de base epoxy ou poliuretano.
- Quando o aço está visível e o recobrimento de betão é inferior a 10mm.
- Em ambientes críticos, quando é necessário uma protecção extra.

Para outras aplicações contactar a BASF C. C. Portugal.

Propriedades

- Excelente aderência.
- Impermeável à água, óleos e outros agentes químicos.
- Impermeável ao oxigénio e aos cloretos. Protege as armaduras contra a corrosão.
- Compatível com a humidade da argamassa fresca.
- Compatível com argamassas hidráulicas e sintéticas.
- Não afecta a ancoragem do aço revestido.
- Perfeita compatibilidade com o aço das armaduras e as argamassas de reparação.
- Multiusos: pode utilizar-se como ponte de união para incrementar a aderência e as propriedades de aplicação das argamassas.
- Cor vermelha para facilitar o controlo de aplicação em obra.
- Apresenta-se com duas consistências:
 - EMACO EPOXIPRIMER BP: para aplicar com pincel;
 - EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA: para aplicar com pincel ou à pistola.

Rendimento / Dosagem

Depende do estado da superfície de aplicação.

Normalmente, são necessários 0,75 a 1,25 Kg/m².

Estes consumos são teóricos e dependem da rugosidade do suporte pelo que devem ajustar-se para cada obra em particular através de ensaios "in situ".



Ficha de aplicação

Preparação da superfície das armaduras

No caso de existirem armaduras à vista devem ser desoxidadas com jacto de areia, até um grau S_A2 segundo a ISSO 8501-1/ISSO 12944-4 na totalidade do perímetro das armaduras.

Preparação do suporte

As superfícies devem estar firmes (resistência à tracção mínima de 1 N/mm²) e limpas de pó, gorduras, óleos, restos de pinturas antigas, etc.

Deve-se eliminar restos de cura, desconfrantes, betão deteriorado assim como leitadas de cimento superficial, utilizando métodos mecânicos que não provoquem vibrações nem impactos ao suporte. Não se recomenda o jacto de areia.

Mistura

EMACO EPOXIPRIMER BP: verter o componente II sobre o componente I e misturar no mínimo durante 3 minutos com berbequim provido de agitador a uma velocidade máxima de 400rpm.

Procurar evitar a inclusão de ar durante a mistura.

EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA: incorporar o bocal adequado à viscosidade do produto. Uma vez realizada a mistura, encher o depósito superior da pistola e proceder à pulverização regulando o caudal segundo o tamanho da gota desejado.

Não são aconselháveis misturas parciais.

O produto está pronto quando a sua cor de mistura é uniforme.

Aplicação

A temperatura do suporte deve ser no mínimo +10°C e no máximo +30°C, deve-se procurar que as temperaturas sejam uniformes durante a sua aplicação e pelo menos nas 24 horas seguintes à sua aplicação para uma óptima cura do produto.

Como primário das armaduras: aplicar com pincel o material misturado numa camada homogénea em toda a superfície das armaduras.

Como ponte de união: aplicar com pincel o material misturado numa camada homogénea em toda a superfície do betão e das armaduras.

Aplicar a argamassa com a ponte de união fresca.

Limpeza de ferramentas

A limpeza pode ser feita com diluente universal, enquanto o produto estiver fresco. Depois de endurecido só pode ser removido mecanicamente.

Embalagem e armazenamento

EMACO EPOXIPRIMER BP: conjuntos de 1 e 5 kg.

EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA: conjuntos de 10 e 25 kg.

Armazenar nas suas embalagens originais fechadas em local seco e fresco durante 24 meses.

Manipulação e transporte

Devem observar-se as medidas preventivas usuais para a utilização de produtos químicos, como por exemplo não comer, beber ou fumar durante a aplicação e lavar as mãos antes de uma pausa e no final do trabalho.

Pode consultar-se informação específica de segurança

no manuseamento e transporte do produto na sua Ficha de Segurança.

A eliminação do produto e da sua embalagem deve realizar-se de acordo com a legislação e é da responsabilidade do aplicador final.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar sobre suportes com temperaturas inferiores a 8°C ou superiores a 30°C.
- Não devem realizar-se misturas parciais das embalagens de ambos os componentes.
- Não adicionar água, solventes ou outras substâncias que possam afectar as propriedades do material endurecido.
- Comprovar sempre que o produto mancha as pontas dos dedos antes de aplicar a argamassa. Caso contrário aplicar uma segunda camada de EMACO EPOXIPRIMER BP ou EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA.
- Com o tempo quente deve-se manter o material frio e afastado dos raios solares directos. O período de trabalho em épocas de calor pode ser prolongado se mantiver o material frio, tanto antes como depois de misturado, pode-se introduzir o material num recipiente com uma mistura de água com gelo.
- Para a aplicação de EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA. Adiciona-se até 2% de xileno ou tolueno. Neste caso deve-se esperar aproximadamente 15 minutos para permitir a evaporação do solvente antes da aplicação da argamassa/betão.
- Antes de realizar a mistura deve-se comprovar a identificação correcta das embalagens dos diferentes componentes.

Características técnicas

Características	EMACO EPOXIPRIMER BP	EMACO EPOXIPRIMER PISTOLA
Densidade:	aprox. 1,7 g/cm ³	aprox. 1,4 g/cm ³
Temperatura de aplicação (suporte e material):	de +10°C a +30°C	de +10°C a +30°C
Resistência à temperatura	de -20°C a +80°C	de -20°C a +80°C
Pot -life (20°C):	aprox 2 horas	aprox 2 horas
Tempo aberto: a +10°C a +20°C a +30°C	aprox 4 horas aprox 3 horas aprox 2 horas	aprox 4 horas aprox 3 horas aprox 2 horas
Totalmente endurecido após (20°C):	7 dias	7 dias
Aderência ao betão	>1,5 N/mm ² (rotura no betão)	>1,5 N/mm ² (rotura no betão)

Os tempos de endurecimento estão medidos às temperaturas indicadas. Temperaturas superiores e/ou H.R. inferiores podem reduzir estes tempos e vice-versa. Os dados técnicos apresentados são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

BASF Construction Chemicals Portugal, S.A.

