



**TÉCNICO**  
LISBOA

# **Catálogo de técnicas laboratoriais de diagnóstico em amostras recolhidas de edificações em serviço**

**Phillip Miranda Teixeira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:

**Engenharia Civil**

## **Orientadores**

Prof.ª Dr.ª Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Prof.º Dr. Manuel Francisco Costa Pereira

## **Júri**

Presidente: Prof.º Dr. Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Orientador: Prof.ª Dr.ª Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Prof.º Dr. Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

**Outubro de 2017**





## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação foi, para mim, uma tarefa complicada de se realizar, pelo esforço necessário, o tempo despendido e as dificuldades encontradas. Como tal, foi de grande importância o apoio de todas as pessoas que me acompanharam ao longo deste período. Os meus sinceros agradecimentos a todas elas, das quais destaco:

A Professora Inês Flores-Colen, minha orientadora científica, pela escolha do tema, pela partilha de conhecimentos, pela paciência e motivação que demonstrou e principalmente pela disponibilidade total ao longo de todo o trabalho.

O Professor Manuel Pereira, meu co-orientador, pela sabedoria que partilhou e pela sua disponibilidade em mostrar o laboratório de mineralogia e petrologia do IST que contribuíram para o desenvolvimento da minha dissertação.

A minha família, pelo seu apoio, o seu incentivo, e os seus sacrifícios em prol da criação de oportunidades de crescimento para mim foram essenciais para que me fosse possível chegar ao ponto em que atualmente me encontro.

A minha namorada Marlene, por todo o carinho, toda a paciência e todo o apoio que tem demonstrado, mas sobretudo por ser a pessoa com quem eu posso sempre contar, qualquer que seja a situação. Obrigado por partilhares este esforço comigo.

Os meus amigos e colegas, com os quais tive o prazer e privilégio de partilhar esta etapa da minha vida, pela amizade, ânimo e motivação transmitidos durante este trabalho.



## RESUMO

O património construído está sujeito a um constante desgaste dos elementos construtivos e estruturais desde a sua construção. A agressividade do meio envolvente em que se insere, a durabilidade dos materiais constituintes, os excessos cometidos durante a utilização, as deficiências na construção e na conceção, são alguns exemplos de causas comuns que, de forma isolada ou conjugada, resultam numa deterioração das edificações ao longo do seu ciclo de vida. Para além destes exemplos, acresce a degradação imediata dos elementos da edificação, decorrentes de ações acidentais, normalmente de origem externa às construções. As intervenções de manutenção e reabilitação são necessárias para restabelecer as condições de funcionalidade, salubridade e segurança das edificações afetadas.

A reabilitação de edificações continuará a crescer nos próximos anos, até se consolidar como um sector de grande importância na área da construção. Para acompanhar esta realidade, é importante desenvolver metodologias de inspeção e diagnóstico de modo a que todos os intervenientes no processo de reabilitação de edifícios, disponham de um instrumento de trabalho que permita de forma eficiente e eficaz, obter informações corretas e adequadas sobre o edifício objeto de intervenção.

No sentido de sistematizar e divulgar a informação relevante para técnicas de diagnóstico, a presente dissertação apresenta 15 fichas de técnicas de diagnóstico realizadas em laboratório a partir de amostras recolhidas de edificações em serviço. Estas fichas poderão integrar um catálogo de técnicas de diagnóstico enquanto instrumento de apoio às ações de manutenção e de reabilitação do património construído.

**Palavras-chave:** Ensaios, Anomalias, Amostras, Laboratório, Técnicas de diagnóstico, Patologia da construção



## **ABSTRACT**

The built heritage is subject to constant degradation of its building and structural elements since its construction. The aggressiveness of the environment in its surroundings, the durability of its materials and the deficiencies in its construction are just some examples of common causes that result in building deterioration throughout its life cycle. In addition to these examples, accidental actions can cause instant degradation of building elements. Maintenance and renovation actions are necessary to restore the original functionality and safety conditions of affected buildings.

Building rehabilitation will continue to increase in the next years and eventually consolidate into a major sector in construction. Therefore, it is crucial to create survey and diagnostic methodologies so that all participants in building rehabilitation have at their disposal a tool to effectively and efficiently obtain correct and adequate information about buildings rehabilitation.

In order to systematize and disseminate information relevant to diagnostic techniques, this dissertation presents 15 technical sheets of diagnostic methods performed in laboratories on in-service building samples. These technical sheets can be incorporated into an existing diagnostic techniques catalog and serve as an instrument to support building rehabilitation and maintenance.

**Keywords:** Testing, Anomalies, Samples, Laboratory, Inspection techniques, Building pathology



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE GERAL .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	X
ACRÓNIMOS .....	XI
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA .....	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
2 PATOLOGIA E DIAGNÓSTICO .....	3
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3
2.2 ENQUADRAMENTO .....	4
2.3 INSPEÇÃO TÉCNICA E DIAGNÓSTICO DA PATOLOGIA .....	6
2.3.1 Recolha e análise documental .....	7
2.3.2 Levantamento de anomalias da construção .....	8
2.3.3 Realização de ensaios .....	10
2.3.4 Amostragem .....	10
2.3.5 Diagnóstico de anomalias .....	12
2.4 LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA CIVIL .....	15
2.4.1 O papel dos laboratórios .....	15
2.4.2 Laboratórios de Engenharia Civil em Portugal .....	16
2.4.3 Documentos normativos utilizados nos laboratórios .....	20
2.4.4 Ensaios laboratoriais no diagnóstico de anomalias .....	22
2.5 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO LABORATORIAIS .....	23
2.5.1 Classificação das técnicas de diagnóstico .....	23
2.5.2 Técnicas de perceção sensorial (ópticas) .....	24
2.5.3 Técnicas de ação mecânica .....	25
2.5.4 Técnicas de interação com radiação eletromagnética .....	25
2.5.5 Técnicas de reação química .....	27
2.5.6 Técnicas hidrodinâmicas .....	27
2.5.7 Técnicas de análise térmica .....	30
2.5.8 Técnicas elétricas / eletrónicas .....	31

2.5.9 Tabela resumo .....	31
2.6 METODOLOGIAS .....	33
2.6.1 Importância de um catálogo de técnicas de diagnóstico.....	33
2.6.2 Modelos de catálogos existentes.....	33
2.6.3 Fichas de diagnóstico.....	35
3 CATÁLOGO DE TÉCNICAS .....	39
3.1 NOTA INTRODUTÓRIA .....	39
3.2 MODELO DE FICHA DO CATÁLOGO .....	39
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO CONTIDA NAS FICHAS DO CATÁLOGO .....	40
3.4 ESTRUTURA DO CATÁLOGO.....	44
3.5 APRESENTAÇÃO DO CATÁLOGO.....	46
4 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	77
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	77
4.2 CONCLUSÕES FINAIS .....	77
4.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
ANEXOS .....	I
ANEXO I – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO CATÁLOGO DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO I	



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Incidências das causas de anomalias nos edifícios .....	5
Figura 2.2 – Ações de um método de diagnóstico de patologias da construção .....	7
Figura 2.3 – Equipamentos utilizados na inspeção preliminar .....	8
Figura 2.4 – Planta e Corte transversal de um edifício, evidenciando as deformações do pavimento, o padrão de fissuras e zonas de humidade .....	9
Figura 2.5 – Amostras para ensaio .....	11
Figura 2.6 – Quantidade de ensaios disponíveis por cada laboratório .....	19
Figura 2.7 – Lupa binocular .....	24
Figura 2.8 – Microscópio petrográfico com ótica digital .....	24
Figura 2.9 – Prensa hidráulica com indicador de leitura .....	25
Figura 2.10 – Abrasímetro de Taber .....	25
Figura 2.11 – Microtomógrafo: SKYSACAN 1175 .....	26
Figura 2.12 – Espetrómetro Jasco FT/IR-6600 .....	26
Figura 2.13 – Difractómetro de raios-X Panalytical X'Pert3 Powder II .....	26
Figura 2.14 – Espetrómetro de fluorescência de raios-X ZSX Primus II .....	26
Figura 2.15 – Análise química .....	27
Figura 2.16 – Sistema de cromatografia .....	27
Figura 2.17 – Amostras sob ensaio de absorção por capilaridade .....	28
Figura 2.18 – Amostras sob ensaio de absorção de água por imersão e secagem em estufa .....	28
Figura 2.19 – Porosímetro de mercúrio AutoPore IV .....	28
Figura 2.20 – Balança hidrostática .....	29
Figura 2.21 – Equipamento de medição da permeabilidade ao vapor de água .....	29
Figura 2.22 – Aplicação de gotas de água sobre amostra com pipeta .....	29
Figura 2.23 – Termobalança .....	30
Figura 2.24 – Sistema de análise térmica (ATG-DTA) Netzsch STA 449 F1 Jupiter .....	30
Figura 2.25 – Equipamento que induz a penetração de iões de cloreto .....	31
Figura 2.26 – Microscópio eletrónico de varrimento JEOL JSM-7500F .....	31
Figura 2.27 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico utilizadas em Engenharia Civil .....	35
Figura 2.28 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos não estruturais de edifícios correntes .....	36
Figura 2.29 – Ficha de técnica de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado .....	37
Figura 2.30 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico em edifícios antigos .....	38
Figura 3.1 – Modelo de ficha de diagnóstico (frente e verso) .....	40
Figura 3.2 – Exemplo do campo de referência para uma técnica de ação mecânica .....	41

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Anomalias frequentes e causas prováveis .....	14
Tabela 2.2 – Exemplos de laboratórios de Engenharia Civil em Portugal .....	16
Tabela 2.3 – Organismos de normalização .....	21
Tabela 2.4 – Designação de normas.....	22
Tabela 2.5 – Técnicas de perceção sensorial (óticas) .....	24
Tabela 2.6 – Técnicas de ação mecânica.....	25
Tabela 2.7 – Técnicas de interação com radiação eletromagnética .....	26
Tabela 2.8 – Técnicas de reação química .....	27
Tabela 2.9 – Técnicas hidrodinâmicas .....	28
Tabela 2.10 – Técnicas de análise térmica.....	30
Tabela 2.11 – Técnicas elétricas / eletrónicas .....	31
Tabela 2.12 – Ensaios realizados pelos laboratórios.....	32
Tabela 2.13 – Catálogos de patologia da construção .....	34
Tabela 3.1 – Índice do catálogo.....	46

## ACRÓNIMOS

<b>AQS</b>	<i>Agence Qualité Construction</i>
<b>ASTM</b>	<i>American Standard Test Method</i>
<b>ATD</b>	Análise Térmica Diferencial
<b>ATG</b>	Análise Termogravimétrica
<b>BRE</b>	<i>Building Research Establishment</i>
<b>CEN</b>	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
<b>CIB</b>	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
<b>DRX</b>	Difratometria de Raios-X
<b>EFRX</b>	Espectrometria de fluorescência de raios-X
<b>EN</b>	<i>European Standard</i>
<b>FEUP</b>	Faculdade de Engenharia do Porto
<b>FTIR</b>	<i>Fourier-Transform Infrared</i>
<b>IC</b>	<i>Ion Chromatography</i>
<b>IPAC</b>	Instituto Português de Acreditação
<b>IPQ</b>	Instituto Português da Qualidade
<b>ISEL</b>	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>ISQ</b>	Instituto de Soldadura e Qualidade
<b>IST</b>	Instituto Superior Técnico
<b>ITeCons</b>	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção
<b>LabMat</b>	Laboratório de Materiais
<b>LABTEC</b>	Laboratório de Ensaios de Betão e Cimentos
<b>LAMPIST</b>	Laboratório de Mineralogia e Petrologia
<b>LB</b>	Laboratório de Betões
<b>LC</b>	Laboratório de Construção
<b>LCGC</b>	Laboratório Central do Grupo Cimpor

<b>LEEC</b>	Laboratório de Ensaios de Engenharia Civil
<b>LEMC</b>	Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção
<b>LERecPa</b>	Laboratório de Ensaios de Revestimentos de Paredes
<b>LMC</b>	Laboratório de Materiais de Construção
<b>LNEC</b>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<b>LREC</b>	Laboratório Regional de Engenharia Civil
<b>MicroCT</b>	<i>Micro Computed Tomography</i>
<b>NBN</b>	<i>Belgische Norm</i>
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NP</b>	Norma Portuguesa
<b>ONN</b>	Organismo Nacional de Normalização
<b>RILEM</b>	<i>Réunion Internationale des Laboratoires D'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions</i>
<b>SEM</b>	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
<b>SPQ</b>	Sistema Português da Qualidade
<b>UA</b>	Universidade de Aveiro
<b>UNL</b>	Universidade Nova de Lisboa

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

A sociedade dispõe hoje de uma vasta infraestrutura construída com a qual procura corresponder às necessidades e expectativas das populações, materiais (abrigo, produção, armazenamento e comunicação, entre outros) e culturais (religião, entretenimento, arte, etc.). Esta infraestrutura, construída ao longo dos séculos, encontra-se submetida às mais variadas ações devendo ser constantemente mantida, reabilitada e adaptada a novas exigências de utilização e conforto [1].

É hoje um problema comum a ocorrência de anomalias nos edifícios, quer se trate de edifícios de habitação ou de serviços, antigos ou recentes. A existência destas anomalias, que podem ter implicações na funcionalidade do edifício ou na sua segurança estrutural, colocando em risco a saúde e salubridade e comprometendo o conforto e a segurança dos seus utilizadores, remetem para a importância da manutenção e reabilitação.

Antes de qualquer intervenção num edifício, importa saber qual o seu estado de conservação, quais as anomalias existentes e a sua extensão, de modo a ser possível atuar de forma racional e eficaz. Só assim, é possível garantir com alguma segurança o sucesso das intervenções de manutenção e reabilitação [W1].

As intervenções necessárias devem basear-se em informação fidedigna, recolhida através de técnicas de inspeção e ensaio, que podem proporcionar dados importantes aos técnicos responsáveis pelas intervenções de manutenção e reabilitação, apoiando a [W2]:

- Determinar as causas de danos e anomalias existentes;
- Avaliar corretamente a importância e a extensão das degradações existentes;
- Adotar medidas corretivas mais adequadas;
- Definir e planear atempadamente as intervenções.

A patologia da construção tem sido objeto de inúmeros estudos, existindo uma grande quantidade de informação técnica disponível que, no entanto, encontra-se dispersa. É imprescindível proceder à sua sistematização, de modo a facilitar a análise das causas e a resolução das anomalias [2]. Assim, a elaboração de catálogos poderá constituir uma importante ferramenta de diagnóstico de fenómenos patológicos e ser um passo importante no contributo para os profissionais na área da construção.

## **1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA**

O objetivo principal deste trabalho consiste na pesquisa e estruturação de informação com o propósito de elaborar um catálogo com fichas sobre técnicas de diagnóstico aplicadas na construção civil. Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Selecionar as técnicas de diagnóstico que são realizadas em laboratório sobre amostras recolhidas de edificações em serviço;
- Sistematizar a informação relevante para as técnicas de diagnóstico num modelo de ficha proposto;
- Elaborar um catálogo de técnicas laboratoriais de diagnóstico em amostras recolhidas de edificações em serviço, no sentido de disponibilizar informação que facilite os profissionais da área.

Foi efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre as anomalias da construção onde procurou-se fundamentar o tema em bibliografia nacional e internacional através de livros, publicações científicas, documentos didáticos, documentos normativos e dissertações.

## **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos. O capítulo 1 constitui a introdução da dissertação, no qual se fazem algumas considerações iniciais acerca do âmbito da mesma e descreve-se os objetivos e a metodologia utilizada.

No capítulo 2 é efetuado um levantamento do estado da arte relativamente à patologia da construção, onde é apresentado de forma geral os seus conceitos, são abordadas metodologias de realização de diagnóstico de anomalias, assim como a apresentação e breve descrição de alguns laboratórios e das técnicas de diagnóstico de ensaio em laboratório sobre amostras recolhidas em serviço.

No capítulo 3 é apresentado o modelo de ficha do catálogo desenvolvido, caracterizado o seu conteúdo e descrito o seu processo de elaboração. Por fim, é definida a estrutura geral do catálogo de técnicas de diagnóstico seguida da sua apresentação.

O capítulo 4 inclui as conclusões do trabalho desenvolvido e sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos no âmbito da dissertação. As referências bibliográficas, webgráficas e normas e especificações indicam todos os documentos que serviram de apoio à elaboração da dissertação. Em anexo, encontra-se a bibliografia exclusiva ao catálogo.

## 2 PATOLOGIA E DIAGNÓSTICO

### 2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Apesar de serem geralmente considerados bens de grande longevidade, todos os edifícios entram num processo de degradação a partir do final da sua construção. Inicialmente, este processo evolui de forma relativamente lenta, mas, se o edifício não for sujeito a uma manutenção regular, a degradação vai acelerando, até a construção deixar de ser utilizável [3].

Dentro do sector da construção, a atividade profissional tende a deslocar-se, cada vez mais, da construção para a manutenção e reabilitação das construções existentes, o que tem enormes vantagens para a sociedade e para o País, em termos económicos, sociais, ambientais e culturais [1].

Ao contrário da construção nova, em que, para além da recolha documental, a informação a obter localmente visa principalmente na topografia e as características do terreno, as intervenções de reabilitação ou de simples manutenção fazem apelo ao conhecimento da geometria, das propriedades, do estado de conservação das construções, dos materiais que as constituem e das ações a que foram e estão submetidas [17].

Essa necessidade de recolha de informação deu origem a um novo segmento de atividade, no ramo da patologia da construção, que se ocupa do levantamento, caracterização e diagnóstico das anomalias de edificações [1].

O termo patologia é definido, como o estudo sistemático de doenças com o objetivo de compreender as suas causas, sintomas e tratamento. Num contexto médico a pessoa em causa sujeita-se a uma análise detalhada, tendo em conta a sua idade, saúde e estilo de vida. A abordagem é semelhante no estudo de edifícios e é esta metodologia científica que veio a ser denominada *patologia da construção* [4].

Outras definições dadas para a patologia da construção:

- O tratamento sistemático de defeitos de construção, as suas causas, consequências e respetivas medidas corretivas [5];
- O estudo ao longo do tempo de falhas em materiais e componentes de construção [6];
- O estudo das anomalias que ocorrem nos edifícios, incluindo a análise dos sintomas, dos mecanismos, das causas e consequências dessas anomalias [7].

## 2.2 ENQUADRAMENTO

A patologia da construção constitui uma matéria vasta e tem despertado um grande interesse, sendo por isso objeto de inúmeros estudos, visando o conhecimento mais próximo dos verdadeiros mecanismos das mais diversas situações de anomalia nas construções.