Sede: R. de S. Sebastião, 57 - Cabra Figa - 2635-047 RIO DE MOURO - T. 21 915 85 50 - F. 21 915 88 63

D. Norte: Rua Manuel Pinto de Azevedo, 626 - 4100-320 PORTO - T. 22 616 60 00 - F. 22 610 67 02

www.basf-cc.pt



Revisão 1 em Maio de 2008

A presente Ficha Técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova edição.

O aconselhamento técnico sobre como usar os nossos produtos, verbal ou de forma escrita, é baseado nos nossos melhores conhecimentos científicos e práticos. Não são assumidas quaisquer garantias e/ou responsabilidades em relação aos resultados finais dos trabalhos executados. O dono de obra, o seu representante ou o empreiteiro, devem verificar a adequabilidade dos nossos produtos aos usos e finalidades pretendidas, bem como as dosagens e consumo.

Emaco S88 Tixotrópico

Argamassa de elevada compatibilidade com o betão, para reparações estruturais.

Descrição

EMACO S88 Tixotrópico é uma argamassa à base de cimento, agregados seleccionados, aditivos especiais e fibras sintéticas de poliacrilonitrilo.

Campos de aplicação

- Aplicável em interiores, exteriores, na vertical e na horizontal.
- Reparações em elementos estruturais (vigas de betão armado ou pré-esforçado sob acção de cargas estáticas ou dinâmicas).
- Reparação de qualquer tipo de betão deteriorado.
- Trabalhos de manutenção em portos e outras obras marítimas.
- Trabalhos de manutenção em indústrias mecânicas, nomeadamente em presença de óleos minerais, lubrificantes, etc.
- Protecção do betão contra a agressividade da água contendo sulfatos e cloretos, etc.

Para outras aplicações contactar a BASF C. C. Portugal.

Vantagens

- Elevadas resistências mecânicas, tanto iniciais como finais.
- Retracção compensada.
- Tixotrópico
- Não contém cloretos nem agregados metálicos.
- Boa trabalhabilidade. Sem exsudação
- Elevada aderência ao betão com ponte de união.
- Excelente durabilidade em ambientes agressivos.
- Pronto a usar apenas necessita de ser misturado c/ água.
- Reduzida absorção de água por capilaridade
- Elevada impermeabilidade.
- Permeável ao vapor de água
- Elevada resistência à carbonatação
- Elevada compatibilidade dimensional com o betão
- Elevada compatibilidade química e electroquímica com o betão.



Características técnicas

Densidade da argamassa:	aprox. 2,2 g/cm ³
Água de amassadura aprox.:	3,8 l / saco 25 Kg
Temperatura de aplicação (suporte e material):	+5 a +30°C
Tempo de maturação:	aprox. 3 min.
Tº de trabalhabilidade:	aprox. 60 min.
Espessuras aplicáveis:	10 a 40 mm
Absorção capilar, UNE-EN 13057:	< 0,5 Kg/m ² /h0,5
Resistência à carbonatação, UNE-EN 13295:	< 1 mm (betão padrão 4,8)
Conteúdo de cloretos, UNE-EN 1015-17:	< 0,05 %
R. à compressão, UNE-EN 12190 após 1 dia: após 7 dias: após 28 dias:	aprox. 25 N/mm ² aprox. 55 N/mm ² aprox. 70 N/mm ²
R. à flexotraccão, UNE-EN 12190 após 1 dia: após 7 dias: após 28 dias:	aprox. 5 N/mm ² aprox. 9 N/mm ² aprox. 10 N/mm ²

BASF Construction Chemicals Portugal, S.A.

Sede: R. de S. Sebastião, 57 - Cabra Figa - 2635-047 RIO DE MOURO - T. 21 915 85 50 - F. 21 915 88 63

D. Norte: R. do Comércio, lote 185 - 4785-706 TROFA - T. 252 450 885 - F. 252 413 720

www.basf-cc.pt

M. elasticidade após 28 dias, UNE-EN 13412:	aprox. 32.000 N/mm ²
Aderência ao betão, UNE-EN 1542:	> 2,2 N/mm ²
Aderência ao betão após ciclos térmicos, UNE-EN 13687:	> 2,2 N/mm ²
Expansão, UNE-EN 12617-4:	< 0,08%
Retracção, UNE-EN 12617-4:	< 0,08 %

Tempos de endurecimento obtidos a 22°C e 65% de H.R. com excepção daqueles resultados que indicam parâmetros diferentes. Temperaturas superiores e/ou humidades inferiores podem reduzir estes tempos e vice-versa. Os dados técnicos são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

Modo de aplicação

Preparação da base: a superfície de aplicação deverá estar sã, firme (resistência à tracção mínima de 1 N/mm²) e livre de óleos, gorduras, pinturas antigas, descofrantes e produtos de cura. A leitada e o betão deteriorado devem ser eliminados por meios mecânicos, até obter uma superfície com irregularidades de pelo menos 5 mm, com o objectivo de proporcionar à argamassa a aderência necessária.

A decapagem deve ser suficiente para conseguir uma profundidade de reparação com o mínimo de 1 cm. Se a profundidade de reparação é superior a 20 mm deve fixar-se uma malha electrosoldada no betão a tratar, deixando um espaço entre ambos através de separadores. Se o enchimento é inferior a 20 mm não é necessária a colocação da malha.

No caso de existirem armaduras à vista deverão ser decapadas com jacto de areia e deverá ser aplicada protecção anti-corrosiva LEGARAN. Se se utiliza LEGARAN como ponte de união é necessário que o suporte esteja seco.

Ponte de união: para assegurar a boa aderência do EMACO S88 TIXOTRÓPICO, pode aplicar-se uma ponte de união como REPAHAFT (sobre suportes húmidos) ou LEGARAN (sobre suportes secos). O EMACO S88 TIXOTRÓPICO deve aplicar-se sobre a ponte de união fresca, ou seja antes de 30 min. no caso do REPAHAFT e antes de 3 h no caso do LEGARAN.

A aplicação de ponte de união não é imprescindível em aplicações por projecção.

Mistura: juntar o produto à água correspondente, pouco a pouco, misturando com agitador tipo M34 ou betoneira adequada, durante no mínimo 4 minutos até obter uma argamassa homogénea e sem grumos.

Colocação da argamassa: depois de amassado, o EMACO S88 TIXOTRÓPICO pode aplicar-se com talocha ou por projecção. No caso da aplicação sobre ponte de união deve

realizar-se enquanto esta estiver fresca. Compactar e/ou alisar de acordo com o tipo de aplicação.

Não juntar mais água à argamassa que tenha perdido a sua consistência uma vez que perderia as suas propriedades. No caso de serem aplicadas várias camadas de argamassa deve aplicar-se a segunda antes que termine a presa da primeira ou lixar a superfície endurecida e aplicar ponte de união.

Cura: as argamassas hidráulicas devem ser curadas com água ou aplicação de um produto de cura da gama BASF para evitar a evaporação da água de hidratação. A cura é imprescindível em quaisquer condições ambientais, devendo ser incrementada em caso de sol, vento ou tempo seco.

Limpeza de ferramentas: A limpeza pode ser feita com água, enquanto o produto estiver fresco. Depois de endurecido só pode ser removido mecanicamente.

Rendimento / Dosagem

O consumo é de aproximadamente 2,2 Kg de argamassa amassada por m² e mm de espessura (aprox. 1,8 kg de argamassa seca por m² e mm de espessura). Este consumo é teórico e depende da rugosidade do suporte devendo ser ajustado a cada obra em particular através da realização de ensaios.

Embalagem e armazenamento

EMACO S88 TIXOTRÓPICO é fornecido em sacos de 25 Kg. Armazenar em local fresco e seco, nas embalagens originais fechadas até 12 meses aproximadamente.

Precauções de segurança

Este produto contém cimento que ao reagir com a água e/ou humidade forma produtos alcalinos. Salpicos desta mistura podem provocar irritações na pele e/ou queimaduras nos olhos e mucosas. Para a sua manipulação deve usar-se protecção para os olhos.

Não é um produto de transporte rodoviário perigoso.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar sobre bases a temperaturas inferiores a +5°C ou superiores a +30°C.
- Não adicionar cimento, areia ou substâncias que possam afectar as propriedades do material.
- Não adicionar mais água nem reamassar a argamassa que tenha perdido a sua consistência.
- Não é aconselhável a utilização de jacto de areia uma vez que com este método não se conseguirá a irregularidade mínima de 5 mm na superfície.

Não aplicar em zonas submetidas a contaminação por sulfatos. Nestas circunstâncias aplicar produtos do Sistema Kana.

Revisão 0 em Outubro de 2006

A presente Ficha Técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova edição.

O aconselhamento técnico sobre como usar os nossos produtos, verbal ou de forma escrita, é baseado nos nossos melhores conhecimentos científicos e práticos. Não são assumidas quaisquer garantias e/ou responsabilidades em relação aos resultados finais dos trabalhos executados. O dono de obra, o seu representante ou o empreiteiro, devem verificar a adequabilidade dos nossos produtos aos usos e finalidades pretendidas, bem como as dosagens e consumos.

Masterseal 303

Hidrofugante, repelente à água e à sujidade, aplicável em superfícies de argamassa e betão.

Descrição

Emulsão aquosa à base de alcoxi-silano de alquilo.

Campos de aplicação

- Impregnação hidrofugante para suportes alcalinos: betão, betão armado, argamassa de cimento.
- Protecção contra a humidade de superfícies verticais e/ou horizontais, expostas à intempérie como fachadas, pilares, paredes, etc.
- Protecção de superfícies contra geadas e sais de degelo.

Para outras aplicações não indicadas consultar a BASF C. C. Portugal.

Propriedades

- Excelente tixotropia.
- Resistente aos álcalis e aos raios U.V.
- Não forma película. Permeável ao vapor de água.
- Incolor, não afecta a cor das superfícies em que se aplica.
- Sem solventes. Não é inflamável nem apresenta efeitos narcóticos.
- Pronto-a-usar.
- Dificulta o humedecimento dos materiais expostos à chuva, diminuindo a absorção capilar e como consequência a admissão capilar de água. Melhora a resistência aos ciclos gelo-degelo.
- Dificulta o crescimento de vegetais como fungos e líquenes já que reduz a humidade permanente do suporte.
- Reduz a penetração de cloretos aumentando a durabilidade do betão.
- Diminui a formação de eflorescências.

Consumo

Aproximadamente de 0,1 a 0,3 kg/m².

Estes consumos são teóricos e dependem da rugosidade do suporte pelo que devem ajustar-se para cada obra em particular através de ensaios "in situ".

Ficha de aplicação

Preparação do suporte

O suporte deve estar limpo, firme, rugoso e isento de óleos, gorduras, pinturas, restos de óleos descofrantes, pó, musgo, salitre, etc.



No caso de o suporte apresentar algumas das características atrás mencionadas, deverá ser totalmente eliminado mecanicamente.