Entende-se por anomalia, verificada num determinado elemento de construção (estrutura, parede, pavimento, etc.), o fenómeno que pode conduzir à redução do desempenho previsto desse elemento e através da sua manifestação externa se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenómenos envolvidos [7].

As anomalias existentes num edifício podem constituir uma grande variedade, que vai de um simples desgaste material a um desabamento de um edifício. Correntemente é habitual subdividir as anomalias que se registam em edifícios em dois grandes grupos consoante se trate de anomalias estruturais – que afetam ou estão na dependência direta do comportamento estrutural do imóvel e que podem eventualmente vir a comprometer a segurança estrutural do mesmo – ou de anomalias não estruturais – que podem afetar outros elementos de construção, determinados materiais de acabamento ou mesmo instalações especiais, nomeadamente redes de distribuição de água, redes de drenagem de águas residuais ou redes de energia elétrica e telecomunicações [8].

Geralmente os agentes causadores de anomalias estão associados às cargas introduzidas, variação de humidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos e biológicos entre outros. Estes agentes podem se agrupar nos seguintes três tipos [7]:

### I) Ações naturais

Ocorrem frequentemente e prendem-se com a inserção do edifício em determinado meio climático, afetando principalmente a sua envolvente exterior. Podem ser de origens físicas, químicas e biológicas.

### II) Desastres naturais

Ocorrem raramente de forma imprevisível e são ações que têm origem em fenómenos naturais como sismos, tempestades ou cheias.

### III) Ações acidentais

As ações acidentais conjugam todo tipo de situações de origem humana e caracterizam-se por solicitações não previstas sobre o edifício (incêndio, choque, explosão, inundação, etc.).



As anomalias são originadas por falhas que se diferenciam bastante no tempo de ocorrência (Figura 2.1) e que podem ser determinadas nas diferentes fases da construção:

I) Fase de conceção

Surgem antes do início da construção e estão associadas, de uma forma geral, a erros de projeto, planeamento e especificação de materiais.

II) Fase de execução

Ocorrem durante a construção e são geradas por erros na execução (deficiente interpretação do projeto, armadura mal posicionada, mistura de betão incorreta, falta de fiscalização entre outros).

III) Fase de utilização

Advêm do período de utilização da construção e são originadas por ações do ambiente, alterações introduzidas na construção, alterações devido ao processo de degradação no tempo e falta de manutenção entre outras.

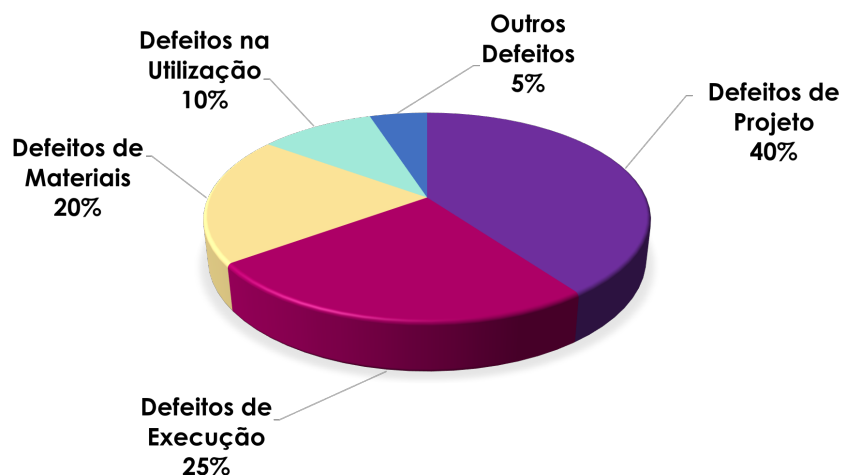


Figura 2.1 – Incidências das causas de anomalias nos edifícios [9]

Os problemas patológicos apresentam-se na maioria das edificações, com maior ou menor intensidade, variando no período e forma de manifestação. É importante a sua deteção precoce, visto que, o quanto antes for tratado, menor será o seu impacto no edifício como também o custo da reparação. Para o sucesso no tratamento de anomalias é necessário um diagnóstico adequado e completo onde deve-se esclarecer todos os aspetos do problema, nomeadamente as suas origens, causas e mecanismos de ocorrência.

## 2.3 INSPEÇÃO TÉCNICA E DIAGNÓSTICO DA PATOLOGIA

A inspeção técnica e o diagnóstico das anomalias da construção apresentam-se como fatores determinantes numa reabilitação sustentável do património construído. O conhecimento preciso do fenómeno patológico e das suas reais causas permitem uma atuação direta sobre a anomalia e conseqüentemente uma reabilitação concisa e sustentável. Através do diagnóstico são identificadas as origens do problema, as suas causas, os fenómenos intervenientes e os seus mecanismos de ocorrência [10].

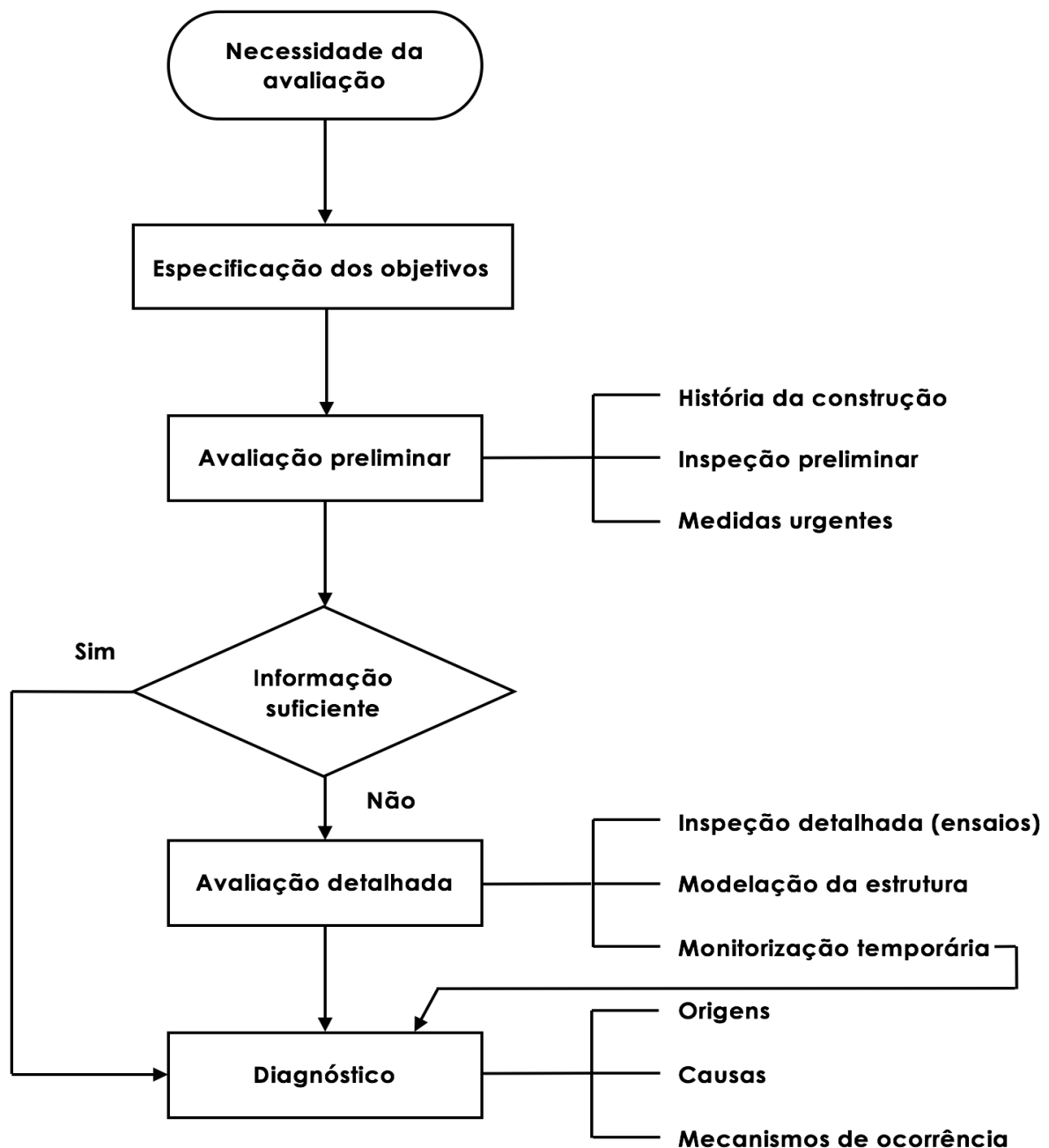
A nível da reabilitação, cada caso deve ser analisado separadamente, de modo a que a intervenção seja tão específica quanto possível. É por isso extremamente importante, desenvolver uma metodologia de base, eficaz para efetuar uma reabilitação adequada ao problema em causa [32].

É importante salientar que a escolha do método de diagnóstico dependerá da consideração de alguns fatores, como o valor histórico do edifício em estudo, os danos resultantes da aplicação dos métodos de carácter destrutivo ou semi-destrutivo e os custos relativos dos vários métodos de diagnóstico face aos possíveis benefícios [32].

Deste modo, as manifestações anómalas são o ponto de partida para desencadear o processo de investigação. A metodologia a seguir para a identificação de anomalias, estabelecimento das suas causas prováveis e proposta para intervenção passa genericamente pelas seguintes fases [1] [11]:

1. Obtenção de informação sobre a construção através de peças desenhadas, fotografias e levantamento topográfico do terreno;
2. Levantamento de anomalias na construção e envolvente;
3. Avaliação da incidência de cada tipo de anomalia nas diferentes partes do edifício e envolvente;
4. Realização de ensaios no local, ou quando necessário recolher amostras no local para ensaios laboratoriais;
5. Elaboração do diagnóstico (determinação das causas responsáveis pelas anomalias, com base em todos os elementos analisados);
6. Determinação do processo de intervenção (proposta de soluções de reparação e/ou reforço).

Apresenta-se de seguida na figura 2.2 um fluxograma que ilustra as ações a percorrer da referida metodologia de diagnóstico.



**Figura 2.2** – Ações de um método de diagnóstico de patologias da construção, adaptado de [11]

### 2.3.1 Recolha e análise documental

A primeira etapa no diagnóstico destina-se à recolha, para posterior análise, de toda informação disponível sobre a construção, como as disposições de projeto, o sistema construtivo, a constituição das paredes, o tipo e ocupação dos espaços e as redes de canalizações. Outros tipos de informação que podem ser relevantes são por exemplo os dados climáticos da região onde a construção se localiza, reparações realizadas, alterações na vizinhança, escavações e o rebaixamento do nível freático. São também importantes as

informações recolhidas através das observações dos utilizadores dos edifícios, que podem ter conhecimento do estado atual, da fase de construção ou de outras ocorrências [12].

Esta ação deve ser capaz de levantar o historial da construção, envolvendo todas as atividades nele realizadas que de alguma maneira possam ter contribuído para o surgimento do problema.

### 2.3.2 Levantamento de anomalias da construção

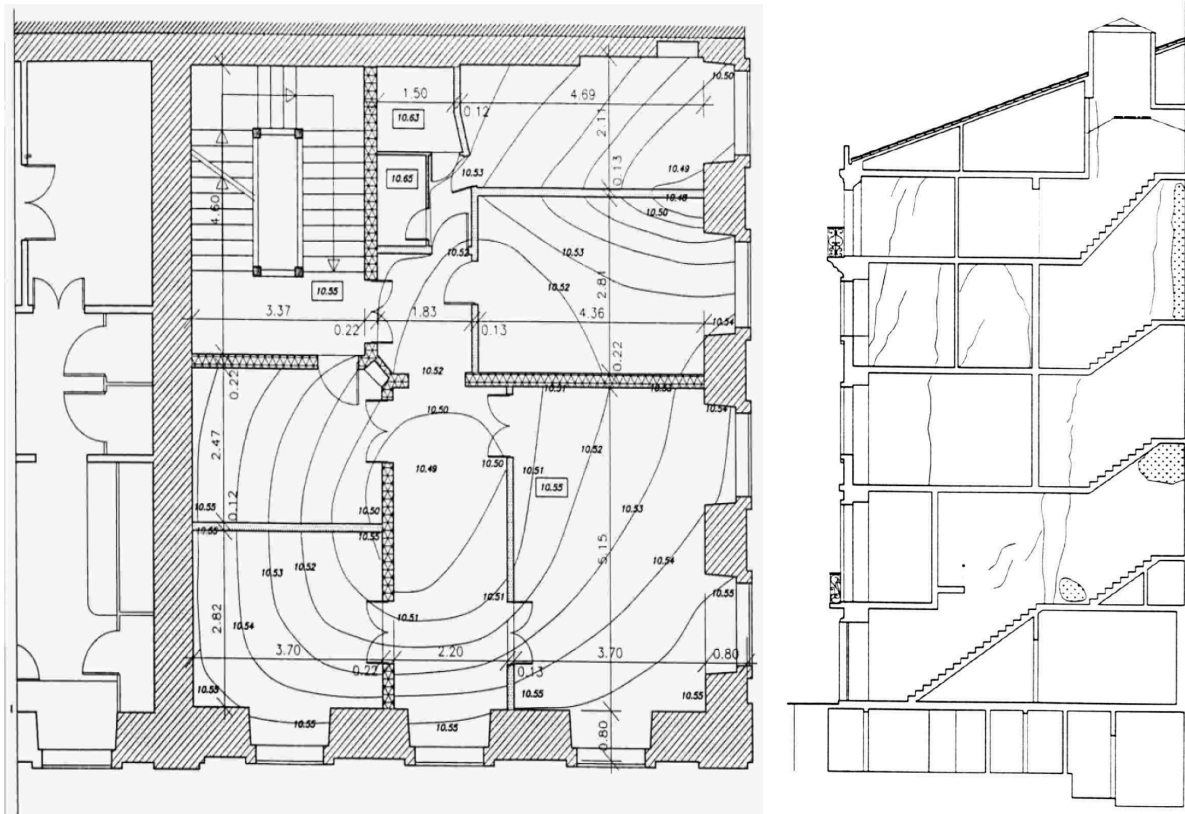
Designa-se habitualmente por *inspeção preliminar* de uma construção o levantamento da situação de patologia existente. Este levantamento é feito com base numa inspeção da construção, realizada através da simples observação visual ou com o auxílio de equipamentos ou ferramentas simples (Figura 2.3) como lápis, canetas, giz e marcadores, termómetro, réguas, fita métrica, régua de fendas, clinómetros, fio de prumo, martelo, chave de fendas, esclerómetro, escopro, lanterna, maquina fotográfica binóculos, etc. Esta vistoria normalmente é limitada pelos sentidos humanos e permite apenas a observação macroscópica do problema [11].



Figura 2.3 – Equipamentos utilizados na inspeção preliminar [31]

O levantamento de anomalias de um edifício refere-se ao levantamento das causas, sintomas e natureza dos problemas por ele apresentados, no seu estado atual. O desconhecimento das principais anomalias, das suas formas de manifestação e das possíveis causas que atuam na sua origem, tem levado por vezes, a diagnósticos incorretos, e portanto, à adoção de medidas inadequadas de intervenção. Assim, o levantamento de anomalias é determinante no planeamento das inspeções e ensaios assim como nas medidas de intervenção e reparação a realizar [13].

Para uma interpretação e diagnóstico adequados, uma vez referenciadas e identificadas as anomalias, estas devem ser registadas em plantas, alçados e cortes do edifício e dos elementos afetados (Figura 2.4). Todos estes recursos devidamente correlacionados, constituem um levantamento e possibilitam a visualização de um padrão nas anomalias que pode constituir um elemento precioso de interpretação e diagnóstico. Estes registos são habitualmente acompanhados por uma reportagem fotográfica detalhada, a qual poderá, inclusivamente, revelar pormenores que escapam à observação visual [14].



**Figura 2.4** – Planta e Corte transversal de um edifício, evidenciando as deformações do pavimento, o padrão de fissuras e zonas de humidade [W2]

Após o levantamento de anomalias é feita uma primeira avaliação da situação (avaliação preliminar), com vista a tomada de decisão sobre a necessidade ou não de continuar o diagnóstico, bem como eventuais medidas urgentes a tomar. Existem anomalias que apresentam sintomas bastante característicos e que permitem a formulação imediata do diagnóstico final. Nestes casos simples é possível propor desde logo as medidas de intervenção/correção. Se a informação disponível não for suficiente para a elaboração do diagnóstico, esta deverá ser complementada com uma *inspeção detalhada*, através da realização de ensaios e medições na construção.

### **2.3.3 Realização de ensaios**

Designa-se habitualmente por *inspeção detalhada* de uma construção a realização de ensaios e medições com vista à avaliação qualitativa e quantitativa, das características dos materiais constituintes da construção (caracterização química, composição mineralógica, características petrográficas, propriedades físicas, hídricas e mecânicas) bem como à caracterização das anomalias e mecanismos de degradação presentes (cristalização de sais, ciclos termo-higrométricos, radiação UV entre outros) [11].

Os ensaios podem distinguir-se através do local onde se realizam. Os ensaios *in situ* caracterizam-se pela utilização de equipamento específico no próprio local da obra medindo/avaliando determinadas características do edifício ou de um dos seus elementos. Os ensaios laboratoriais são ensaios realizados em laboratório sobre amostras recolhidas da construção ou sobre materiais ou componentes similares aos usados em obra [1] [11].

Os ensaios podem ainda ser classificados quanto ao grau de destruição que provocam. No caso de ensaios *in situ* é usual avaliar o grau de destruição provocado nos elementos do edifício em que os ensaios são aplicados e podem ser classificados como destrutivos, semi destrutivos ou não destrutivos. Os ensaios destrutivos implicam a destruição ou alteração do elemento construtivo através de alterações permanentes físicas, químicas, mecânicas, dimensionais e os elementos construtivos afetados necessitam de uma ação de reparação. Os ensaios semi destrutivos provocam danos ligeiros na construção e são de fácil reparação. Os ensaios não destrutivos são considerados não prejudiciais para o desempenho do elemento em análise dado que não provocam danos nem alterações nestes. Nos ensaios laboratoriais a classificação é referida na literatura técnica de forma análoga aos ensaios *in situ* [1] [11].

O número de ensaios a realizar dependerá de vários fatores entre os quais a diversidade previsível das populações a caracterizar, o custo unitário ou o tempo necessário para a sua execução. Por razões de economia, os ensaios devem incidir sobre as zonas críticas da construção, definidas para o problema em estudo [14].

### **2.3.4 Amostragem**

A recolha de amostras em condições de serviço para análise em laboratório pode ser utilizada como meio complementar à interpretação dos meios menos intrusivos, tais como a inspeção visual e os ensaios *in situ*. A medição em laboratório dos parâmetros de amostras recolhidas durante as inspeções pode fornecer dados relevantes dentro de uma metodologia de

diagnóstico, especialmente quando não existem ensaios *in situ* para analisar certos parâmetros em serviço [15].