A temperatura do suporte tem que ser no mínimo +5°C e no máximo +30°. Em qualquer caso tem que estar 3°C acima do ponto de orvalho. As superfícies podem estar ligeiramente húmidas mas não molhadas.

Mistura

MASTERSEAL 303 aplica-se directamente tal como se apresenta, sem ser necessário realizar misturas ou diluições. Homogeneizar brevemente antes da aplicação.

Aplicação

A impregnação deve realizar-se com trincha ou rolo em superfícies pequenas e com pistola ou outros meios em superfícies de grande extensão.

MASTERSEAL 303 aplica-se normalmente numa só demão. Caso seja necessário a aplicação dum segunda demão de MASTERSEAL 303, só deverá ser aplicada após a primeira estar completamente curada.

Proteger as superfícies impregnadas do contacto com a água durante o período mínimo de 4 horas.

Limpeza das ferramentas

A limpeza pode ser feita com água, enquanto o produto estiver fresco.

Depois de endurecido só pode ser removido mecanicamente.

Embalagem e armazenamento

MASTERSEAL 303 é fornecido em jérricans de 5 e 20 litros.

Armazenar em local fresco e protegido da humidade, nas embalagens originais hermeticamente fechadas, até aproximadamente 12 meses. Proteger da congelação. Não empilhar mais de duas garrafas.

Manipulação e transporte

Para a manipulação deste produto devem ter-se em conta as medidas preventivas habituais no manuseamento de produtos químicos, por exemplo não comer, fumar ou beber durante o trabalho. Deve-se lavar as mãos antes de uma pausa ou de finalizar o trabalho.

Pode consultar a informação específica de segurança, manuseamento e transporte do produto na ficha de dados de segurança do mesmo.

A eliminação do produto e da sua embalagem deve realizar-se de acordo com a legislação em vigor e é da responsabilidade do aplicador final do produto.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar sob acção de fortes raios solares.
- Fissuras largas, em rebocos ou juntas de argamassas em fachada revestidas a cerâmica, não

- podem ser seladas com MASTERSEAL 303, nas situações atrás descritas será necessário a utilização de um mástique elástico ou de uma argamassa de cimento.
- Todas as peças que não sejam do tipo mineral, como algerozes, madeira, juntas de dilatação, janelas, etc. será necessário deverão ser recobertas antes da utilização do hidrofugante.
- Não utilizar em zonas submetidas a água com pressão.
- Não aplicar sobre suportes de pedra natural, mármore, granito ou ladrilho cerâmico.
- Para avaliar o efeito final ou comprovar a aderência de outros tratamentos sobre hidrofugantes é IMPRESCINDIVEL realizar um ensaio numa superfície idêntica à da obra.
- Não aplicar caso esteja previsto chover.
- Não aplicar caso se prevejam temperaturas inferiores a +5°C durante as 12 horas seguintes à aplicação.
- Ainda que as superfícies possam estar ligeiramente húmidas (humidade máxima de 6%) a efectividade do produto é incrementada quando aplicado sobre superfícies secas.
- As zonas ajardinadas devem ser protegidas.
- Durante a impregnação deve-se impedir que existência de pó.
- Em zonas de trânsito automóvel deve deixar-se secar totalmente antes de abrir ao tráfego.

Características técnicas

Características	Valores
Aspecto e cor:	cor branca (transparente após estar seco)
Densidade:	aprox. 1,0 g/cm ³
Conteúdo de sólidos:	aprox. 20 % (em peso)
Temperatura de aplicação (suporte e material):	de +5 a +35 °C
Profundidade de penetração média:	de 2 a 3,2 (dependendo da qualidade e do acabamento do betão)
Ponto de inflamação:	> 93 °C
Absorção de água:	de 5,3 a 8,3 % (em betão não tratado)

Tempos de endurecimento obtidos a 22°C e 65% de H.R. Temperaturas superiores e/ou H.R. inferiores podem reduzir estes tempos e vice-versa. Os dados técnicos apresentados são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

BASF Construction Chemicals Portugal, S.A.

Sede: R. de S. Sebastião, 57 - Cabra Figa - 2635-047 RIO DE MOURO - T. 21 915 85 50 - F. 21 915 88 63

D. Norte: Rua Manuel Pinto de Azevedo, 626 - 4100-320 PORTO - T. 22 616 60 00 - F. 22 610 67 02

www.basf-cc.pt



Revisão 1 em Fevereiro de 2008

A presente Ficha Técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova edição.

O aconselhamento técnico sobre como usar os nossos produtos, verbal ou de forma escrita, é baseado nos nossos melhores conhecimentos científicos e práticos. Não são assumidas quaisquer garantias e/ou responsabilidades em relação aos resultados finais dos trabalhos executados. O dono de obra, o seu representante ou o empreiteiro, devem verificar a adequabilidade dos nossos produtos aos usos e finalidades pretendidas, bem como as dosagens e consumo.

EMACO[®] Nanocrete R4 Fluid

Argamassa fluida para reparação estrutural, de elevada resistência, e elevado modo de elasticidade, reforçada com fibras, com retracção compensada

Descrição

EMACO Nanocrete R4 Fluid é uma argamassa monocomponente, de elevada resistência mecânica e elevado módulo de elasticidade e com retracção compensada, para reparação estrutural, cumprindo os requisitos da norma europeia EN 1504 - parte 3 para as argamassas de classe R4. EMACO Nanocrete R4 Fluid contém cimento, agregados de granulometria seleccionada e fibras sintéticas de poliacrilonitrilo.

Campo de aplicação

EMACO Nanocrete R4 Fluid é utilizado em reparações estruturais de elementos de betão como:


- Pilares, colunas e vigas de pontes;
- Torres de arrefecimento chaminés e estruturas noutros ambientes industriais;
- Túneis, condutas, e construções subterrâneas especialmente em condições agressivas;
- Estruturas marítimas;
- Estações de tratamento de águas.

Para outras aplicações não mencionadas acima, contactar a BASF Portuguesa, S.A.

Propriedades

- Formulado com nanotecnologia, sistemas de compensação de retracção e fibras para minimizar a retracção e o risco de fissuração;
- Pode aplicar-se uma espessura desde 20 até 200 mm e numa única camada;
- Pode ser misturado com agregados para espessuras superiores a 200mm.
- Consistência fluida ou líquida;
- Elevado tempo aberto;
- Aplicável com máquinas ou manualmente;
- Elevadas resistências mecânicas iniciais e finais;
- Isento de cloretos;
- Excelente resistência à carbonatação;
- Reduzida absorção de água por capilaridade;
- Elevada impermeabilidade à água ou aos cloretos;



	
EMACO[®] Nanocrete R4 Fluid	
EN 1504 - 3	
Argamassa tipo CC (à base de cimento hidráulico) para a reparação estrutural de betão	
Resistência à compressão	Classe R4
Teor de cloretos	≤ 0,05%
Aderência	≥ 2,0 MPa
Resistência à carbonatação	Passa
Módulo elástico	≥ 20 GPa
Retracção / expansão controlada	≥ 2,0 MPa
Compatibilidade térmica:	
- Gelo-Degelo	≥ 2,0 MPa
- Ciclos de arrefecimento brusco	≥ 2,0 MPa
- Ciclos térmicos a seco	≥ 2,0 MPa
Absorção capilar	≤ 0,5Kg/m²h^{0.5}
Reacção ao fogo	A1
Substâncias perigosas	Cumpre com 5.4

- Permeável ao vapor de água;
- Baixo teor em cromatos (Cr(VI)) < 2ppm;
- Elevado desenvolvimento de resistências segundo a classe R4 da norma EN 1504 - parte 3;
- Resistência a sulfatos.

Modo de aplicação

(a) Preparação da superfície de betão: deve estar firme (resistente à tracção mínima de 1,5 MPa) limpo e isenta de leitadas de cimento, gorduras, óleos, pós, restos de descofrantes, produtos de cura, tintas antigas, etc.

Devem ser eliminados os restos de betão deteriorado, bem como as leitadas de cimento superficial, usando métodos mecânicos que não causem vibrações nem impactos ao nível do suporte. É recomendável a limpeza com jacto de areia ou água em pressão. Os agregados devem ficar claramente visíveis na superfície do betão após a sua preparação. Cortar as extremidades da reparação para assegurar uma espessura de aplicação mínima de 5mm.

(b) Preparação da superfície das armaduras: no caso de existirem armaduras à vista, deverão desoxidar-se com jacto de areia até um grau S_a2 de acordo com a norma ISO 8501-1/ ISO 12944-4. Eliminar o betão do reverso das armaduras.

Para uma protecção adicional ou se as armaduras ficam à vista durante um longo período, aplicar EMACO Nanocrete AP ou EMACO Epoxiprimer BP.

(c) Ponte de união: ainda que, de uma forma geral, para assegurar a boa aderência do EMACO Nanocrete R4 Fluid não seja necessária a utilização de ponte de união, a sua utilização (EMACO Nanocrete AP ou EMACO Epoxiprimer BP) pode melhorar a aderência da argamassa em aplicações manuais.

(d) Mistura: adicionar lentamente o conteúdo do saco completo de EMACO Nanocrete R4 Fluid sobre a água de amassadura previamente preparada em recipiente limpo. Misturar a baixas rotações (400rpm) com berbequim equipado com agitador de disco duplo do tipo M34, ou com misturadora mecânica, durante um período mínimo de 3 minutos, até que seja obtida uma massa homogénea e sem grumos. A água de amassadura necessária é de 3,5 a 4,0 litros por saco de 25 Kg, para obter uma consistência fluida.

Para obter uma consistência líquida a água de amassadura necessária é de 3,1 a 3,5 litros aproximadamente por saco de 25 Kg.

Conceder um tempo de maturação de 2 a 3 minutos, após os quais se deve misturar novamente por um período breve.

Para aplicações com espessuras superiores a 200 mm poderão ser adicionados agregados adequados (4-6 ou 8-16mm), num máximo de 30 a 35% do peso de argamassa seca.

(e) Aplicação: a temperatura do suporte deve ser no mínimo de +5°C e no máximo de +30°C, procurando-se que as temperaturas sejam uniformes durante a aplicação e pelo menos durante as 24 horas seguintes para que se obtenha uma excelente cura do produto. Uma vez amassado EMACO Nanocrete R4 Fluid pode ser aplicado com talocha ou por projecção. Aplicar directamente sobre a superfície húmida ou sobre a ponte de união fresca. No caso de não se usar ponte de união, a superfície preparada deve ser humedecida por saturação, preferencialmente 24 horas e no mínimo 2 horas antes da aplicação de EMACO Nanocrete R4 Fluid. A superfície deverá estar molhada mas sem acumulação de água. Nunca acrescentar água sobre a argamassa que tenha perdido a sua trabalhabilidade, uma vez que se perderiam as suas propriedades.

(f) cura: uma vez vertido, EMACO Nanocrete R4 Fluid deve ser protegido do sol, vento, etc. É conveniente tapar a superfície com uma sarapilheira molhada durante 2 ou 3 dias. A operação de cura é imprescindível em todos os casos. Em casos de enchimento de cofragens com EMACO Nanocrete R4 Fluid, deverá esperar-se 24 horas a 20°C de temperatura para realizar a descofragem.