Os requisitos de amostragem como o número, a quantidade e a qualidade das amostras dependem do tipo de análises que serão realizadas nos laboratórios e que devem estar especificados nos procedimentos do ensaio (normas e especificações técnicas). Tendo em conta que garantir uma representação da construção através das amostras se torna uma tarefa difícil são concebidas estratégias para a sua recolha. Deste modo, o cruzamento entre a inspeção visual e técnicas de ensaio *in situ* auxiliam para uma melhor decisão na recolha das amostras [34].

Assim sendo, a extração das amostras deve ser alvo de uma especificação cuidada, nomeadamente quanto ao seu número, dimensão e localização na construção (carotes no caso de elementos de alvenaria ou betão; pequenos troços de elementos estruturais de madeira ou aço; fragmentos ou pó de qualquer elemento ou solo) (Figuras 2.5a) e 2.5b)), de modo a que a informação obtida tenha qualidade suficiente. No caso de elementos estruturais é necessário verificar se a extração de amostras não terá impacto na segurança da estrutura [11].



**a)** Carote de pavimento em betão    **b)** Amostras de reboco em pó identificadas em saquetas [30]

**Figura 2.5 – Amostras para ensaio**

Na recolha das amostras importa proceder à descrição e à representação gráfica da zona em causa, do número de amostras extraídas, à descrição visual das amostras, tirando fotografias do local antes e depois da sua extração. Importa relembrar que este processo é sempre algo destrutivo, pelo que é necessário [16]:

- Limitar a recolha de amostras à menor quantidade possível, mas suficiente para permitir obter os resultados desejados;
- Estudar as formas de extração de modo a minimizar os danos;
- Ter cuidados com o processo de recolha para evitar a contaminação e a degradação das amostras;
- Proceder imediatamente à colmatação das lacunas produzidas, com meios adequados.

A amostragem deve ser realizada por pessoal técnico qualificado, com experiência nesse tipo de operações e com um conhecimento suficiente das técnicas de ensaio em que vão ser submetidas as amostras por forma a terem conhecimento dos cuidados necessários [16].

### **2.3.5 Diagnóstico de anomalias**

O diagnóstico é entendido como a procura e explicação das causas das anomalias, através da observação e análise dos seus efeitos. O procedimento a tomar face a uma situação de anomalia é muito variável de caso para caso, dependendo diretamente do tipo de deficiência em causa. A complexidade do comportamento das construções e a difícil relação causa-efeito levam a que seja conveniente uma análise de forma racional, procurando reunir a máxima informação sobre os vários fatores e condicionalismos que originam a ocorrência de anomalias [33].

O diagnóstico tendo como objetivo o entendimento de um quadro geral de fenómenos e manifestações, pressupõe um processo complexo de elaboração. A análise documental, o levantamento das anomalias, os ensaios *in situ* e de laboratório não são feitos no sentido de levantar as ocorrências ou quantificar sintomas isoladamente. Cada anomalia deve ser interpretada no sentido de compor progressivamente um quadro de compreensão de como funciona o edifício, como reage à ação dos agentes agressivos, porque surgiu e como se desenvolveu o problema patológico e assim por diante. Cada resultado só tem sentido se corretamente interpretado [18].

Em geral, a elaboração do diagnóstico das causas passa por uma prévia identificação dos sintomas correspondentes à anomalia, seguida de um exame detalhado da situação da construção e com base na análise de todos os elementos recolhidos, é possível, na generalidade dos casos, identificar as possíveis causas das anomalias. No entanto, é pouco provável que um efeito esteja associado a uma única causa, dado que a avaliação da situação depende muitas vezes na experiência e intuição do observador variando o grau de



fiabilidade [8] [33].

Frequentemente, o diagnóstico é elaborado de forma iterativa e por vezes, em correspondência com um processo de recolha de informação relevante que se desenvolve por etapas. Essa recolha de informação e sua posterior análise, pode incidir quer sobre os elementos de projeto, relatórios de obra, história anterior de ocorrência de situações de patologia [8].

O modo como se orienta o diagnóstico pode depender das situações concretas, em particular da gravidade da anomalia que afeta a construção e do que se prevê da evolução futura do comportamento dessa construção. A escolha de métodos de diagnóstico das causas pressupõe a opção pela via mais vantajosa de entre as diversas vias (em geral de número reduzido) que possibilitam a determinação da(s) causa(s) mais prováveis da ocorrência da anomalia em estudo. Ou seja, permite selecionar o modo de dirigir o esforço de investigação das causas quer ao nível da identificação dos sintomas quer do exame [8].

A Importância do diagnóstico de anomalias para os profissionais e estudantes na área de construção, assim como, responsáveis pela gestão edifícios, incide na necessidade de informação adequada sobre a qual basear as decisões. Esta necessidade pode surgir por uma variedade de razões por exemplo [4]:

- Avaliar a capacidade de desempenho da construção;
- Determinar as causas de deficiências ou anomalias, possibilitando assim uma intervenção mais adequada;
- Determinar a eficácia da reparação ou manutenção;
- Fornecer uma base para o planeamento de trabalho (reparação ou manutenção);
- Fornecer uma base para as alterações físicas (adaptação ou mudança de uso);
- Adotar medidas corretivas menos intrusivas e melhor adaptadas;
- Controlo da qualidade de trabalhos realizados.

Um diagnóstico correto proporciona uma identificação precisa das causas e a avaliação rigorosa da situação real é condição indispensável para a correta resolução do problema. Sem prejuízo da observação cuidada que é necessária fazer em cada caso particular, apresenta-se na tabela 2.1, de forma sintética, algumas anomalias mais frequentes na generalidade dos edifícios, antigos e recentes e as suas respetivas causas mais prováveis.

**Tabela 2.1 – Anomalias frequentes e causas prováveis [1]**

	Anomalia	Causas prováveis
Generalidade dos edifícios	Manchas e alterações localizadas dos revestimentos, nos últimos pisos	Infiltrações de água motivada por telhas partidas, impermeabilizações deterioradas, beirais deteriorados, drenagem da cobertura entupida ou deteriorada
	Idem, junto dos vãos	Infiltrações de água devido a caixilharias não estanque
	Idem, nos pisos interiores	Fugas em canalizações de água ou de esgoto
	Idem, junto ao piso térreo	Humidade ascendente devido à falta de isolamento das fundações ou das paredes enterradas
	Eflorescências e criptoflorescências	Humidade ascendente conduz à migração de sais no interior das paredes para o exterior
	Paredes fendilhadas, guarnecimentos de vãos partidos ou deslocados e rebocos destacados	Assentamento diferencial das fundações. Diferenças de temperatura
	Crostas Negras e outros tipos de sujidade	Ação de poluentes atmosféricos
	Desagregação biológica superficial	Presença de líquenes
Edifícios antigos	Deformações nas paredes de alvenaria (Barrigas), abaulamentos	Cedência das alvenarias devido a modificações ou aumento de cargas. Degradação da capacidade resistente da alvenaria. Evidenciam deslocamentos da alvenaria, sendo mais graves se envolverem apenas os paramentos exteriores, por corresponder à sua desintegração
	Fendas e fissuras	Evidenciam deformação da alvenaria. Podem ser antigas ou recentes, podendo estar ativas ou estabilizadas
	Fratra localizada de revestimentos e cantarias	Expansão por corrosão de elementos metálicos embebidos como chumbadouros, grampos ou ferrolhos
	Juntas de alvenaria abertas	Alteração e erosão das argamassas. Ação de vegetação infestante
	Vãos distorcidos, portas desalinhadas	Indicam assentamentos diferenciais, associados, por exemplo a alterações em pisos inferiores ou a problemas de fundações
	Enfraquecimento de elementos madeira	Ataque por insetos xilófagos (Madeira seca) Ataque por térmitas (Madeira húmida)
Edifícios correntes (Betão armado)	Fissuração sub-horizontal junto à laje de cobertura	Variações de temperatura
	Manchas de ferrugem	Deficiente execução do elemento de betão armado, deixando pontas de arame ou outros dispositivos de fixação que oxidaram, deposição prolongada de varões sobre cofragem húmida antes da betonagem
	Delaminação ou escamação superficial	Elemento excessivamente comprimido. Ataque químico
	Delaminação superficial com exposição das armaduras	Expansão motivada pela corrosão das armaduras devido a recobrimento insuficiente, betão superficial poroso, carbonatado ou com elevado teor em cloretos
	Flechas excessivas em lajes ou vigas	Excessos de carga, cedência da fundação, armadura inadequada ou mal posicionada. Betão de deficiente qualidade. Deficiência de cálculo

## **2.4 LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA CIVIL**

### **2.4.1 O papel dos laboratórios**

No limiar do séc. XIX surgem os laboratórios de ensaios de materiais no Reino Unido, em França e na Alemanha, revelando-se importante no apoio às observações de edificações, tornando a atividade mais consistente, na avaliação do comportamento estrutural e sobretudo na caracterização dos materiais o que permitiria as avaliações qualitativas das inspeções, através do diagnóstico [19].

Portugal aderiu a essa mais-valia técnica, adotando no início do séc. XX, alguns dos conhecimentos científicos dos outros países europeus, em prol dos trabalhos de conservação e reabilitação dos monumentos nacionais, pelo grande interesse demonstrado pelo Estado. Em 1920, com nova designação, surge o Laboratório de Estudos e Ensaios de Materiais (que mais tarde, em 1946, viria a dar origem ao LNEC), com o duplo objetivo de administração da construção de edifícios públicos e da conservação e restauro dos monumentos [19] [W6].

O estudo dos materiais, que, até fins do século XIX, constituía a quase exclusiva atribuição dos laboratórios, continua sendo hoje uma das mais volumosas e frutuosas atividades dos laboratórios destinados a apoiar a Engenharia Civil. Na verdade, são os laboratórios que permitem caracterizar as variadíssimas propriedades dos materiais de que depende o sucesso das obras, tais como a resistência sob ações estáticas e dinâmicas, a permeabilidade a líquidos e gases, as variações de dimensões resultantes de variações de temperatura e humidade e de ações químicas, as propriedades térmicas, as propriedades acústicas, a resistência ao fogo, a durabilidade sob ação de agentes químicos e biológicos, e mesmo características estéticas, como a cor [20].

Muitos ensaios, em especial os ensaios mecânicos, visam a determinação de propriedades a partir das quais, por meio de teorias, é possível prever o comportamento dos materiais em serviço. Quando não se dispõe de teoria de previsão adequada, tem de se realizar ensaios que simulem as ações em que os materiais se encontrarão submetidos, quer as provenientes do meio físico ambiente, quer do utilizador [20].

Os laboratórios dão a sua contribuição em relação aos materiais a usar, às ações exteriores a considerar, às formas a adotar, aos próprios processos de construção a seguir, e competem ainda a tarefa de verificação do comportamento da obra, isto é, do produto final da indústria da construção [20].

## 2.4.2 Laboratórios de Engenharia Civil em Portugal

Existem muitos laboratórios de Engenharia Civil em Portugal que, enquadrados como públicos (universitários, militares, setor do estado tutelados por ministérios) ou privados (fabricantes, empresas de consultoria e centrais de betão) ou ainda público-privados (parcerias), devem evidenciar que cumprem os requisitos regulamentares na sua área de atividade acreditada. Na tabela 2.2 apresenta-se exemplos de unidades laboratoriais de algumas das principais instituições do país.

**Tabela 2.2** – Exemplos de laboratórios de Engenharia Civil em Portugal [35] [36] [W6] [W7] [W8] [W9]

Enquadramento	Unidade laboratorial	Instituição
Público	Laboratório de Construção (LC)	Instituto Superior Técnico (IST)
	Laboratório de Mineralogia e Petrologia (LAMPIST)	Instituto Superior Técnico (IST)
	Laboratório de Materiais de Construção (LMC)	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL)
	Laboratório de Materiais de Construção	Universidade Nova de Lisboa (UNL)
	Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção (LEMC)	Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP)
	Laboratório de Engenharia Civil (LabCIVIL)	Universidade de Aveiro (UA)
	Laboratório de Ensaios de Betão e Cimentos (LABTEC)	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
	Laboratório de Ensaios de Revestimentos de Paredes (LERecPa)	
	Unidade Laboratorial de Materiais de Construção	Laboratório Regional de Engenharia Civil - Açores (LREC)
	Laboratório de Ensaios de Engenharia Civil (LEEC)	Laboratório Regional de Engenharia Civil - Madeira (LREC)
Privado	Laboratório de Materiais (LabMat)	Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ)
	Laboratório de Materiais (LM)	Teixeira Duarte, Engenharia e Construções, S.A
	Laboratório de Qualidade e Investigação & Desenvolvimento	Diamantino Brás Franco
	Laboratório Central do Grupo Cimpor (LCGC)	Grupo Cimpor Betão S.A
	Laboratório de Betões (LB) da SECIL	Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A
Publico/Privado	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITeCons)	

Normalmente a acreditação é um requisito legal para o exercício de determinada atividade de avaliação da conformidade. Esta consiste na demonstração e reconhecimento, através de uma avaliação efetuada por um organismo de acreditação, da competência técnica e de gestão de uma entidade de acordo com a norma NP EN ISO/IEC 17025. Esta qualificação visa garantir que os laboratórios possuem os equipamentos e procedimentos operacionais adequados. No caso dos laboratórios a efetuar ensaios em Portugal, o organismo de acreditação é o Instituto Português de Acreditação (IPAC) [W5].

Importa referir que podem ocorrer situações em que um laboratório subcontrata os serviços de outro laboratório para a realização de determinados ensaios (ensaios para os quais não tem capacidade, equipamentos ou acreditação para os realizar).

De seguida é feita uma breve apresentação de 4 Instituições com laboratórios acreditados ou com laboratórios que realizam ensaios acreditados.

#### l) Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC

O LNEC iniciou a sua atividade em 1946, perfazendo sete décadas de relevante atividade nacional e internacional, como Instituto Público de Ciência e Tecnologia com perfil de Laboratório de Estado. Foi criado para contribuir para o desenvolvimento e qualificação de "trabalhos de Engenharia Civil nas suas diversas modalidades" e teve na sua génese uma dupla vertente - investigação e experimentação – que se mantém até hoje. As principais atividades do LNEC repartem-se por três tipos:

- Investigação e inovação – Atividade de natureza estratégica, desenvolvida em linhas de investigação consideradas prioritárias pelo seu interesse a nível nacional e internacional;
- Estudos e pareceres por contrato - prestação de consultoria técnica avançada a entidades públicas e privadas, nacionais e estrangeiras;
- Promoção da qualidade na construção - preparação de especificações, normas e regulamentos, homologação e classificação de novos materiais e de componentes para a construção, observação do comportamento de obras, certificação de empreendimentos da construção, através da "Marca de qualidade LNEC", e ensaios para apoio à indústria de construção.

Em complemento às atividades anteriormente descritas, o LNEC desenvolve ainda ações de difusão de conhecimento e formação técnico-científica, através da elaboração de documentos científicos e técnicos, realização de cursos de especialização ou outras ações de formação, organização de reuniões científicas e técnicas nacionais e estrangeiras,

complementadas pela atividade editorial e da Biblioteca. O LNEC dispõe de um conjunto de vinte laboratórios de ensaios e metrológicos que funcionam de acordo com o disposto na Norma NP EN ISO 17025, sendo oito dos vinte acreditados pelo IPAC [W6] [36].

#### II) Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade – ITeCons

O ITeCons, constituído em 2006 como uma associação sem fins lucrativos, tem como objetivo funcionar como interface dinâmica do conhecimento entre a comunidade científica e a indústria, prestando serviços de investigação aplicada, ensaios, consultoria e formação nos domínios da construção, energia, ambiente e sustentabilidade. Apresenta uma extensa área laboratorial composta por um conjunto de naves laboratoriais, laboratórios com controlo de humidade e temperatura, câmaras acústicas de grande dimensão, cluster de computação e equipamento diverso para a realização de ensaios acreditados.

Possui mais de 220 ensaios acreditados pelo IPAC, em conformidade com a norma NP EN ISO/IEC 17025. Dispõe de equipamento único para caracterização e desenvolvimento de materiais e soluções de engenharia, disponibilizando uma extensa lista de serviços de ensaio nas áreas dos materiais e produtos de construção, argamassas, ligantes e misturas betuminosas, acústica e vibrações, higrotérmica, química e ambiente, geologia e geotecnia, equipamentos elétricos, caixilharias e revestimentos exteriores [W7].

#### III) Laboratório Regional de Engenharia Civil (Açores) – LREC Açores

O LREC é um organismo disponibilizado pelo Governo Regional dos Açores - Secretaria Regional do Turismo e Transportes para servir como instrumento na avaliação e controlo da qualidade da construção a nível regional. Foi criado em 1980 e exerce a sua atividade nos domínios da Engenharia Geotécnica, Engenharia de Estruturas, Engenharia de Materiais, Engenharia Sísmica, Engenharia Rodoviária e Geologia de Engenharia. A acreditação do Laboratório em conformidade com a NP EN ISO/IEC 17025 foi obtida em Fevereiro de 2010.

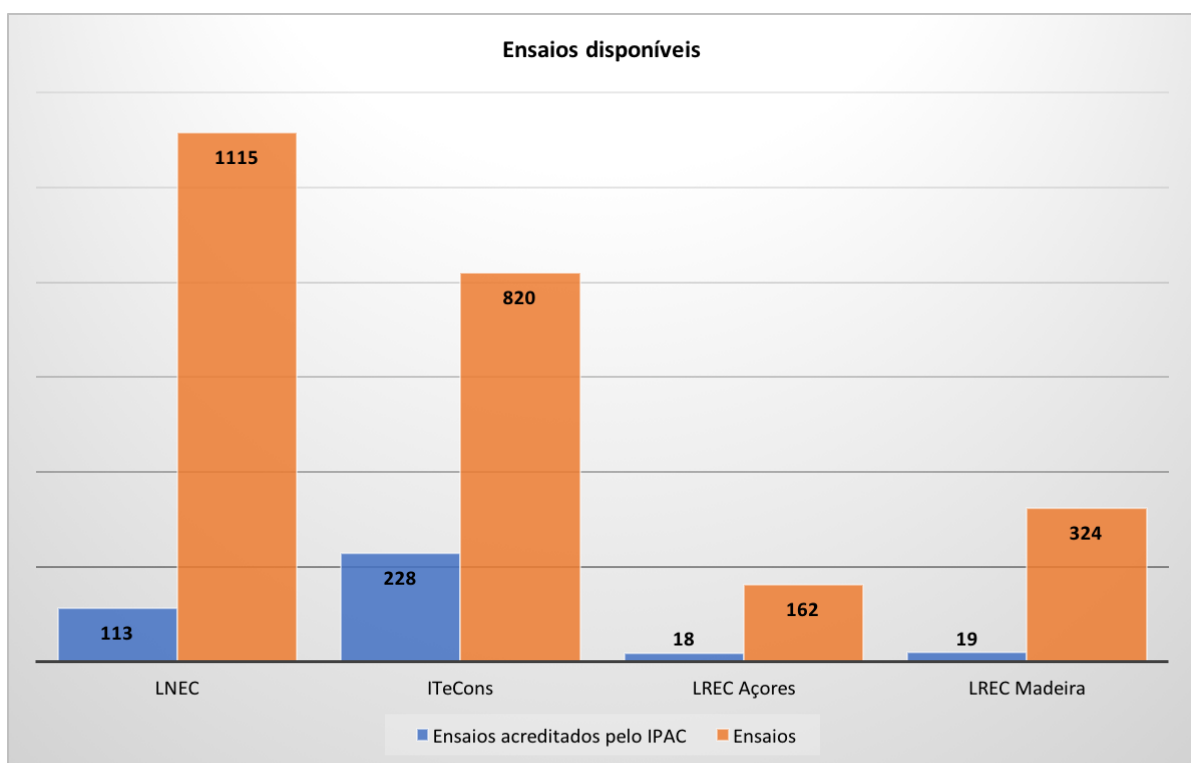
A sua atividade consiste principalmente na prestação de serviços laboratoriais – realização de ensaios, estudos e emissão de pareceres – a todas as entidades públicas ou privadas que o solicitem. Tem 6 unidades laboratoriais, distribuídas por duas direções de serviço. Para além da investigação aplicada às especificidades regionais, tem como atribuições genéricas o apoio técnico às obras de Engenharia Civil e o controlo da qualidade dos materiais de construção e ainda a divulgação científica e técnica no domínio da Engenharia Civil [W8].

#### IV) Laboratório Regional de Engenharia Civil (Madeira) – LREC Madeira

Criado em 1985, o Laboratório Regional de Engenharia Civil da Madeira é uma instituição

pública da Região Autónoma da Madeira que presta serviços em diversas áreas da Engenharia Civil. É constituído por 4 unidades departamentais e entre os serviços prestados encontram-se estudos, pareceres e ensaios [W9].

Apesar dos laboratórios apresentados realizarem ensaios acreditados, ainda realizam um grande numero de ensaios que não estão acreditados. A figura 2.6, elaborada com a lista de ensaios divulgada por cada laboratório em paralelo com o diretório de ensaios acreditados disponibilizado pelo IPAC, mostra a diferença da quantidade de ensaios acreditados em relação ao número total de ensaios realizados pelos laboratórios.



**Figura 2.6** – Quantidade de ensaios disponíveis por cada laboratório [W5] [W6] [W7] [W8] [W9]

O estudo realizado por Yan [35] concluiu que a maioria dos laboratórios não acredita os ensaios devido à:

- Reduzida procura dos seus serviços;
- Dependência em apoios e verbas;
- Aumento dos custos operacionais;
- Não comercialização dos seus ensaios.

### 2.4.3 Documentos normativos utilizados nos laboratórios

De acordo com a NP EN 45020, a expressão documento normativo é uma expressão genérica, que abrange documentos tais como normas, especificações técnicas, códigos de boa prática e regulamentos.

A norma é um documento, estabelecido por consenso e aprovado por um organismo de normalização reconhecido, que define regras, linhas de orientação ou características para atividades ou seus resultados, destinadas à utilização comum e repetida, visando atingir um grau ótimo de ordem num dado contexto [37].

Em relação ao tipo de conteúdo, que consta nas normas, é possível verificar que existem diferentes tipos de normas. De acordo com a norma NP EN 45020, os tipos de normas são os seguintes:

- Norma de base – norma de âmbito geral ou que contém disposições gerais relativas a um domínio particular, este tipo de norma pode ser de aplicação direta ou servir de base a outras normas;
- Norma de terminologia – contém termos, acompanhados das suas definições, de notas explicativas e ilustrações;
- Norma de ensaio – contém métodos de ensaio e disposições relativas a ensaios, tais como amostragem, utilização de métodos estatísticos, sequência dos ensaios;
- Norma de produto – contém os requisitos que um produto ou conjunto de produtos devem satisfazer para assegurar a sua aptidão ao uso;
- Norma de segurança – contém prescrições destinadas a garantir a segurança de pessoas, animais e bens;
- Norma de serviço – especifica a totalidade, ou parte dos requisitos a que deve responder um serviço para cumprir o seu objetivo;
- Norma de engenharia ou planificação – permite o cálculo, a realização, a implantação de materiais, de aparelhos, de estruturas, bem como as condições de aplicação ou de funcionamento.
- Norma de organização – indica os métodos de organização para a eficácia das diversas funções da empresa;
- Norma de interface – especifica requisitos relacionados com a compatibilidade de produtos ou sistemas, nas suas áreas de comunicação;
- Norma de eficiência – especifica requisitos do produto referentes a uma ou mais características relativas à sua adequação à respetiva finalidade;
- Norma descritiva – especifica os requisitos relativos a uma ou mais características descritivas



A normalização é desenvolvida em diversos níveis através de organismos de normalização internacionais, regionais e nacionais, podendo ainda se processar ao nível da empresa através de normas internas organizacionais. Para ser assegurada uma harmonia da atividade normalizadora, é necessário o desenvolvimento integrado da normalização nesses diferentes níveis de acordo com regras, princípios e terminologia própria. Estes organismos têm como principal função a preparação, a aprovação ou a adoção de normas que são postas à disposição do público [35]. São apresentados alguns organismos de normalização na tabela 2.3.

**Tabela 2.3 – Organismos de normalização [36] [37]**

Nível de normalização	Organismo	Descrição
Internacional	ISO	A ISO (organização Internacional de Normalização), criada em 1947, é uma federação mundial de organismos nacionais de normalização de mais de 160 países, à razão de um organismo por país, tendo um caráter não governamental.
Internacional	CEN	O CEN (Comité Europeu de Normalização), criado em 1961, é uma associação internacional de caráter científico e técnico composta por organismos nacionais de normalização dos países membros da União Europeia e de outros países europeus.
Nacional	IPQ	Em Portugal, o organismo nacional de normalização é o Instituto Português da Qualidade (IPQ), organismo nacional responsável pela gestão e desenvolvimento do Sistema Português da Qualidade (SPQ), competindo-lhe assegurar as ligações funcionais com os organismos de normalização europeus e internacionais.

Assim, os trabalhos de normalização sobre assuntos de interesse mundial são, normalmente, desenvolvidos sob a direção da ISO e, quando apresentam interesse para a normalização europeia, são acompanhados no seio do CEN. As normas elaboradas a este nível são, posteriormente, adotadas como normas nacionais, pelos respetivos Organismos Nacionais de Normalização (ONN) e, finalmente, consagradas nos procedimentos internos dos diferentes setores industriais [37].

Dependendo dos organismos que as publicam, as normas terão designações diferentes, sendo a sua configuração básica a seguinte: sigla do organismo que a adota, sigla do organismo que a emite, número e ano de publicação [W32].

Na tabela 2.4. apresentam-se alguns exemplos de designações de normas assim como os seus respetivos organismos de publicação e adoção.

**Tabela 2.4 – Designação de normas [35]**

Exemplo de norma	Organismo que adota	Norma por organismo
ISO 9001:2008	ISO	Norma Internacional publicada pela ISO
EN 45020:1998	CEN	Norma europeia publicada pela ISO
EN ISO 9001:2008	CEN	Norma europeia equivalente à publicada pela ISO
NP 4478:2008	IPQ	Norma portuguesa publicada pelo IPQ
NP EN 12390:2009	IPQ	Norma portuguesa, que adota uma norma europeia
NP EN ISO 900:2008	IPQ	Norma portuguesa, que resulta de uma norma europeia, a qual, por sua vez advém de uma norma internacional
NP ISO 10001:2008	IPQ	Norma portuguesa que adota uma norma internacional

#### **2.4.4 Ensaios laboratoriais no diagnóstico de anomalias**

Existe um grande numero de atividades na Engenharia Civil, em que os ensaios laboratoriais desempenham um papel preponderante. Essas atividades abrangem áreas muito diferentes, que vão desde o ensino à normalização, passando pela investigação, a qualidade da construção, a inspeção e diagnóstico.

O recurso ao ensaio laboratorial não dispensa, normalmente, os serviços de um fornecedor qualificado de inspeções e ensaios, dado que, desde logo, a seleção dos ensaios a realizar e do laboratório deve ser criteriosa, a recolha das amostras deve satisfazer determinados requisitos e, finalmente a interpretação dos resultados pode não ser simples e precisar de ser analisada no contexto da obra e articulada com outras informações. As questões normalmente colocadas são as seguintes [1]:

- Caracterização dos materiais em presença;
- Diagnóstico dos mecanismos da sua alteração;
- Estudo da eficácia e inocuidade de eventuais tratamentos;
- Seleção de novos produtos e métodos de tratamento.

Os ensaios laboratoriais são uma ferramenta essencial para obter informação pormenorizada sobre a construção e os seus materiais. Embora as técnicas de ensaio em laboratório sejam de natureza destrutiva, condição que será sempre de evitar, mas necessária para a recolha de amostras, permitem uma avaliação com maior rigor. Uma vez que as condições e procedimentos de ensaio são objeto de um maior controlo, contribuindo assim para um melhor diagnóstico das anomalias da construção.

## 2.5 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO LABORATORIAIS

### 2.5.1 Classificação das técnicas de diagnóstico

As técnicas de diagnóstico laboratorial, embora mais dispendiosas e morosas, permitem obter indicações mais precisas, do tipo qualitativo e quantitativo, sobre as características dos materiais analisados (caraterização química, composição mineralógica, caraterísticas petrográficas, propriedades físicas, químicas e mecânicas) e sobre o quadro patológico e mecanismos de degradação presentes [24] [25].

Existe atualmente uma grande variedade de técnicas de ensaio que podem ser utilizadas na avaliação do desempenho em serviço dos elementos de uma edificação. A diversidade de princípios e caraterísticas destas técnicas dificulta a estruturação de uma classificação global, sendo por isso habitual a adoção de classificações em termos de caraterísticas comuns. Alguns autores classificam as técnicas de diagnóstico de acordo com [1] [11]:

- Grau de destruição (destrutivas, semi destrutivas e não destrutivas);
- Princípios em que se baseiam (mecânicos, elétricos, magnéticos, eletromecânicos, ultra-sônicos, radioativos, sensoriais, térmicos, químicos e outros);
- Local onde se realizam (*in situ* ou em laboratório);
- Resultados obtidos (propriedades a avaliar);
- Elementos a que se aplicam (estruturais ou não estruturais);
- Atividades em que intervêm (controlo da qualidade, inspeção de edifícios, verificação da aplicação de regulamentos, entre outros).



No que respeita a presente dissertação, apenas serão abordadas as técnicas de diagnóstico efetuadas em laboratório sobre amostras recolhidas de construções em serviço. Assim sendo, é excluído à partida o método de classificação "Local onde se realiza", adotando-se então uma classificação utilizada por outros autores [1], segundo o princípio em que se baseiam:

- Técnicas de perceção sensorial (ópticas);
- Técnicas de ação mecânica;
- Técnicas de interação com radiação eletromagnética;
- Técnicas de reação química;
- Técnicas hidrodinâmicas;
- Técnicas de análise térmica;
- Técnicas de efeitos elétricos / eletrónicos.

## 2.5.2 Técnicas de percepção sensorial (ópticas)

O conjunto de técnicas que pertencem a este grupo são simples, onde o operador utiliza os seus próprios sentidos, quer diretamente, quer mediante o recurso a aparelhos que os potenciam. As técnicas deste grupo, em geral, são não destrutivas onde a principal fonte de informação sensorial é a visão. Assim sendo, as técnicas de ensaio *in situ* constituem a maioria deste grupo [1]. Na tabela 2.5 apresenta-se algumas técnicas realizadas em laboratório sobre amostras recolhidas.



**Tabela 2.5 – Técnicas de percepção sensorial (ópticas) [1]**

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p style="text-align: center;"><b>Exame à lupa binocular</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 2.7 – Lupa binocular [W22]</b></p>	<p style="text-align: center;">Carote Sólido Pó Desagregada</p>	<p>A lupa binocular permite ampliações até 20 vezes possibilitando o estudo da estrutura dos grãos e identificação de cristais.</p>	<p>Informação textural de amostras. Análise estratigráfica. Estudo de crostas e produtos de eflorescências. Estudo de fungos e líquenes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Análise ao microscópio petrográfico de betões e argamassas</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 2.8 – Microscópio petrográfico com ótica digital [W13]</b></p>	<p style="text-align: center;">Carote Sólido (Lâminas delgadas)</p>	<p>Execução de lâminas delgadas a partir de carotes ou amostras do material para análise por microscopia ótica. Análise microestrutural com ampliações até 400 vezes.</p>	<p>Estudo da microestrutura do betão, argamassas rochas e outros materiais. Avaliação da qualidade de um betão ou argamassa. Identificação de reações químicas.</p>

### 2.5.3 Técnicas de ação mecânica

Estão incluídas neste grupo as técnicas (Tabela 2.6) que envolvem a aplicação de uma ação mecânica ao elemento construtivo que se pretende avaliar. Esta ação pode ser feita por intermédio de um dispositivo específico (mecânico, elétrico, hidráulico ou eletromecânico) ou com a remoção de partes do elemento construtivo. Os ensaios deste grupo podem ser destrutivos ou semi destrutivos [1].



**Tabela 2.6** – Técnicas de ação mecânica [1] [25] [29]

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p style="text-align: center;"><b>Compressão de carotes</b></p>  <p><b>Figura 2.9</b> – Prensa hidráulica com indicador de leitura [W12]</p>	<p>Carote Sólido</p>	<p>As amostras são ensaiadas até à rotura numa máquina de ensaio à compressão. Mede-se os valores de tensão aplicados.</p>	<p>Técnica destrutiva que avalia as propriedades mecânicas e a resistência à compressão de betões em serviço.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Resistência à abrasão</b></p>  <p><b>Figura 2.10</b> – Abrasímetro de Taber [W27]</p>	<p>Sólido</p>	<p>Denominado de ensaio de Taber em que uma amostra é colocada numa plataforma giratória onde assentam duas rodas de abrasão aplicadas com uma pressão específica.</p>	<p>Avaliação da resistência à abrasão. Caracterização de uma pedra.</p>

### 2.5.4 Técnicas de interação com radiação eletromagnética

As técnicas deste grupo baseiam-se na medição da variação de radiação à superfície do elemento em análise. São técnicas reduzidamente destrutivas devido à necessidade de recolha de pequenas amostras [1]. Na tabela 2.7 estão alguns exemplos destes ensaios.


**Tabela 2.7** – Técnicas de interação com radiação eletromagnética [1] [29]

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p><b>Microtomografia computadorizada de raios-X (MicroCT)</b></p>  <p><b>Figura 2.11</b> – Microtomógrafo: SKYSACAN 1175 [W25]</p>	<p>Carote Sólido</p>	<p>A amostra não alterada de pequenas dimensões é colocada entre uma fonte de raios-X e um detetor sobre uma mesa giratória.</p>	<p>Avaliação da densidade tomográfica e da porosidade de pequenas amostras de alvenaria, tijolo, pedra ou argamassa. A análise de imagens permite obter uma estrutura tridimensional da amostra.</p>
<p><b>Espetroscopia de raios infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR)</b></p>  <p><b>Figura 2.12</b> – Espetrômetro Jasco FT/IR-6600 [W23]</p>	<p>Sólido Pó</p>	<p>A amostra é triturada, misturada com um sal e prensada em forma de pastilha. Registo de radiações absorvidas, emitidas ou refletidas (ultravioleta, visível e infravermelho)</p>	<p>Avaliação da composição de uma amostra.</p>
<p><b>Difratometria de raios-X (DRX)</b></p>  <p><b>Figura 2.13</b> – Difratômetro de raios-X Panalytical X'Pert3 Powder II [W28]</p>	<p>Pó</p>	<p>Um feixe monocromático de raios-X atinge a amostra pulverizada, quando incide em material cristalino, ocorre o fenómeno de difração. Mede distancia inter-reticular dos cristais (Lei de Bragg).</p>	<p>Estudo da composição de argamassas e betões. Composição mineralógica das fases cristalinas.</p>
<p><b>Espectrometria de fluorescência de raios-X (EFRX)</b></p>  <p><b>Figura 2.14</b> – Espetrômetro de fluorescência de raios-X ZSX Primus II [W29]</p>	<p>Sólido Pó</p>	<p>A análise consiste em 3 fases, a excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios-X característicos emitidos pela amostra e deteção desses raios-X.</p>	<p>Análises quantitativas e qualitativas dos elementos químicos presentes.</p>

### 2.5.5 Técnicas de reação química

Neste grupo de técnicas, para identificar e caracterizar os materiais em análise, observam-se os efeitos de reações químicas que neles ocorrem por contacto com indicadores ou reagentes. Os ensaios neste grupo são reduzidamente destrutivos, apresentando-se alguns na tabela 2.8.

**Tabela 2.8** – Técnicas de reação química [1] [29]

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<b>Análise química por via húmida</b>  <b>Figura 2.15</b> – Análise química [29]	Pequena amostra desagregada ou Pó	O objetivo da análise química é determinar os elementos que formam as substâncias.	Estudo da composição de argamassas e outros elementos da construção.
<b>Cromatografia iónica</b>  <b>Figura 2.16</b> – Sistema de cromatografia [W21]	Pó	Utiliza-se no ensaio o pó recolhido no local. A cromatografia iónica analisa as concentrações de iões numa solução.	Determinação dos sais solúveis presentes em amostras. Estudo das alterações superficiais da pedra.

### 2.5.6 Técnicas hidrodinâmicas

As técnicas deste grupo servem para analisar o modo como a água ou outro líquido, em diferentes estados físicos, penetra e se movimenta no interior dos materiais de construção, obedecendo a processos como de absorção, efeito de capilaridade e permeabilidade associada a diferenças de pressão [1] [26]. São apresentadas algumas técnicas na tabela 2.9.