Limpeza de ferramentas

As ferramentas podem ser limpas com água enquanto o produto ainda estiver fresco. Depois de endurecido só pode ser removido mecânicamente.

Rendimento / dosagem

Consistência líquida

O consumo aproximado é de 2,2 Kg de argamassa amassada por m^2 e mm de espessura (aprox. 1,9 Kg de argamassa seca por m^2 e mm de espessura)

Consistência fluida

Com 25 Kg de material, podem ser preparados aprox. 13 litros de argamassa.

Ou

Aproximadamente 76 sacos de material para obter $1m^3$ de argamassa.

Estes consumos são teóricos e deverão ser determinados mediante ensaios representativos "in situ".

Embalagem e armazenamento

EMACO Nanocrete R4 Fluid apresenta-se em sacos de 25 Kg. Armazenar o produto nas suas embalagens originais fechadas, em lugar seco e protegido da humidade. Nesta condições o produto tem uma conservação de 12 meses.

Manuseamento e transporte

Para o manuseamento do produto deverão ser cumpridas as medidas preventivas habituais relativas ao manuseamento de produtos químicos como por exemplo, não comer, não fumar nem beber durante a aplicação e lavar as mãos antes de uma pausa e na conclusão do trabalho. Pode consultar-se informação de segurança específica relativa ao manuseamento e transporte do produto na Ficha de Segurança do mesmo. A eliminação do produto e da embalagem do mesmo deve ser realizada de acordo com a legislação vigente e é da responsabilidade do aplicador final do produto.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar sobre suportes a temperaturas inferiores a +5°C nem superiores a +30°C;
- Não adicionar cimento, areia nem outras substâncias que possam afectar as propriedades do material;
- Não adicionar mais água sobre a argamassa que possa prejudicar a sua consistência nem voltar a reamassar;.

Características técnicas:

Propriedades	Métodos de ensaio	Unidades	Valores
Aspecto:	-	-	Pó cinza
Granulometria:	-	mm	máx. 1,5
Espessuras aplicáveis:	- mínimo: - máximo:		20 200
Consumo de produto amassado:	-	g/cm ³	aprox. 2,2
Água de amassadura:	-	l/saco 25 kg.	Fluida: aprox. 3,5 – 4,0 Líquida: aprox. 3,1 – 3,5
Tempo de trabalhabilidade:	-	minutos	Aprox. 60
Tempo de maturação:	-		Arpx. 3-4
Temperatura de aplicação (suporte e material):	-	°C	entre +5 e +30
Resistência à compressão:			
- Após 1 dia:			≥ 15
- Após 7 dias:	EN 12190	MPa	≥ 40
- Após 28 dias:			≥ 55
Resistência à flexão:			
- Após 1 dia:	EN 12190	MPa	Aprox. 5
- Após 7 dias:			Aprox. 8
- Após 28 dias:			Aprox. 9,5
Módulo E	EN 13412	Mpa	≥ 20.000
Aderência (28 dias):	EN 1542	MPa	≥ 2
Aderência após ciclos gelo/degelo com imersão em sais de degelo (50 ciclos):	EN 13687 - 1	MPa	≥ 2
Aderência após ciclos de arrefecimento brusco a partir de uma temperatura elevada (50 ciclos):	EN 13687 - 2	MPa	≥ 2
Aderência após ciclos térmicos em seco (50 ciclos):	EN 13687 - 4	MPa	≥ 2
Resistência à carbonatação	EN 13295	mm	< betão de referência
Tendência para fissuração (I):	Anel Coutinho	-	Sem fissuras após 180 dias
Tendência para fissuração (II):	Tipo DIN V-canal	-	Sem fissuras após 180 dias
Absorção capilar:	EN 13057	Kg/m ² h ^{-0.5}	≤ 0,5

Os tempos de endurecimento são medido a 20 °C e 65% de H.R. Temperaturas superiores e/ou H.R. inferiores podem reduzir estes tempos vice-versa. Os dados técnicos apresentados são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

NOTA:

A presente Ficha Técnica serve, assim como as demais recomendações e informação técnica, unicamente para a descrição das características do produto, modo de utilização e suas aplicações. Os dados e informações reproduzidos têm por base os nossos conhecimentos técnicos adquiridos através de biografia, ensaios de laboratório e através da prática.

Os dados de consumo e dosificação que figuram nesta ficha técnica, são baseados na nossa própria experiência, pelo que são susceptíveis de variações devido a diferentes condições de obra. Os consumos e dosificações reais deverão determinar-se através de ensaios prévios sendo estes responsabilidade do cliente.

Para um acompanhamento adicional, o nosso serviço técnico, está à sua disposição.

BASF Portuguesa, S.A. reserva o direito de modificar a composição dos produtos, sempre e quando estes continuem cumprindo as características descritas na Ficha Técnica.

Outras aplicações do produto que não se enquadrem com as indicadas, não serão da nossa responsabilidade.

Outorgamos garantia em caso de defeito na qualidade de produção dos nossos produtos, ficando excluídas as reclamações adicionais, sendo da nossa responsabilidade tão só a de compensar o valor de mercadoria fornecida.

Deve ser tido em conta as eventuais reservas correspondentes a patentes ou direito de terceiros.

Data de emissão: 07/11/2011

A presente ficha técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova

BASF Portuguesa, S.A.

Sede: Rua 25 de Abril, n.º 1
2689-538 PRIOR-VELHO
Tel: 21 949 99 00 – Fax: 21 949 99 45/49

Fábrica: Rua de S. Sebastião, 57 – Cabra Figa
2635-047 RIO DE MOURO
Tel: 21 915 85 50 – Fax: 21 915 85 52

Delegação Norte: Rua Manuel Pinto de Azevedo, 626
4100-320 PORTO
Tel: 22 615 96 00 – Fax: 22 617 75 10

Masterseal 325E

Revestimento elástico para protecção de elementos de betão contra a carbonatação

Descrição

MASTERSEAL 325E é uma dispersão aquosa, mono-componente.