**Tabela 2.9 – Técnicas hidrodinâmicas [1] [25] [29]**

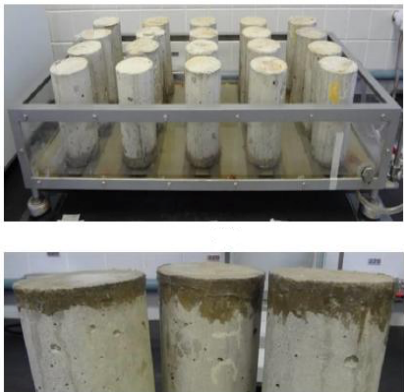
Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p><b>Absorção por capilaridade</b></p>  <p><b>Figura 2.17 –</b> Amostras sob ensaio de absorção por capilaridade [W14]</p>	<p>Carotes ou Sólido Retificado</p>	<p>Através da diferença de massa, mede o coeficiente de absorção durante o tempo em que decorre o ensaio, traduzido no declive do gráfico.</p>	<p>Permite avaliar o comportamento face à água do elemento aplicado.</p>
<p><b>Absorção de água por imersão</b></p>  <p><b>Figura 2.18 –</b> Amostras sob ensaio de absorção de água por imersão e secagem em estufa [W18]</p>	<p>Carote Sólido</p>	<p>Após secagem em estufa, amostras do material são imersas em água destilada, medindo-se, por pesagem, a absorção de água.</p>	<p>Caracterização de materiais de construção porosos e avaliar o seu grau de deterioração.</p>
<p><b>Porosimetria de mercúrio</b></p>  <p><b>Figura 2.19 –</b> Porosímetro de mercúrio AutoPore IV [W15]</p>	<p>Sólido Pó</p>	<p>As amostras do material a ensaiar são secas a uma temperatura elevada e depois postas em contacto com mercúrio a uma pressão muito elevada, o que permite calcular a distribuição de poros.</p>	<p>Estudo da porosidade de pedras e argamassas e avaliação dos efeitos dos seus tratamentos.</p>





Tabela 2.9 (continuação) – Técnicas hidrodinâmicas [1] [25] [29]

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p><b>Pesagem hidrostática</b></p>  <p><b>Figura 2.20</b> – Balança hidrostática [W17]</p>	<p>Sólido</p>	<p>Após secagem em estufa e pesagem, determinam-se, após saturação, os pesos hidrostáticos. Calcula a massa volúmica aparente e a porosidade aberta.</p>	<p>Permite uma primeira caracterização mecânica e física de revestimentos. A porosidade aberta pode distinguir produtos pré-doseados dos tradicionais. Avaliação do grau de deterioração de pedras. Avaliação dos efeitos de tratamentos de impregnação.</p>
<p><b>Permeabilidade ao vapor de água</b></p>  <p><b>Figura 2.21</b> – Equipamento de medição da permeabilidade ao vapor de água [W19]</p>	<p>Sólido</p>	<p>Introduz-se uma amostra entre dois ambientes à mesma temperatura, mas com pressões de vapor diferentes, originando um fluxo de vapor de água através da amostra.</p>	<p>Determinação das características de permeabilidade ao vapor de água de materiais e elementos de construção.</p>
<p><b>Absorção de uma gota de água</b></p>  <p><b>Figura 2.22</b> – Aplicação de gotas de água sobre amostra com pipeta [W20]</p>	<p>Sólido</p>	<p>Após secagem em estufa, deixa-se cair sobre a amostra do material uma gota de água desmineralizada, comparando-se o tempo de absorção para amostras tratadas e não tratadas.</p>	<p>Estudo de alterações ou tratamentos de superfícies de revestimentos (exe: pedra).</p>

## 2.5.7 Técnicas de análise térmica

A análise térmica mede as alterações físicas ou químicas de um material em função do tempo ou da temperatura. As duas técnicas mais comuns (Tabela 2.10) nesta categoria são a análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (ATG). Estes métodos são usualmente utilizados para determinar as propriedades do material à medida que a amostra é aquecida ou arrefecida de uma forma controlada.

**Tabela 2.10** – Técnicas de análise térmica [1] [29]

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p><b>Análise termogravimétrica (ATG)</b></p>  <p><b>Figura 2.23</b> – Termobalança [W16]</p>	<p>Pó Sólido</p>	<p>Pesagem em contínuo de uma amostra submetida a uma variação de temperatura linear em atmosfera controlada, a fim de seguir as sucessivas variações de massa.</p>	<p>Estudo da degradação do betão (corrosão das armaduras, reação alcali, ataque dos sulfatos, ataque por agentes químicos). Estudo da composição de argamassas.</p>
<p><b>Análise térmica diferencial (ATD)</b></p>  <p><b>Figura 2.24</b> – Sistema de análise térmica (ATG-DTA) Netzsch STA 449 F1 Jupiter [W31]</p>	<p>Sólido</p>	<p>A diferença de temperatura entre uma amostra e um material de referência é medida em função da temperatura, enquanto que ambos são submetidos a uma variação controlada de temperatura.</p>	<p>Estudo da capacidade calorífica e condutividade térmica.</p>

### 2.5.8 Técnicas elétricas / eletrônicas

Incluídas neste grupo estão as técnicas (Tabela 2.11) em que os ensaios se baseiam no uso de equipamentos, que através de efeitos elétricos conseguem determinar características dos materiais de construção em análise [1].

**Tabela 2.11 – Técnicas elétricas / eletrônicas [1] [29]**

Técnica de ensaio/diagnóstico	Amostra	Resumo/Processo	Aplicabilidade
<p><b>Permeabilidade aos cloretos por diferença de potencial</b></p>  <p><b>Figura 2.25</b> – Equipamento que induz a penetração de iões de cloreto [W26]</p>	Carote	O ensaio é feito sobre uma carote de betão, provocando-se um fluxo acelerado de iões de cloro através do estabelecimento duma diferença de potencial.	Determinação expedita da permeabilidade de um betão aos cloretos.
<p><b>Microscopia eletrónica de varrimento (SEM)</b></p>  <p><b>Figura 2.26</b> – Microscópio eletrônico de varrimento JEOL JSM-7500F [W30]</p>	Sólido	O objeto é analisado por um varrimento de feixe de eletrões na amostra.	Análise da microestrutura do betão. Identificação de produtos resultantes de reações destrutivas.

### 2.5.9 Tabela resumo

Na tabela 2.12 que se apresenta de seguida, é feita uma síntese onde se relacionam as normas seguidas pelos laboratórios das instituições analisadas anteriormente com as técnicas de diagnóstico apresentadas. Esta tabela, elaborada com dados divulgados pelos próprios

laboratórios, pretende demonstrar quais das técnicas apresentadas têm prática mais comum entre os laboratórios, assim como, as que se realizam com ou sem procedimentos normativos. Destaca-se as técnicas “Compressão de carotes” e “Absorção por capilaridade” como sendo as técnicas mais praticadas com procedimentos normativos pelos laboratórios.

**Tabela 2.12 –** Ensaios realizados pelos laboratórios [W6] [W7] [W8] [W9]

Ensaio	Normas de ensaio aplicadas			
	LNEC	IteCons	LREC (Açores)	LREC (Madeira)
Exame à lupa binocular	✓	✓	✓	✓
Análise ao microscópio petrográfico de betões e argamassas	NP EN 932-3	✗	NP EN 932-3	NP EN 932-3
Compressão de carotes	NP EN 12504-1	NP EN 12504-1	NP EN 12504-1	NP EN 12504-1
Resistência à abrasão	LNEC E 396	EN 1338	NP EN 1097-1 LNEC E 237	✓
Microtomografia computadorizada de raios-X	✗	✗	✗	✗
Espectroscopia de raios infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR)	✓	✓	✗	✗
Difratometria de raios-X (DRX)	LNEC E 403	✗	✗	✗
Espectrometria de fluorescência de raios-X (EFRX)	✓	✓	✗	✗
Análise química por via húmida	NP EN 196-2	✓	✗	✓
Cromatografia iónica	✓	✓	✗	✗
Absorção por capilaridade	NP EN 1015-18 EN 772-11 LNEC E393	EN 13057 NP EN 1015-18 EN 772-11 EN 1925	NP EN 1015-18	LNEC E393
Absorção de água por imersão	LNEC E394 LNEC E395	EN 12087	✗	✗
Porosimetria de mercúrio	✓	✗	✗	✗
Pesagem hidrostática	✓	✗	✗	✓
Permeabilidade ao vapor de água	NP EN 1015-19	NP EN 1015-19	✗	✗
Absorção duma gota de água	✓	✗	✗	✗
Análise termogravimétrica (ATG)	LNEC E 405	✗	✗	✓
Análise térmica diferencial (ATD)	LNEC E 405	✗	✗	✓
Permeabilidade aos cloretos por diferença de potencial	LNEC E 463	✗	✗	✗
Microscopia eletrónica de varrimento (SEM)	LNEC E 402	✓	✗	✗

✗ - Ensaio Não Realizado      ✓ - Ensaio Realizado sem Norma Especificada

## **2.6 METODOLOGIAS**

### **2.6.1 Importância de um catálogo de técnicas de diagnóstico**

A intervenção direta sobre as anomalias e a intervenção na ótica de redução de custos de reabilitação, exigem o desenvolvimento de métodos de diagnóstico, de cariz prático e otimizado, que visem realmente uma fácil implementação nas mais diversas situações da patologia da construção [10].

Como tal as anomalias são um indicador da condição das construções de grande importância. Cada edifício é único e manifesta diferentes tipos de anomalias, apesar disso, quando se analisa um elevado número de construções é possível identificar alguns padrões nas anomalias. Com a análise sistemática dos dados recolhidos durante as inspeções, é possível criar uma base de dados fiável que serve de guia para a reparação e prevenção de anomalias [21].

Para corrigir cada anomalia é muito importante perceber as causas, por forma a desenvolver as diferentes ações para restabelecer as características funcionais e estéticas dos elementos afetados, sendo necessário consultar uma vasta bibliografia, que inclui documentos de ordem normativa e tecnológica. Daqui se compreende a dificuldade que existe em fazer a análise a uma anomalia de um elemento construtivo e propor soluções, sem se proceder a uma demorada procura de informação [2].

Assim, o catálogo de técnicas de diagnóstico constitui uma forma de sistematizar a informação técnico-científica disponível, criando um instrumento que facilita o trabalho dos profissionais da área, contribuindo para a resolução e prevenção dos problemas observados nas atuais construções.

### **2.6.2 Modelos de catálogos existentes**

Existe um conjunto de métodos de diagnóstico de anomalias na construção, quer nacionais quer internacionais, que permitem aos técnicos especializados obter informação nas mais diversas áreas de anomalias. Vários países criaram os seus catálogos de patologia na construção com dados que foram recolhidos ao longo dos anos. O método de registo e de organização da informação varia em função dos objetivos e dos dados disponíveis.

Na tabela 2.12 é feita uma breve apresentação de alguns métodos utilizados no diagnóstico de patologias da construção. Apesar dos referidos métodos já terem sido abordados nos

trabalhos de Machado [22], Correia [27] e Pavão [28], considerou-se importante destacar alguns que serviram de base para a elaboração dos catálogos de técnicas de diagnóstico de anomalias.

**Tabela 2.13** – Catálogos de patologia da construção [1] [21] [22] [23] [W4] [W10] [W11]

Entidade / Autor Responsável	Título	Ano	Páginas por ficha	Descrição
Building Research Establishment (BRE)	Defect Action Sheet	1982	2	Catálogo com 144 fichas com a descrição da anomalia, as suas causas e respetivas medidas de prevenção.
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)	Fichas de reparação de anomalias	1985	1	As fichas do catálogo encontram-se agrupadas em três categorias, nomeadamente: Patologia Estrutural, Patologia Não Estrutural e Instalações. Cada ficha corresponde a uma anomalia e todas as fichas seguem a mesma estrutura.
Conseil International du Bâtiment (CIB)	Cases of Failure Information Sheet	1993	Variável	O grupo responsável pela investigação, divulgação e estudo da patologia da construção, designado por W086 Building Pathology, publicou um documento intitulado "Building Pathology: A State of the art report" em que no sexto capítulo é apresentado um modelo de fichas de anomalias.
Agence Qualité Construction (AQC)	Fiches Pathologie du Bâtiment	1995	3	O catálogo foi atualizado em 2015 e consta agora de 69 fichas de anomalias. Cada uma identifica e estabelece o diagnóstico da patologia, promove bons procedimentos com o auxílio de diagramas e ilustrações e faz listagem de textos de referência aplicáveis. As fichas podem ser consultadas em <a href="http://www.qualiteconstruction.com">www.qualiteconstruction.com</a> ou através de uma aplicação para telemóveis.
PATORREB	Fichas de Patologia	2004	1	Em 2004 foi criada a página na internet <a href="http://www.patorreb.com">www.patorreb.com</a> onde foi publicado um catálogo de anomalias da construção compilado por sete universidades portuguesas. Conta com 98 fichas que se encontram-se organizadas em função do elemento construtivo em que a anomalia se manifestou.
Cóias	Métodos correntes de inspeção e ensaio	2009	2 a 5	No livro "Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios" (2009), são apresentadas um conjunto de 44 fichas de métodos correntes de inspeção e ensaio. As fichas não têm uma estrutura comum, com certos casos apresentando algumas variações e subdivisões nos campos que as compõem.
Conseil International du Bâtiment (CIB)	Survey Information Sheets	2013	1	No relatório divulgado pelo CIB W086 em 2013, são anunciados novos desenvolvimentos no estudo da patologia da construção, incluindo novas propostas de fichas para a avaliação de anomalias, onde se destaca o modelo proposto denominado <i>Survey Information Sheets</i> .



## 2.6.3 Fichas de diagnóstico

As contribuições mais recentes para o catálogo foram apresentadas nas dissertações de mestrado de Machado [22], Correia [27] e Pavão [28], cujos métodos de análise vêm na sequência e melhoria do modelo proposto por Abreu [26].

No trabalho de dissertação de mestrado de Abreu em 2013, foi compilado um catálogo de fichas de diagnóstico utilizadas em Engenharia Civil. O catálogo é constituído por 22 fichas que se encontram organizadas por princípio de funcionamento e têm todas a mesma estrutura. Cada ficha encontra-se dividida em quadros com informação relativa ao nome da técnica, o local de realização do ensaio, os elementos construtivos em que pode ser utilizada, a descrição da técnica, o seu princípio de funcionamento, o procedimento de ensaio, os equipamentos necessários, as potencialidades, as limitações, o custo, a dificuldade, o grau de destruição, os dos resultados obtidos, a interpretação destes resultados, as entidades prestadoras de serviço, os documentos normativos em que se baseia e valores de referência relevantes. A figura 2.27 apresenta um exemplo de uma ficha retirada do catálogo de técnicas utilizadas em Engenharia.



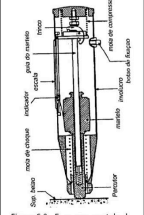
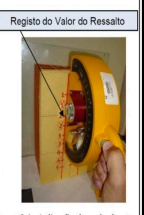
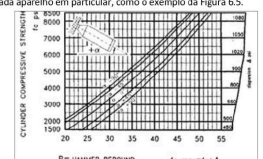
ENSAIO ESCLEROMÉTRICO - ESCLERÓMETROS "SCHMIDT" E PENDULAR		Ref. #	CUSTO:	DESTRUTIVA	ENTIDADES PRESTADORAS:																																								
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:		In situ	€ € € € €	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LFC - Laboratório de Física das Construções <a href="http://www.fe.up.pt/~lfc-ssc">http://www.fe.up.pt/~lfc-ssc</a></li> <li>SPYBUILDING - Inspeção de Edifícios, Lda. <a href="http://www.spybuilding.com">http://www.spybuilding.com</a></li> <li>Oz - Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda. <a href="http://www.oz-diagnostico.pt">http://www.oz-diagnostico.pt</a></li> </ul> <p><small>NOTA: Podem existir outras empresas ou laboratórios que realizem o ensaio referido nesta ficha, sendo aqui apresentadas apenas as entidades que apresentam na sua página de internet este ensaio na sua lista de serviços.</small></p>																																								
<p><b>Palavras-chave:</b> esclerómetro pendular; martelo Schmidt; índice esclerométrico; dureza; resistência superficial; homogeneidade; betão; argamassa; ressalto.</p>		Laboratório	DIFICULDADE:	<input checked="" type="checkbox"/>																																									
<p><b>DESCRIÇÃO:</b></p> <p>O esclerómetro é um aparelho que permite avaliar <i>in situ</i>, de forma simples e não destrutiva, a dureza superficial ou comparar qualidade de materiais, preferencialmente de elementos de betão, mas também de argamassas.</p> <p>O ensaio é útil para avaliar a homogeneidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios mais completos. A tensão de rotura à compressão, referente a provetes cúbicos ou cilíndricos, é estimada com base na sua correlação com o índice esclerométrico.</p> <p>Este ensaio não substitui a determinação da tensão de rotura à compressão, através de provetes cilíndricos, em laboratório [6.1].</p>		<p><b>EQUIPAMENTO:</b></p>  	<p><b>MATERIAL NECESSÁRIO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Esclerómetro (pendular ou martelo de Schmidt);</li> <li>Bigma de calibração;</li> <li>Pedra abrasiva (para limpeza da superfície de ensaio)</li> <li>Folha de registos em papel ou suporte digital.</li> </ul>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref. #</th> <th>Designação</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CB05/CB05M (ASTM)</td> <td>Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete</td> <td>2013</td> </tr> <tr> <td>NP EN 12504-2 (IPQ)</td> <td>Ensaios do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>NBR 7584 (ABNT)</td> <td>Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexão - Método de ensaio</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>D 5873 (ASTM)</td> <td>Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method</td> <td>2005</td> </tr> <tr> <td>MS-D.2 (RILEM)</td> <td>Determination of masonry rebound hardness</td> <td>1998</td> </tr> <tr> <td>(RILEM)</td> <td>Determination of pointing hardness by pendulum hammer</td> <td>1998</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-202 (BS)</td> <td>Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer</td> <td>1986</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. #	Designação	Ano	CB05/CB05M (ASTM)	Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete	2013	NP EN 12504-2 (IPQ)	Ensaios do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico	2012	NBR 7584 (ABNT)	Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexão - Método de ensaio	2012	D 5873 (ASTM)	Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method	2005	MS-D.2 (RILEM)	Determination of masonry rebound hardness	1998	(RILEM)	Determination of pointing hardness by pendulum hammer	1998	BS 1881-202 (BS)	Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	1986																	
Ref. #	Designação	Ano																																											
CB05/CB05M (ASTM)	Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete	2013																																											
NP EN 12504-2 (IPQ)	Ensaios do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico	2012																																											
NBR 7584 (ABNT)	Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexão - Método de ensaio	2012																																											
D 5873 (ASTM)	Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method	2005																																											
MS-D.2 (RILEM)	Determination of masonry rebound hardness	1998																																											
(RILEM)	Determination of pointing hardness by pendulum hammer	1998																																											
BS 1881-202 (BS)	Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	1986																																											
<p><b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b></p> <p>O martelo de Schmidt, trata-se de um martelo em aço, ligado a uma mola em tensão. Baseia-se no método do ressalto, que consiste no lançamento de uma massa contra a superfície em estudo e medição do seu ressalto. Por sua vez, esse ressalto resulta num valor numérico (índice esclerométrico), que dá origem ao grau de dureza do material [6.2].</p> <p>Além do esclerómetro de Schmidt, existem outros modelos, designadamente os <b>esclerómetros pendulares</b>. Estes baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento do primeiro, mas aplicam-se a materiais de dureza inferior, como argamassas de revestimento [6.5]. Dentro deste tipo de aparelhos, existem vários modelos (PT, PM e P) e o que os distingue são os corpos de impacto associados [6.2].</p>		<p><b>REGISTO DO VALOR DO RESSALTO</b></p>  	<p><b>EXPRESSIONO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>A maior parte dos fabricantes fornecem ábacos que relacionam o índice esclerométrico com a resistência à compressão, para cada aparelho em particular.</p> <p>Algumas normas existentes nos outros países, relativas ao ensaio de esclerometria, variam em alguns princípios face à norma portuguesa. Apresenta-se em baixo um quadro resumo de algumas recomendações de outros normativos (Tabela 6.1).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Tabela 6.1 - Resumo de recomendações de várias normas aplicáveis [6.1]</th> </tr> <tr> <th>Elementos estruturais</th> <th>NBR 7584</th> <th>ASTM C805</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pilares, vigas, paredes, cornijas</td> <td>BS 1881-202</td> <td>ASTM C805</td> </tr> <tr> <td>Superfície</td> <td>Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio</td> <td>Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio</td> </tr> <tr> <td>Área de ensaio</td> <td>90mmx90mm a 200mmx200mm</td> <td>Inferior a 300mmx300mm</td> </tr> <tr> <td>Distância entre pontos</td> <td>Mínima de 30mm</td> <td>20mm a 50mm</td> </tr> <tr> <td>n.º de medições</td> <td>9-16</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Ponto de medição e canto e aresta</td> <td>Mínima de 50mm</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Resultados</td> <td>Ignorar resultado IE individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular nova média</td> <td>Das 10 medições, ignorar as que se distanciam 7 unidades da média. Se isso ocorrer com mais de 2, ignorar o conjunto de medições</td> </tr> </tbody> </table>	Tabela 6.1 - Resumo de recomendações de várias normas aplicáveis [6.1]			Elementos estruturais	NBR 7584	ASTM C805	Pilares, vigas, paredes, cornijas	BS 1881-202	ASTM C805	Superfície	Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio	Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio	Área de ensaio	90mmx90mm a 200mmx200mm	Inferior a 300mmx300mm	Distância entre pontos	Mínima de 30mm	20mm a 50mm	n.º de medições	9-16	12	Ponto de medição e canto e aresta	Mínima de 50mm	-	Resultados	Ignorar resultado IE individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular nova média	Das 10 medições, ignorar as que se distanciam 7 unidades da média. Se isso ocorrer com mais de 2, ignorar o conjunto de medições															
Tabela 6.1 - Resumo de recomendações de várias normas aplicáveis [6.1]																																													
Elementos estruturais	NBR 7584	ASTM C805																																											
Pilares, vigas, paredes, cornijas	BS 1881-202	ASTM C805																																											
Superfície	Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio	Evitar tensões, rugosidade, falhas de betão, etc. Molhar a superfície 24h antes do ensaio																																											
Área de ensaio	90mmx90mm a 200mmx200mm	Inferior a 300mmx300mm																																											
Distância entre pontos	Mínima de 30mm	20mm a 50mm																																											
n.º de medições	9-16	12																																											
Ponto de medição e canto e aresta	Mínima de 50mm	-																																											
Resultados	Ignorar resultado IE individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular nova média	Das 10 medições, ignorar as que se distanciam 7 unidades da média. Se isso ocorrer com mais de 2, ignorar o conjunto de medições																																											
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO (MARTELO DE SCHMIDT):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Escolher zonas a ensaiar e tratar estas de forma a esta ficarem lisas, limpas e secas, evitando zonas com carbonatação.</li> <li>Empurrar o aparelho firme e gradualmente contra a superfície de forma a que o êmbolo fique perpendicular a esta, até que ocorra o impacto do martelo. Após o impacto, mantém-se a pressão sobre o aparelho e prime-se o botão que está localizado lateralmente, para bloquear o êmbolo na sua posição retraída. Lê-se o valor na escala, arredondando-se para o número inteiro mais próximo e regista-se esse número.</li> <li>Em cada área de ensaio efetuar no mínimo 9 leituras, e calcular média aritmética, das 9 leituras devem ser excluídas aquelas que difiram em 5 unidades da média. Se existirem mais de duas leituras na situação anterior, ignoram-se as leituras e devem efetuar-se novos ensaios noutra local.</li> <li>Multiplicar o valor obtido pelo fator de correção do aparelho e relacionar esse valor com o ábaco de correlação, para estimar a resistência à compressão do material ensaiado.</li> </ol>		<p><b>POTENCIALIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pouca fiabilidade nos resultados.</li> <li>Resultados representativos em profundidades limitadas (3 a 5 cm).</li> <li>Difícil interpretação dos resultados.</li> <li>Necessidade de se realizarem ensaios complementares.</li> <li>Resultados dependentes da boa calibração do aparelho.</li> </ul> <p><b>LIMITAÇÕES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pouca fiabilidade nos resultados.</li> <li>Resultados representativos em profundidades limitadas (3 a 5 cm).</li> <li>Difícil interpretação dos resultados.</li> <li>Necessidade de se realizarem ensaios complementares.</li> <li>Resultados dependentes da boa calibração do aparelho.</li> <li>Alto custo do martelo de Schmidt, o esclerómetro pendular não pode ser aplicado em superfícies horizontais invertidas (tetos).</li> </ul>	<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Na Tabela 6.2, encontram-se valores para avaliação de argamassas de base cimentícia, com esclerómetro pendular.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Valor do índice esclerométrico</th> <th>Qualidade relativa à resistência à compressão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 15</td> <td>Muito fraca</td> </tr> <tr> <td>15 - 25</td> <td>Fraca</td> </tr> <tr> <td>25 - 35</td> <td>Moderada</td> </tr> <tr> <td>35 - 45</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>45 - 55</td> <td>Dura</td> </tr> <tr> <td>&gt; 55</td> <td>Muito dura</td> </tr> </tbody> </table> <p>Na Tabela 6.3, encontram-se alguns indicadores de desempenho de argamassas com base em ensaios <i>in situ</i> com esclerómetros.</p>	Valor do índice esclerométrico	Qualidade relativa à resistência à compressão	< 15	Muito fraca	15 - 25	Fraca	25 - 35	Moderada	35 - 45	Normal	45 - 55	Dura	> 55	Muito dura																												
Valor do índice esclerométrico	Qualidade relativa à resistência à compressão																																												
< 15	Muito fraca																																												
15 - 25	Fraca																																												
25 - 35	Moderada																																												
35 - 45	Normal																																												
45 - 55	Dura																																												
> 55	Muito dura																																												
<p><b>NOTAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o esclerómetro pendular, tem um procedimento semelhante, mas aplica-se revestimentos de dureza inferior, não pode ser executado no teto e tem forma de executar diferente do martelo de Schmidt.</li> <li>Não realizar mais do que 1 impacto no mesmo ponto, e usar uma distância mínima entre impactos de 25 mm.</li> </ul>		<p><b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>A interpretação dos resultados com o esclerómetro pendular nem sempre é fácil e fiável. Pois são inúmeros os fatores que influenciam o ensaio [6.5].</p> <p>É imprescindível a consciencialização de que esta avaliação é apenas qualitativa. Assim, de modo a poder-se retirar conclusões mais consistentes é necessário complementar esta técnica com outros ensaios como por exemplo o ensaio de ultrassons e a recolha de amostras para análise da resistência à compressão [6.5].</p> <p>Para correlação do índice esclerométrico com a resistência à compressão existem ábacos, fornecidos pela maioria dos fabricantes, para cada aparelho em particular, como o exemplo da Figura 6.5.</p> 	<p><b>Tabela 6.2 - Qualidade de resistência à compressão, adaptado de [6.7]</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Referência</th> <th>Aplicabilidade</th> <th>Valor do ressalto</th> <th>Indicador de qualidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Gomes (1995)</td> <td rowspan="4">Rebocos exteriores tradicionais de base cimentícia (<i>in situ</i>)</td> <td>IE<sup>1</sup> &lt; 80</td> <td>Revestimentos deteriorados ou descolados</td> </tr> <tr> <td>80 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 90</td> <td>Revestimentos em estado dividido</td> </tr> <tr> <td>90 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 95</td> <td>Revestimentos em bom estado</td> </tr> <tr> <td>IE<sup>1</sup> &gt; 95</td> <td>Argamassa muito fraca</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">RILEM MS-D.7 referida por (2004)</td> <td rowspan="4">Juntas com argamassas de base cimentícia (<i>in situ</i>)</td> <td>35 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 35</td> <td>Argamassa moderada</td> </tr> <tr> <td>35 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 45</td> <td>Argamassa normal</td> </tr> <tr> <td>45 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 55</td> <td>Argamassa dura</td> </tr> <tr> <td>IE<sup>1</sup> &gt; 55</td> <td>Argamassa muito dura</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Flores-Cóler (2009)</td> <td rowspan="2">Rebocos exteriores pré-dosados de base cimentícia (<i>in situ</i>)</td> <td>64 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 75 (7)</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> <tr> <td>IE<sup>1</sup> &gt; 75 (7)</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Galvão (2009)</td> <td rowspan="2">Argamassas tradicionais de cimento (<i>in situ</i>)</td> <td>IE<sup>1</sup> &gt; 50</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> <tr> <td>64 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 75</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Gonçalves (1010)</td> <td rowspan="2">Argamassas tradicionais (laboratório)</td> <td>54 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 70</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> <tr> <td>59 ≤ IE<sup>1</sup> &lt; 66</td> <td>Desempenho mecânico adequado</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Legenda:</b> IE<sup>1</sup> = índice esclerométrico obtido com o esclerómetro pendular tipo P; IE<sup>2</sup> = índice esclerométrico obtido com o esclerómetro pendular tipo PT; (N) = Desvios máximos tolerados.</p>	Referência	Aplicabilidade	Valor do ressalto	Indicador de qualidade	Gomes (1995)	Rebocos exteriores tradicionais de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	IE <sup>1</sup> < 80	Revestimentos deteriorados ou descolados	80 ≤ IE <sup>1</sup> < 90	Revestimentos em estado dividido	90 ≤ IE <sup>1</sup> < 95	Revestimentos em bom estado	IE <sup>1</sup> > 95	Argamassa muito fraca	RILEM MS-D.7 referida por (2004)	Juntas com argamassas de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	35 ≤ IE <sup>1</sup> < 35	Argamassa moderada	35 ≤ IE <sup>1</sup> < 45	Argamassa normal	45 ≤ IE <sup>1</sup> < 55	Argamassa dura	IE <sup>1</sup> > 55	Argamassa muito dura	Flores-Cóler (2009)	Rebocos exteriores pré-dosados de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	64 ≤ IE <sup>1</sup> < 75 (7)	Desempenho mecânico adequado	IE <sup>1</sup> > 75 (7)	Desempenho mecânico adequado	Galvão (2009)	Argamassas tradicionais de cimento ( <i>in situ</i> )	IE <sup>1</sup> > 50	Desempenho mecânico adequado	64 ≤ IE <sup>1</sup> < 75	Desempenho mecânico adequado	Gonçalves (1010)	Argamassas tradicionais (laboratório)	54 ≤ IE <sup>1</sup> < 70	Desempenho mecânico adequado	59 ≤ IE <sup>1</sup> < 66	Desempenho mecânico adequado
Referência	Aplicabilidade	Valor do ressalto	Indicador de qualidade																																										
Gomes (1995)	Rebocos exteriores tradicionais de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	IE <sup>1</sup> < 80	Revestimentos deteriorados ou descolados																																										
		80 ≤ IE <sup>1</sup> < 90	Revestimentos em estado dividido																																										
		90 ≤ IE <sup>1</sup> < 95	Revestimentos em bom estado																																										
		IE <sup>1</sup> > 95	Argamassa muito fraca																																										
RILEM MS-D.7 referida por (2004)	Juntas com argamassas de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	35 ≤ IE <sup>1</sup> < 35	Argamassa moderada																																										
		35 ≤ IE <sup>1</sup> < 45	Argamassa normal																																										
		45 ≤ IE <sup>1</sup> < 55	Argamassa dura																																										
		IE <sup>1</sup> > 55	Argamassa muito dura																																										
Flores-Cóler (2009)	Rebocos exteriores pré-dosados de base cimentícia ( <i>in situ</i> )	64 ≤ IE <sup>1</sup> < 75 (7)	Desempenho mecânico adequado																																										
		IE <sup>1</sup> > 75 (7)	Desempenho mecânico adequado																																										
Galvão (2009)	Argamassas tradicionais de cimento ( <i>in situ</i> )	IE <sup>1</sup> > 50	Desempenho mecânico adequado																																										
		64 ≤ IE <sup>1</sup> < 75	Desempenho mecânico adequado																																										
Gonçalves (1010)	Argamassas tradicionais (laboratório)	54 ≤ IE <sup>1</sup> < 70	Desempenho mecânico adequado																																										
		59 ≤ IE <sup>1</sup> < 66	Desempenho mecânico adequado																																										
7.F-2.5	TÉCNICAS DE AÇÃO MECÂNICA		ENSAIO ESCLEROMÉTRICO - ESCLERÓMETROS "SCHMIDT" E PENDULAR		7.F-2.5																																								

Figura 2.27 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico utilizadas em Engenharia Civil [26]

As fichas propostas por Machado [22] e Correia [27] tiveram como base o modelo apresentado por Abreu [26], onde foram implementadas melhorias com a introdução de novos campos, adição de novas fichas de técnicas e revisão das fichas apresentadas por Abreu [26]. Dado que as fichas de Machado [22] são sobre técnicas em elementos não estruturais de edifícios correntes e que as fichas de Correia [27] são para técnicas em elementos estruturais de edifícios correntes, as fichas que contribuirão para o catálogo não se encontram repetidas. Por forma a possibilitar a continuidade do catálogo, ambos foram estruturados de forma semelhante, permitindo deste modo a adição de novas fichas em futuros trabalhos.

Assim, o trabalho de Machado [22] contribui com 20 fichas entre as quais 11 são propostas novas e 9 são revisões e melhorias introduzidas nas fichas do catálogo proposto por Abreu [26]. Apresenta-se de seguida uma ficha exemplar na figura 2.28.



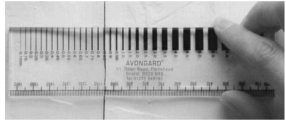
<b>MEDIÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS E FENDAS – COMPARADOR</b>		Ref.# <b>01 TPS</b>	<b>CUSTO:</b> <b>Custo do equipamento:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Económico <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso <b>Custo de realização do ensaio:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Económico <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso	<b>DOCUMENTOS NORMATIVOS OU TÉCNICOS:</b> Não foram encontrados documentos normativos ou técnicos relativos a fissuração ou para este tipo de ensaio.
Palavras-chave: comparador de fissuras; fissura; fenda; controlo de fissuras; medição de fissuras; abertura; monitorização.		2014	<b>DIFICULDADE:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Elevada	<b>VALORES DE REFERÊNCIA OU ORIENTATIVOS:</b> Consideram-se os traços da régua do comparador de fissuras, os valores de referência relativamente a este ensaio para a abertura de fissuras e fendas.
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva		<input checked="" type="checkbox"/> In situ <input type="checkbox"/> Laboratório	<b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [1-4]:</b> 1. Colocar a régua sobre a fissura e fazer incidir os traços do comparador com a fissura, registando na folha de registo a abertura que mais se aproxima com a fissura ou fenda.	<b>Tabela 1.1 – Níveis de severidade de fissuração (função da abertura) [1.8].</b>
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS NÃO-ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>				
<b>Fachadas</b> <input checked="" type="checkbox"/> Alvenarias <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos <input checked="" type="checkbox"/> Outros	<b>Coberturas</b> <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos <input type="checkbox"/> Instalações <input checked="" type="checkbox"/> Outros	<b>Vãos</b> <input checked="" type="checkbox"/> Calxilharias <input type="checkbox"/> Envidraçados <input type="checkbox"/> Outros	<b>Entrada e zonas comuns interiores</b> <input checked="" type="checkbox"/> Alvenarias <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos	
<b>Cozinhas/casas de banho</b> <input checked="" type="checkbox"/> Alvenarias <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos	<b>Pavimentos</b> <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos	<b>Tetos</b> <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos	<b>Paredes interiores</b> <input checked="" type="checkbox"/> Alvenarias <input checked="" type="checkbox"/> Revestimentos	
<b>PRINCÍPIO UTILIZADO:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Hidrodinâmico <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Reação química <input type="checkbox"/> Elétrico <input type="checkbox"/> Higrotérmico				
<b>DESCRIÇÃO:</b> O comparador de fissuras é um instrumento de pequenas dimensões utilizado na medição da abertura de fissuras e fendas [1.1]. O comparador de fissuras consiste num retângulo transparente de plástico flexível, com diferentes traços de espessuras conhecidas, que por comparação visual permite estimar a abertura de fissuras e fendas [1.1]. A escala do comparador de fissuras permite medições desde 0,1mm de abertura em fissuras [1.2].		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>o comparador de fissuras</li><li>o folhas de registo</li></ul>  	<b>PARÂMETROS DE MEDIÇÃO:</b> O comparador de fissuras serve apenas para uma primeira leitura da <b>abertura de fissuras e fendas</b> , não é um instrumento rigoroso, pelo que permite uma aproximação inicial. Este ensaio é usualmente utilizado com o fissurómetro e complementado com o medidor ótico. Em que o primeiro mede a variação da abertura ao longo de um determinado período de tempo e o segundo fornece um valor mais rigoroso da abertura das fissuras e das fendas [1.1].	<b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS:</b> A análise das leituras obtidas permitem concluir sobre a abertura das fissuras e das fendas no momento da medição [1.5]. A Figura 1.3 ilustra uma medição obtida com o comparador de fissuras. 
<b>VANTAGENS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>o equipamento económico;</li><li>o instrumento de pequenas dimensões e muito leve;</li><li>o ensaio simples de fácil e rápida realização;</li><li>o ensaio de baixa exigência técnica.</li></ul>		<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>o requer ensaios adicionais como o fissurómetro, para quantificar com rigor a variação da abertura de fissuras e fendas;</li><li>o aplicável apenas em fissuras e fendas acessíveis.</li></ul>		
Ref.# 01 TPS	TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL		Referências: [1.1] a [1.8]	MEDIÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS – COMPARADOR DE FISSURAS Ref.# 01 TPS

Figura 2.28 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos não estruturais de edifícios correntes [22]



O contributo de Correia [27] consistiu em 17 fichas, 9 das quais foram propostas novas e 8 foram revisões e melhorias introduzidas em fichas do catálogo proposto por Abreu [26], apresentando-se um exemplar das referidas fichas na figura 2.29.