Campos de aplicação

- Aplicável em interiores e exteriores.
- Aplicável somente em superfícies não transitáveis.
- Aplicável sobre betão, argamassa de cimento, etc.
- Para protecção de elementos estruturais de betão contra a carbonatação.
- Para aplicação em fachadas, muros de contenção, platibandas de pontes, revestimento de túneis, estruturas de edifícios, etc.

Para outras aplicações contactar a BASF C. C. Portugal

Propriedades

- Protecção de fachadas contra a água líquida e gases como CO₂ e SO₂ e outras substâncias como cloretos, etc.
- Excelente elasticidade. Capaz de suportar movimentos de fissuras, mesmo a -10°C.
- Excelente aderência.
- Resistente aos raios U.V., à intempérie e às geadas.
- Acabamento decorativo, colorido.
- Permeável ao vapor de água.
- Impermeável à água da chuva.

Consumo

Aproximadamente 0,3 a 0,5 kg/m² em duas demãos.

Estes consumos são teóricos e pode variar segundo as condições especiais de cada obra e a necessidade de protecção.

O consumo real deverá calcular-se para cada obra mediante ensaios representativos "in situ".

Ficha de aplicação

Preparação do suporte

O suporte base deve ser firme (resistência à tracção mínima de 1 N/mm²), limpo e capaz de suportar as solicitações próprias do uso a que se destina.

Não deve ter leitada de cimento superficial, pó, restos de gorduras e óleos, pinturas antigas, etc. Pode estar húmido mas não molhado.

Suportes muito irregulares deverão regularizar-se com EMACO NANOCRETE R2 ou EMACO R205.



Primário

Em geral utiliza-se uma primeira demão com o próprio MASTERSEAL 325E diluído com cerca de 10% de água. Suportes absorventes deverão utilizar-se como primário uma mistura de PCI PERIPRIM / água numa proporção 1:1.

Aplicação

MASTERSEAL 325E aplica-se com trincha, rolo ou pistola sem diluir sobre a camada de primário seco (aproximadamente 2 horas a 20°C e H.R. 60%).

A segunda camada (e seguintes se necessário) aplica-se sem diluir.

Comprovar após cada camada que o consumo médio aplicado coincide com o esperado.

Limpeza das ferramentas

A limpeza pode ser feita com água, enquanto o produto estiver fresco.

Depois de endurecido só pode ser removido mecanicamente.



Embalagem e armazenamento

MASTERSEAL 325E é fornecido em latas de 25 kg. Armazenar em local fresco e protegido da humidade, nas embalagens originais hermeticamente fechadas, até aproximadamente 12 meses.

Manipulação e transporte

Para a manipulação deste produto devem ter-se em conta as medidas preventivas habituais no manuseamento de produtos químicos, por exemplo não comer, fumar ou beber durante o trabalho. Deve-se lavar as mãos antes de uma pausa ou de finalizar o trabalho.

Pode consultar a informação específica de segurança, manuseamento e transporte do produto na ficha de dados de segurança do mesmo.

A eliminação do produto e da sua embalagem deve realizar-se de acordo com a legislação em vigor e é da responsabilidade do aplicador final do produto.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar a temperaturas inferiores a 5°C nem superiores a 30°C.
- Não utilizar consumos inferiores ou superiores aos especificados sem prévia consulta à BASF C. C. Portugal.
- Não utilizar MASTERSEAL 325E em suportes que irão ser submersos em água.

Características técnicas

Características	Métodos de ensaio	Valores
Densidade:	ISO 2811-1	aprox. 1,34 g/cm ³
Viscosidade:	ISO 2884-2	aprox. 10800 cPs
Sólidos peso:	UNE 83723 EX	aprox. 65%
Sólidos em volume:	ISO 3233	aprox. 31%
Temperatura de aplicação (suporte e material):	-	entre 5 e 30°C
Tempo secagem:	UNE EN 1767	aprox. 20 min.
Tempo de espera entre demãos:	-	aprox. 2 h
Resistência à temperatura:	-	-20 a +80°C
Permeabilidade ao vapor de água (·):	EN ISO 7783-1/2	aprox. 4.150
Espessura de ar equivalente (Sd-H ₂ O; 360 µ):	-	aprox. 1,5
Permeabilidade ao CO ₂ (µ):	prEN 1062-6	aprox. 137.000
Espessura de ar equivalente (Sd- CO ₂ ; 360 µ)	-	aprox. 50
Absorção capilar de água (w):	EN 1062-3	<0,1 Kg/m ² /h ^{0,5}
Capacidade de recobrimento de fissuras	-	aprox. 0,6 mm
Aderência por tracção ao betão,:	EN 1542	aprox. 1,77 N/mm ²
Aderência ao betão pelo método da quadrícula:	UNE EN ISO 2409	0-0

Tempos de endurecimento obtidos a 22°C e 55% de H.R. Temperaturas superiores e/ou H.R. inferiores podem reduzir estes tempos e vice-versa. Os dados técnicos apresentados são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

BASF Construction Chemicals Portugal, S.A.

Sede: R. de S. Sebastião, 57 - Cabra Figa - 2635-047 RIO DE MOURO - T. 21 915 85 50 - F. 21 915 88 63

D. Norte: Rua Manuel Pinto de Azevedo, 626 - 4100-320 PORTO - T. 22 616 00 00 - F. 22 610 67 02

www.basf-cc.pt

Revisão 1 em Janeiro de 2007

A presente Ficha Técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova edição.