ENSAIO ESCLEROMÉTRICO - ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT		Ref. <sup>a</sup> 4 TAM	CUSTO DO ENSAIO: <input checked="" type="checkbox"/> Económico <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso	DOCUMENTOS NORMATIVOS:																					
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b>AValiação DE ELEMENTOS:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b>LOCAL:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório	<b>DIcULDADE DO ENSAIO:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Elevada	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Designação</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASTM C805</td> <td>Rebound Hammer Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete</td> <td>2013</td> </tr> <tr> <td>NP EN 12504-2</td> <td>Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>ABNT NBR 7534</td> <td>Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexo — Método de ensaio</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>DIN 1048-2</td> <td>Testing concrete: testing of hardened concrete</td> <td>1991</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-02</td> <td>Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer</td> <td>1986</td> </tr> <tr> <td>RILEM NDT 3</td> <td>Recommendations for testing concrete by hardness methods</td> <td>1984</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Designação	Ano	ASTM C805	Rebound Hammer Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete	2013	NP EN 12504-2	Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1	2012	ABNT NBR 7534	Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexo — Método de ensaio	2012	DIN 1048-2	Testing concrete: testing of hardened concrete	1991	BS 1881-02	Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	1986	RILEM NDT 3	Recommendations for testing concrete by hardness methods	1984
Ref. <sup>a</sup>	Designação	Ano																							
ASTM C805	Rebound Hammer Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete	2013																							
NP EN 12504-2	Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1	2012																							
ABNT NBR 7534	Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexo — Método de ensaio	2012																							
DIN 1048-2	Testing concrete: testing of hardened concrete	1991																							
BS 1881-02	Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	1986																							
RILEM NDT 3	Recommendations for testing concrete by hardness methods	1984																							
<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		<b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [4.6]:</b> 1. Escolher zona a ensaiar e tratar esta de forma a ficar lisa, limpa e seca, evitando zonas com carbonatação; 2. Empurrar o aparelho firme e gradualmente contra a superfície para que o êmbolo fique perpendicular a esta, até que ocorra o impacto do martelo. Após o impacto, mantém-se a pressão sobre o aparelho e pime-se o botão que está localizado lateralmente, para bloquear o êmbolo na sua posição retráida. Lê-se o valor na escala, arredondando-se para o número inteiro mais próximo e regista-se esse número. 3. Em cada área de ensaio efetuar no mínimo 9 leituras, e calcular média aritmética, das 9 leituras devem ser excluídas aquelas que difiram em 6 unidades da média. Se existirem mais de duas leituras na situação anterior, ignoram-se as leituras e devem efetuar-se novos ensaios noutra local. 4. Multiplicar o valor obtido pelo fator de correção do aparelho e relacionar esse valor com o abaco de correlação, para estimar a resistência à compressão do material ensaiado.																							
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input checked="" type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrotérmica		<b>INCERTEZA [4.6]:</b> • Irregularidades superficiais poderão alterar os valores do Índice esclerométrico; • Teor de humidade: Provetes testados em condições saturadas mostram Índices esclerométrico mais baixos do que os dos provetes secos ao ar; • Tipo de cimento: quanto maior for a resistência da tipologia de cimento introduzida no betão, maior será o índice esclerométrico obtido do mesmo; • Carbonatação da superfície do betão: Valores de um betão carbonatado podem ser 50% superiores; • Tipo de agregado: agregados grossos podem intensificar os valores esclerométrico; • Movimento da peça de betão a ensaiar: alvo de ensaio terá que pertencer a uma estrutura fixa, ou no caso de provetes, ter-se-á que providenciar.																							
<b>DESCRIÇÃO [4.1] [4.4] [4.3]:</b> Este ensaio utiliza o Esclerómetro de Schmidt que mede a dureza superficial do betão a partir do recuo de uma massa incidente após o choque com a superfície a ensaiar. Este recuo é então convertido num valor de resistência à compressão através de abacos. O ensaio deve realizar-se em superfícies de betão homogêneas, devendo ser efetuada a remoção da camada superficial carbonatada, através de raspagem. O Esclerómetro é um aparelho que permite avaliar <i>in situ</i> , de forma simples e não destrutiva, a dureza superficial do betão, correlacionando com a resistência à compressão do mesmo, determinado em ensaios com provetes cilíndricos. O ensaio é útil para avaliar a homogeneidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios mais completos. A tensão de rotura à compressão, referente a provetes cúbicos ou cilíndricos, é estimada com base na sua correlação com o Índice esclerométrico. Este ensaio não substitui a determinação da tensão de rotura à compressão, através de provetes cilíndricos, em laboratório.		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  Figura 4.1 – Esclerómetro de Schmidt [4.8]  Operador comprime o esclerómetro e traciona a mola  Operador libera a massa para o impacto  Após o impacto a massa replica e retorna Figura 4.4 – Procedimento de ensaio do esclerómetro [4.4]																							
<b>POTENCIALIDADES:</b> • Facilidade de transporte; • Simplicidade de execução; • Rapidez de execução; • Danos causados na superfície são praticamente nulos; • Ensaio com martelo de Schmidt pode ser aplicado com uma inclinação qualquer, desde que fique perpendicular à superfície ensaiada.		<b>LIMITAÇÕES:</b> • Pouca fiabilidade nos resultados; • Resultados representativos em profundidades limitadas (3 a 5 cm); • Difícil interpretação dos resultados; • Necessidade de se realizarem ensaios complementares; • Resultados dependentes da boa calibração do aparelho.																							
<b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b> Os valores obtidos pelo esclerómetro para a dureza superficial do betão devem ser comparados com os valores da resistência à compressão do mesmo. Para tal, e como ensaio complementar, devem ser realizados testes em provetes cilíndricos para avaliar o valor de resistência do betão em análise à compressão.		<b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b> A maior parte dos fabricantes fornecem abacos que relacionam o Índice esclerométrico com a resistência à compressão, para cada aparelho em particular.  Figura 4.3 – Abaco de correlação do esclerómetro de Schmidt [4.8]																							
<b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b> A interpretação dos resultados nem sempre é fácil, pois são inúmeros os fatores que influenciam o ensaio [4.3]. É imprescindível a consciencialização de que esta avaliação é apenas qualitativa. Assim, de modo a poder-se retirar conclusões mais consistentes é necessário complementar esta técnica com outros ensaios como por exemplo o ensaio de ultrassons e a recolha de amostras para análise da resistência à compressão [4.2].																									
4 TAM	TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA		ENSAIO ESCLEROMÉTRICO - ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT	4 TAM																					

Figura 2.29 – Ficha de técnica de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado [27]

A contribuição mais recente foi de Pavão [28] que em 2016 compilou um conjunto de fichas de técnicas de diagnóstico em edifícios antigos. A sua proposta de ficha mantém a mesma estrutura geral, mas introduz algumas alterações que ajudam a enquadrar o tema das fichas, como por exemplo, a reestruturação dos elementos que constituem os campos “Princípio de funcionamento” e “Elementos em que pode ser utilizada”.

O trabalho de Pavão [28] contribuiu em 16 fichas das quais 11 foram propostas novas e 5 foram revisões e melhorias realizadas em fichas existentes no catálogo criadas por Abreu [26] e Correia [27]. Um exemplo de uma das suas fichas pode ser visto na figura 2.30.

Após esta análise em ordem cronológica, reconhece-se na continuidade já referida uma mais valia visto que permite uma evolução progressiva e uma melhoria notória neste instrumento

de apoio ao trabalho.

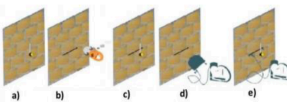
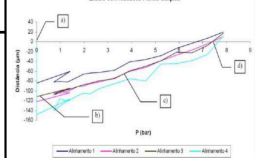
Ensaio simples com macacos planos		Ref. <sup>a</sup> <b>06 TAM</b>																																																				
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-Destrutiva		<input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório																																																				
<b>ELEMENTOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Paredes <input type="checkbox"/> Revestimentos <input type="checkbox"/> Pavimentos <input type="checkbox"/> Tetos <input type="checkbox"/> Cobertura (estrutura) <input type="checkbox"/> Instalações <input type="checkbox"/> Elementos Singulares																																																						
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Perceção sensorial <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas																																																						
<b>DESCRIÇÃO:</b> Ensaio utilizado para determinar o estado de tensão de paredes e outros elementos estruturais de alvenaria [6.1][6.4].  Baseia-se na libertação do estado de tensão, por meio da realização de um entalhe, com profundidade dependente do tipo de macaco plano, seguida de aplicação de cargas através de macacos planos de pequena área e espessura, inseridos anteriormente nos entalhes [6.3][6.4].		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b> Equipamento constituído por: <ul style="list-style-type: none"> <li>Máquina de corte com disco ou anel diamantado (depende do tipo de macaco plano a utilizar)</li> <li>Sistema transmissor de pressões</li> <li>Instrumento de medição de deformações</li> </ul>  <p>Figura 5.11 – Fases do ensaio: a) medição dos alinhamentos b) execução do rasgo c) medição dos deslocamentos relativos d) colocação do macaco plano e) medição dos deslocamentos após incrementos de carga [6.6]</p>																																																				
<b>VANTAGENS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Além de ser utilizado na avaliação do estado de tensão, pode ser utilizado como técnica de monitorização, mantendo o macaco na abertura a recolher dados;</li> <li>Resultados com fiabilidade, devido às perturbações muito reduzidas na alvenaria ensaiada;</li> </ul>		<b>DESVANTAGENS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tensões estimadas podem não ser representativas das instaladas, devido a uma distribuição assimétrica destas;</li> <li>Fiabilidade dos resultados para níveis de carga muito baixos, dado o nível de baixas deformações associadas;</li> <li>Fiabilidade dos resultados em situações com material muito fraco, heterogéneo ou solto;</li> <li>Zonas próximas de pontos singulares podem influenciar os resultados</li> </ul>																																																				
<b>CUSTO DO ENSAIO:</b> <input type="checkbox"/> Económico <input checked="" type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso		<b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Designação</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASTM C 1196-04</td> <td>Standard test method for <i>in situ</i> compressive stress with solid masonry estimated using flatjack measurements.</td> <td>2004</td> </tr> <tr> <td>RILEM TC 177 – MDT D.4</td> <td>MDT D.4 – <i>In situ</i> stress test based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.491</td> <td>2004</td> </tr> <tr> <td>RILEM TC 177 – MDT D.5</td> <td>MDT D.5 – <i>In situ</i> stress – strain behavior tests based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.497</td> <td>2004</td> </tr> </tbody> </table> <b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b> Tabela 5.8 – Valores ref. obtidos em estudos anteriores [6.3] <table border="1"> <thead> <tr> <th>Localização</th> <th>Tentugal</th> <th>Bragança</th> <th>P. Delgada</th> <th>Porto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Autores do estudo</td> <td>Pagalim; Lourenço</td> <td>Floque; Lourenço</td> <td>Mesquita; Langa</td> <td>Guardes; Miranda</td> </tr> <tr> <td>Nº de ensaios</td> <td>2 simples 8 duplos</td> <td>3 simples 3 duplos</td> <td>3 simples 3 duplos</td> <td>1 simples 1 duplo</td> </tr> <tr> <td>Nº de pilos</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Tipo de alvenaria de pedra</td> <td>Calcário</td> <td>Xisto</td> <td>Basalto</td> <td>Granito</td> </tr> <tr> <td>Estado de tensão (MPa)</td> <td>0,08 – 0,15</td> <td>0,08 – 0,13</td> <td>0,02 – 0,09</td> <td>0,4 – 0,7</td> </tr> <tr> <td>Mod. Elasticidade (GPa)</td> <td>0,5</td> <td>2,0</td> <td>–</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Tensão rotura (MPa)</td> <td>0,7</td> <td>0,7</td> <td>0,7</td> <td>0,7</td> </tr> </tbody> </table> <b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b> No início do ensaio regista-se o valor de pressão (P) que repõe as condições iniciais da alvenaria. O valor da tensão é dado por: $\sigma = K_m \times K_a \times P$ <ul style="list-style-type: none"> <li>-<math>K_m</math> tem em conta as características geométricas do macaco e a rigidez do cordão de soldadura. Parâmetro definido por testes de calibração feitos pelo fabricante.</li> <li>-<math>K_a</math> é dado pela razão entre a área do macaco (<math>A_m</math>) e a de corte (<math>A_c</math>): <math>K_a = A_m/A_c</math> [6.1]</li> </ul>  <p>Figura 5.12 – Diagrama exemplo dos resultados de resultados obtidos num ensaio simples com macacos planos [6.4]</p>	Ref. <sup>a</sup>	Designação	Ano	ASTM C 1196-04	Standard test method for <i>in situ</i> compressive stress with solid masonry estimated using flatjack measurements.	2004	RILEM TC 177 – MDT D.4	MDT D.4 – <i>In situ</i> stress test based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.491	2004	RILEM TC 177 – MDT D.5	MDT D.5 – <i>In situ</i> stress – strain behavior tests based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.497	2004	Localização	Tentugal	Bragança	P. Delgada	Porto	Autores do estudo	Pagalim; Lourenço	Floque; Lourenço	Mesquita; Langa	Guardes; Miranda	Nº de ensaios	2 simples 8 duplos	3 simples 3 duplos	3 simples 3 duplos	1 simples 1 duplo	Nº de pilos	2	2	2	3	Tipo de alvenaria de pedra	Calcário	Xisto	Basalto	Granito	Estado de tensão (MPa)	0,08 – 0,15	0,08 – 0,13	0,02 – 0,09	0,4 – 0,7	Mod. Elasticidade (GPa)	0,5	2,0	–	1,0	Tensão rotura (MPa)	0,7	0,7	0,7	0,7
Ref. <sup>a</sup>	Designação		Ano																																																			
ASTM C 1196-04	Standard test method for <i>in situ</i> compressive stress with solid masonry estimated using flatjack measurements.		2004																																																			
RILEM TC 177 – MDT D.4	MDT D.4 – <i>In situ</i> stress test based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.491		2004																																																			
RILEM TC 177 – MDT D.5	MDT D.5 – <i>In situ</i> stress – strain behavior tests based on the flask jack – Materials and Structures – 271/37 – Aug-Sept 2004 – p.497	2004																																																				
Localização	Tentugal	Bragança	P. Delgada	Porto																																																		
Autores do estudo	Pagalim; Lourenço	Floque; Lourenço	Mesquita; Langa	Guardes; Miranda																																																		
Nº de ensaios	2 simples 8 duplos	3 simples 3 duplos	3 simples 3 duplos	1 simples 1 duplo																																																		
Nº de pilos	2	2	2	3																																																		
Tipo de alvenaria de pedra	Calcário	Xisto	Basalto	Granito																																																		
Estado de tensão (MPa)	0,08 – 0,15	0,08 – 0,13	0,02 – 0,09	0,4 – 0,7																																																		
Mod. Elasticidade (GPa)	0,5	2,0	–	1,0																																																		
Tensão rotura (MPa)	0,7	0,7	0,7	0,7																																																		
<b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [6.1][6.5]:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calibração do macaco plano, por exemplo, segundo as diretrizes da norma ASTM C 1196-04;</li> <li>Definição e marcação da do desenvolvimento da ranhura a marcar na parede;</li> <li>Definição da localização das miras acima e abaixo da ranhura, afastados cerca de 10 cm da ranhura para cada mira;</li> <li>Colocação dos alinhamentos verticais, afastados no mínimo 5cm das extremidades;</li> <li>Medição das posições iniciais</li> <li>Com máquina de corte executar a abertura</li> <li>Colocação do macaco na abertura com um papel químico entre folhas brancas e placas de enchimento</li> <li>Ligação da bomba ao macaco;</li> <li>Purgação do macaco;</li> <li>Ajuste do macaco ao rasgo aplicando cerca de 50% da tensão estimada na parede. Despressurização até 0;</li> <li>Aplicação de incrementos de 0,05 MPa até estabilização dos manómetros (1 minuto). Registo das distâncias entre miras;</li> <li>Suspensão do ensaio quando ultrapassadas as posições medidas inicialmente</li> <li>Despressurização dos macacos</li> </ol>																																																						
<b>PARÂMETROS DE MEDIÇÃO:</b> O parâmetro medido neste ensaio é a tensão instalada na parede ao nível da secção que é expressiva das paredes de alvenaria pela média dos registos dos ensaios realizados em diferentes alinhamentos [6.2]																																																						
Ref. <sup>a</sup> : 06 TAM	TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA																																																					

Figura 2.30 – Ficha do catálogo de técnicas de diagnóstico em edifícios antigos [28]

Não se tendo verificado novos desenvolvimentos neste catálogo, posteriores aos anteriores não contribuídos já mencionados, resta apenas salientar a contribuição que o presente trabalho pretende introduzir através do enriquecimento do conjunto das fichas do catálogo com a elaboração de novas fichas referentes às técnicas aplicadas em laboratório sobre amostras recolhidas em serviço. Sendo um tópico que aborda novas técnicas com objetivos específicos que não existiam nos outros trabalhos como por exemplo a necessidade de aferir o seu grau destrutivo ou o tipo de amostra. Assim são propostas alterações no formato da ficha do catálogo com a introdução de novos campos, alguns ajustes nos campos existentes como também são abordadas técnicas específicas no domínio laboratorial.

Deste modo, o propósito das fichas que serão apresentadas passa por manter a tendência de evolução face à introdução de melhorias, bem como, contribuir para o aumento das técnicas a inserir no catálogo. No capítulo seguinte é abordado em detalhe a constituição das referidas fichas do catálogo.

### **3 CATÁLOGO DE TÉCNICAS**

#### **3.1 NOTA INTRODUTÓRIA**

O catálogo apresentado no presente trabalho é constituído por um conjunto de fichas de técnicas de diagnóstico, onde é exposto em diversos campos a informação relevante à técnica apresentada. É discutido o processo de elaboração de uma ficha técnica de diagnóstico e explicada a estrutura do catálogo, sendo por fim apresentado o catálogo de técnicas de diagnóstico.

#### **3.2 MODELO DE FICHA DO CATÁLOGO**

A proposta para a ficha de catálogo baseia-se nos modelos existentes referidos em 2.6.3 e foi adaptada de modo a enquadrar-se às técnicas do tema proposto. Assim, manteve-se a estrutura geral da ficha e retificou-se componentes dos campos alusivos à destrutividade, aos elementos construtivos e aos princípios de funcionamento. Foi ainda introduzido um novo campo que identifica o tipo de amostra recolhida para o ensaio.