O aconselhamento técnico sobre como usar os nossos produtos, verbal ou de forma escrita, é baseado nos nossos melhores conhecimentos científicos e práticos. Não são assumidas quaisquer garantias e/ou responsabilidades em relação aos resultados finais dos trabalhos executados. O dono de obra, o seu representante ou o empreiteiro, devem verificar a adequabilidade dos nossos produtos aos usos e finalidades pretendidas, bem como as dosagens e consumo.

Concresive 1451

Adesivo epoxy tixotrópico para união de chapas de reforço de betão.

Descrição

Adesivo epoxy bicomponente.

Campos de aplicação

- Colagem de chapas metálicas para reforço estrutural de elementos de betão
- Colagem de peças pré-fabricadas.
- União de betão com aço, granito, etc.
- Em geral, para qualquer problema de união.
- Ancoragem de pernos ou armaduras.
- Adesivo para bandas de selagem de juntas.

Para outras aplicações contactar a BASF C. C. Portugal.

Propriedades

- Consistência plástica e dúctil.
- Facilmente aplicável.
- Elevada aderência a suportes metálicos e betão.
- Elevadas resistências mecânicas.
- Elevada tixotropia.
- Endurecimento sem retracção.
- Excelente aderência sem primário.

Consumo

Depende essencialmente do método de aplicação e das características do suporte. Em geral o consumo aproximado é de 1,5 a 2kg de CONCRESSIVE 1451 por m² de superfície.

Ficha de aplicação

Preparação do suporte

O suporte deve ser firme (resistência à tracção mínima de 1,5 N/mm²) e estar limpo, isento de óleos e gorduras, seco e isento de leitada de cimento.

Deve estar seco (humidade máxima 4%).

Suportes antigos devem ser limpos mecanicamente, por exemplo com jacto de areia. Eliminar as oxidações das superfícies metálicas e limpar com jacto de areia ou com solvente.

Mistura

CONCRESSIVE 1451 é fornecido pronto a usar e nas



proporções correctas de mistura.

Misturar o componente II ao componente I e misturar com berbequim de baixas rotações, até obter uma pasta homogénea. Evitar a oclusão de ar.

Não são recomendáveis, em caso algum, misturas parciais.

Aplicação

Aplicar uniformemente com espátula ou talocha. Em superfícies rugosas deve assegurar-se que todas as irregularidades ficam cobertas.

É recomendável a aplicação de CONCRESSIVE 1451 sobre as duas superfícies a unir, pressionando para assegurar o contacto.

Limpeza de ferramentas

A limpeza pode ser feita com diluente universal, enquanto o produto estiver fresco. Depois de endurecido só pode ser removido mecanicamente.

Embalagem e armazenamento

CONCRESSIVE 1451 é fornecido em embalagens de 5kg.

Armazenar nas suas embalagens originais fechadas em local seco, fresco e protegido da humidade durante 24 meses.

Manipulação e transporte

Devem observar-se as medidas preventivas usuais para a utilização de produtos químicos, como por exemplo não

comer, beber ou fumar durante a aplicação e lavar as mãos antes de uma pausa e no final do trabalho.

Pode consultar-se informação específica de segurança no manuseamento e transporte do produto na sua Ficha de Segurança.

A eliminação do produto e da sua embalagem deve realizar-se de acordo com a legislação e é da responsabilidade do aplicador final.

Deve ter-se em conta

- Não aplicar sobre suportes com temperaturas inferiores a +10°C nem superiores a +25°C.
- Não adicionar areia, cimento ou substâncias que possam afectar as propriedades do material.

Características técnicas

Características	Métodos	Valores
Densidade da mistura:	EN ISO 2811-1	aprox. 1,7 g/cm ³
Pot life:	EN ISO 9514	aprox. 60 min.
Tempo de trabalhabilidade:	EN ISO 9514	aprox. 60 min.
Tempo aberto:	ENE-EN 1346	aprox. 30 min.
Temperatura de aplicação (suporte e material):	-	de +10°C a +30°C
Resistência à compressão após: 24 horas 7 dias	UNE-EN 12190	aprox. 50,0 N/mm ² aprox. 85,0 N/mm ²
Aderência por tracção sobre betão:	UNE-EN 1542	> 2,5 N/mm ² (ruptura do betão)
Aderência por tracção sobre aço:	UNE-EN 1542	aprox 14,2N/mm ²
Aderência: 50°C 60°C 70°C	UNE-EN 12188	aprox. 80 N/mm ² aprox. 90 N/mm ² aprox. 100 N/mm ²

Os tempos de endurecimento estão medidos a 20°C e 65% de H.R. Temperaturas superiores e/ou H.R. inferiores podem reduzir estes tempos e vice-versa. Os dados técnicos apresentados são fruto de resultados estatísticos e não representam mínimos garantidos.

BASF Construction Chemicals Portugal, S.A.

Sede: R. de S. Sebastião, 57 - Cabra Figa - 2635-047 RIO DE MOURO - T. 21 915 85 50 - F. 21 915 88 63

D. Norte: Rua Manuel Pinto de Azevedo, 626 - 4100-320 PORTO - T. 22 616 60 00 - F. 22 610 67 02

www.basf-cc.pt

Revisão 0 em Setembro de 2008

A presente Ficha Técnica perde a sua validade com a emissão de uma nova edição.

O aconselhamento técnico sobre como usar os nossos produtos, verbal ou de forma escrita, é baseado nos nossos melhores conhecimentos científicos e práticos. Não são assumidas quaisquer garantias e/ou responsabilidades em relação aos resultados finais dos trabalhos executados. O dono de obra, o seu representante ou o empreiteiro, devem verificar a adequabilidade dos nossos produtos aos usos e finalidades pretendidas, bem como as dosagens e consumo.