Com o intuito de criar uma ficha de consulta rápida e eficaz, por qualquer utilizador, da informação mais relevante ao funcionamento das técnicas de diagnóstico, optou-se por criar uma ficha de 2 páginas com a informação disposta em quadros. Deste modo, foi possível sintetizar de forma simples toda a informação essencial à consulta. A escolha pela apresentação da informação em quadros permite uma disposição organizada e consistente entre todas as fichas, o que facilita a consulta e comparação entre técnicas.

No cabeçalho da primeira página, encontra-se realçada a denominação da técnica representada na ficha junto da sua referência alfanumérica. Abaixo contém cinco campos com a sua informação exposta em caixas de seleção. Estes indicam os elementos construtivos em que a técnica pode ser utilizada, o local onde o ensaio é realizado, o grau de destruição provocado, o tipo de amostra necessária e o seu princípio de funcionamento. De notar que o campo "Elementos construtivos em que pode ser utilizada" ainda inclui um espaço descritivo.

Seguidamente, encontram-se quatro campos onde é descrita a técnica de diagnóstico, os equipamentos e materiais necessários, as suas potencialidades e limitações. No final da página contém em rodapé a referência e o princípio de funcionamento da técnica apresentada.

A segunda página da ficha incorpora os campos referentes ao custo e à dificuldade da técnica, seguidos da descrição do procedimento de ensaio, referência aos documentos normativos associados, valores de referência, resultados e a sua interpretação. No final da página encontra-se novamente um rodapé, desta vez com o título da ficha e a sua referência. Note-se que todas as fichas contêm referências do material que lhes serviu de base e estão identificadas na bibliografia do catálogo. A proposta para ficha de catálogo é apresentada na figura 3.1 onde se pode ver ambas as páginas de uma ficha por preencher.

<b>TÍTULO</b>		<b>Ref.º</b>	<b>CUSTO DO ENSAIO:</b> <input type="checkbox"/> Económico <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso	<b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b> <input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Elevada
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input type="checkbox"/> Estruturais ..... <input type="checkbox"/> Não-Estruturais .....		<b>REALIZAÇÃO EM:</b> <input type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In-Situ</i>	<b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO:</b>	<b>DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Perceção sensorial (ópticas) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos / eletrónicos <input type="checkbox"/> Reação química		<b>DESTRUTIVIDADE:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva		
		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b> <input type="checkbox"/> Normalizada <input type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão:	<b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b>	
<b>DESCRIÇÃO:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>		
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>		
<b>Ref.º</b>	<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO</b>		<b>TÍTULO DA FICHA</b>	
			<b>Ref.º</b>	

Figura 3.1 – Modelo de ficha de diagnóstico (frente e verso)

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO CONTIDA NAS FICHAS DO CATÁLOGO

#### 3.3.1 Título

O título é o primeiro campo da ficha e é nele que é designada a técnica de diagnóstico que vem apresentada na mesma. A identificação da técnica inclui palavras chave relacionadas com o seu procedimento, como o equipamento utilizado, o ensaio efetuado, o material analisado ou o princípio aplicado.

### 3.3.2 Referência

Junto ao título, no canto superior direito, encontra-se uma referência que é atribuída a cada ficha para estruturar o catálogo e facilitar a pesquisa das técnicas. A referência marca a ordem numérica da ficha no catálogo e indica as siglas do princípio de utilização da técnica. Na figura 3.2 apresenta-se como exemplo a referência da ficha de diagnóstico do ensaio de compressão de carotes "03 TAM", sendo que 03 corresponde à 3ª ficha do catálogo e TAM indica que pertence ao grupo de técnicas de ação mecânica.

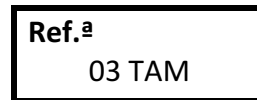


Figura 3.2 – Exemplo do campo de referência para uma técnica de ação mecânica

### 3.3.3 Elementos construtivos em que pode ser utilizada

Nesta secção são definidos quais os elementos de uma construção em que a técnica pode ser aplicada. De modo a abranger a grande variedade de elementos que constituem uma edificação, esta secção define os elementos em dois níveis. O primeiro nível surge em forma de caixa de verificação onde é seleccionada caso a técnica seja aplicável em elementos estruturais ou não-estruturais. No segundo nível é delimitado um espaço onde é feita referência dos elementos que integram o primeiro nível.

### 3.3.4 Local realizado

Este campo define sob forma de caixa de verificação o local onde a técnica é concretizável, surgindo como possibilidades o laboratório, *in situ* ou em ambos os locais.

### 3.3.5 Destrutividade

Como referido anteriormente em 2.3.3, os ensaios laboratoriais têm vindo a ser classificados em termos de destrutividade da mesma forma que os ensaios *in situ*, o que suscita nesta ficha a necessidade de diferenciar a sua classificação. O modo de avaliação do grau de destruição adotado tem em consideração o estado resultante da amostra após ter sido submetida ao ensaio no laboratório. Deste modo, os ensaios podem ser considerados como destrutivos quando a amostra é destruída ou alterada e não-destrutivos quando a amostra não sofre alterações (físicas ou químicas), permitindo por vezes a sua reutilização repetida nos ensaios. As opções "Destrutiva" e "Não-destrutiva" são apresentadas sob a forma de caixa de verificação.

### **3.3.6 Tipo de amostra**

Nesta seção da ficha é identificada, através de caixa de verificação, o tipo de amostra que pode ser utilizada no ensaio em questão. São expostas opções para amostras normalizadas ou irregulares. Apresenta-se abaixo das referidas opções um espaço para indicar a quantidade ou dimensão que a amostra deve assumir.

### **3.3.7 Princípio de funcionamento**

Neste campo é classificado, através de caixa de verificação, o princípio de funcionamento da técnica de diagnóstico em questão. É selecionado apenas um princípio entre os sete que constam na ficha, supramencionados em 2.5.1.

### **3.3.8 Descrição**

Neste campo descreve-se, de forma sucinta, a técnica de diagnóstico em análise e introduz-se o seu procedimento. Pode ainda ser referenciado o processo de recolha de amostras, o grau de destruição provocado e as anomalias que permite identificar.

### **3.3.9 Equipamento/material necessário**

Neste campo são listados os materiais e equipamentos que são utilizados no procedimento do ensaio e quando disponíveis são ilustrados com imagens ou esquemas.

### **3.3.10 Potencialidades**

Na secção de potencialidades são indicadas as principais vantagens associadas ao ensaio. Este campo juntamente com o das limitações fornece ao utilizador uma base de comparação com as outras técnicas do catálogo.

### **3.3.11 Limitações**

No campo das limitações são indicadas as principais desvantagens que advêm da aplicação da técnica de diagnóstico apresentada na ficha. Este campo em conjunto com o das potencialidades fornece ao utilizador uma base de comparação com as outras técnicas do catálogo.

### **3.3.12 Custo do ensaio**

O campo referente ao custo do ensaio encontra-se no canto superior esquerdo da segunda

página da ficha e permite visualizar uma estimativa do preço associado à execução do ensaio. A estimativa não tem em consideração a aquisição de equipamentos, apenas se refere ao boletim de resultados do ensaio. Esta secção apresenta um carácter qualitativo, pois o preço das mesmas varia consoante a empresa ou laboratório que se predispõe a realizar os ensaios. Tendo em conta que o custo de cada ensaio pode sofrer flutuações anuais, decidiu-se que este parâmetro deveria apenas fornecer uma informação qualitativa para que o utilizador possa ter uma ideia da ordem de grandeza do custo.

### **3.3.13 Dificuldade do ensaio**

A classificação deste campo é de ordem qualitativa e tem em conta fatores como o nível de conhecimento técnico exigido, número de ensaios a realizar, o uso de equipamentos, a duração dos ensaios, os elementos/materiais a analisar. A dificuldade pode ser caracterizada como baixa, média ou elevada, através da seleção de uma caixa de verificação.

### **3.3.14 Procedimento de ensaio**

Neste campo é enumerado metodicamente todas as etapas que ocorrem durante a realização do ensaio. Os procedimentos aqui expostos fundamentam-se em livros, normas, fichas de ensaios e estudos anteriores sobre os ensaios.

### **3.3.15 Documentos normativos associados**

Nesta secção são apresentadas normas portuguesas, europeias, internacionais ou outras existentes relacionados com o ensaio apresentado. Podem ser referentes ao procedimento do ensaio ou aos materiais em análise e poderão complementar a informação contida na ficha.

### **3.3.16 Valores de referência**

No campo dos valores de referência são apresentados resultados de trabalhos ou estudos anteriores sobre o ensaio em questão. Estes valores podem servir de base para interpretação, comparação e validação dos resultados obtidos pelos ensaios do utilizador da ficha. Poderá incluir também formulas matemáticas, imagens e esquemas.

### **3.3.17 Registo de resultados**

A informação aqui presente resulta das medições registadas pelos técnicos e/ou equipamentos envolvidos no ensaio, revelando a forma como os resultados dos ensaios são

apresentados (tabelas, imagens ou gráficos) e ainda menciona as equações matemáticas relacionadas.

### **3.3.18 Interpretação dos resultados**

No último campo da ficha é realizada uma breve análise dos resultados obtidos. Esta informação servirá de apoio na formulação do diagnóstico.

### **3.3.19 Rodapé**

No final de cada página da ficha de técnicas encontra-se em formato de rodapé informação que ajuda a situar a ficha no catálogo. No final da primeira página, no canto esquerdo, encontra-se a referência da ficha e no canto direito o princípio de utilização. No final da segunda página a referência encontra-se no lado direito e do lado esquerdo está o título da técnica de diagnóstico da ficha.

## **3.4 ESTRUTURA DO CATÁLOGO**

O catálogo de técnicas laboratoriais de diagnóstico em amostras recolhidas de edificações em serviço é constituído por um índice, pelo conjunto de fichas técnicas de diagnóstico ordenadas segundo um parâmetro e conta ainda com uma bibliografia própria.

Como analisado em 2.5.1, as técnicas de diagnóstico podem ser classificadas ao nível das características comuns. Assim sendo, optou-se por organizar as fichas do catálogo segundo o seu princípio de funcionamento de modo a facilitar a sua consulta, seguindo deste modo a estrutura já definida nos catálogos referidos em 2.6.3. Procurou-se assim complementar os trabalhos já realizados e dar seguimento à continuidade destes, mantendo a possibilidade de integração de mais fichas em futuros trabalhos. Deste modo, as fichas encontram-se organizadas através da seguinte codificação:

- TPS – Técnicas de perceção sensorial (ópticas);
- TAM – Técnicas de ação mecânica;
- TIRE – Técnicas de interação com radiação eletromagnética;
- TRQ – Técnicas de reação química;
- THd – Técnicas hidrodinâmicas;
- TAT – Técnicas de análise térmica;
- TE – Técnicas elétricas / eletrónicas;



As técnicas incluídas neste catálogo são apenas as que são executadas em laboratórios sobre amostras recolhidas de elementos em serviço, resultando assim, num catálogo que contém 15 propostas de novas fichas de técnicas de diagnóstico.

Tendo em conta que o trabalho de Abreu [26] serviu de base para os trabalhos de Machado [22], Correia [27] e Pavão [28], onde foram introduzindo progressivamente alterações e melhorias tornou-se objetivo continuar com esta evolução. Assim, com o propósito de manter as fichas o mais simples possível, revelam-se de seguida algumas alterações e melhorias, assim como, as medidas que foram mantidas para atingir este objetivo:

- Adoção do sistema de referência para cada ficha técnica, onde é indicado a sequencia numérica da ficha no catálogo seguida das iniciais do princípio de funcionamento em que se baseia, introduzido por Machado [22];
- Exclusão de palavras chave do título da ficha para tornar o cabeçalho o mais simples possível, adotado por Correia [27] e Pavão [28];
- Alteração do campo "Elementos construtivos". Devido à grande variedade de elementos que o catálogo pode abranger, este campo foi alterado por forma a ter uma abordagem descritiva ao invés da ilustrativa apresentada por Abreu [26] ou por caixa de verificação apresentados nos catálogos de Machado [22], Correia [27] e Pavão [28]. Desta forma, é possível indicar quais os elementos em análise sem necessidade de reservar uma grande área neste campo da ficha (sugestão de melhoria de Machado [22]);
- Adoção da estrutura do campo "Princípio de funcionamento" sob a forma de caixa de verificação, implementado por Machado [22] e Correia [27], no sentido de simplificar a identificação deste parâmetro em cada técnica;
- Introdução de um novo campo "Tipo de amostra". Este campo surge da oportunidade em apresentar informação relacionada com os requisitos das amostras, dado que todas as técnicas incluídas no catálogo são executadas em amostras recolhidas;
- Ajuste para 2 opções no campo "Destrutividade", as classes "Destrutiva" e "Não destrutiva", tendo em conta a abordagem adotada para classificar os ensaios laboratoriais;
- Adoção dos campos "Custo do ensaio" e "Dificuldade do ensaio", sob forma qualitativa em caixas com 3 níveis, implementado por Machado [22] e Correia [27];
- O procedimento de ensaio é descrito enumerando cada passo, introduzido por Abreu [26], salientando-se a negrito o título de cada passo para facilitar a sua visualização;
- Os restantes campos pertencentes à estrutura principal mantiveram a estrutura semelhante ao catálogo de Correia [27], com a reorganização de alguns campos por forma a otimizar o espaço disponível nas fichas;

- As referências utilizadas na elaboração dos campos estão junto aos seus títulos e nas legendas das imagens e gráficos, implementado por Correia [27];
- Anexação da bibliografia do catálogo no Anexo I de modo a separar o seu conteúdo e possibilitar uma consulta independente da bibliografia da dissertação, melhoria introduzida por Machado [22];
- A ficha “03 TAM – Ensaio de compressão de carotes” vem complementar a ficha do catálogo de Correia [27] “5 TAM – Extração de carotes de betão para determinação das características de resistência” dado que esta última descreve o processo de recolha da amostra. Ressalve-se que o campo “Expressão dos resultados” da ficha 5 TAM de Correia [27] faz referência a um posterior ensaio de compressão de carotes.

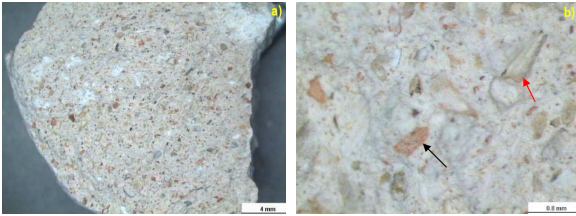
### 3.5 APRESENTAÇÃO DO CATÁLOGO



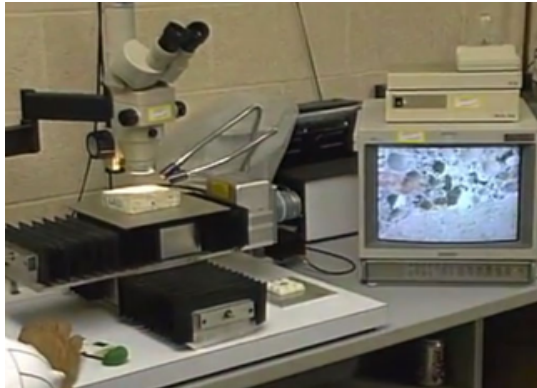
As fichas do catálogo de técnicas laboratoriais de diagnóstico em amostras recolhidas de edificações em serviço são apresentadas a seguir ao índice que está na tabela 3.1. As referências indicadas no catálogo podem ser consultadas no Anexo I – Referências bibliográficas do catálogo de técnicas de diagnóstico.

Tabela 3.1 – Índice do catálogo

Referência	Técnica de diagnóstico	Página
<b>TPS – Técnicas de percepção sensorial (ópticas)</b>		
01 TPS	Exame à lupa binocular	47
02 TPS	Análise ao microscópio petrográfico de betões e argamassas	49
<b>TAM – Técnicas de ação mecânica</b>		
03 TAM	Ensaio de compressão de carotes de betão armado	51
<b>TIRE – Técnicas de interação com radiação eletromagnética</b>		
04 TIRE	Microtomografia computadorizada de raios-X	53
05 TIRE	Espectroscopia de raios infravermelhos com transformada de Fourier	55
06 TIRE	Difratometria de raios-X	57
07 TIRE	Espectrometria de fluorescência de raios-X	59
<b>TRQ – Técnicas de reação química</b>		
08 TRQ	Cromatografia iónica	61
09 TRQ	Análise química por via húmida – Ataque ácido (HCl)	63
<b>THd – Técnicas hidrodinâmicas</b>		
10 THd	Porosimetria de mercúrio	65
11 THd	Absorção de água por imersão	67
<b>TAT – Técnicas de análise térmica</b>		
12 TAT	Análise termogravimétrica	69
13 TAT	Análise térmica diferencial	71
<b>TE – Técnicas elétricas / eletrónicas</b>		
14 TE	Microscopia eletrónica de varrimento	73
15 TE	Permeabilidade aos cloretos por diferença de potencial	75
Referências bibliográficas		Anexo I

<p><b>EXAME À LUPA BINOCULAR</b></p>	<p><b>Ref.<sup>a</sup></b> 01 TPS</p>
<p><b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos</p>	<p><b>LOCAL REALIZADO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i></p> <p><b>DESTRUTIVIDADE:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva</p>
<p><b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Reação química</p> <p><input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos</p>	<p><b>TIPO DE AMOSTRA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Não especificado</p>
<p><b>DESCRIÇÃO [1.1] [1.2]:</b></p> <p>A observação à lupa binocular permite identificar alguns minerais e rochas ou o grupo a que pertencem e examinar macroscopicamente o seu estado de alteração. Possibilita ainda a análise da natureza e estado dos materiais presentes na amostra e a observação de algumas das suas características gerais, como o grau de rolamento e esfericidade.</p> <p>Sendo uma técnica relativamente expedita e pouco dispendiosa, é especialmente útil nas fases preliminares de um estudo, pois possibilita uma primeira caracterização geral dos materiais geológicos (rochas, sedimentos) e permite separar e escolher adequadamente material para exames mais elaborados (difração dos raios-X, infravermelhos, etc.).</p> <p>A lupa binocular também é usada para o estudo de inúmeros fungos e líquenes, fazendo-se assim uma análise prévia a que se seguirá, ou não, o exame mais pormenorizado ao microscópio.</p>	<p><b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b></p> <p>1 – Lupa binocular 2 – Camara digital</p>  <p>Fig. 1.1 – Lupa binocular [1.3]</p>  <p>Fig. 1.2 – Camara digital Moticam [1.4]</p>
<p><b>POTENCIALIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Estudo de rochas, texturas e produtos de alteração;</li> <li>⇒ Análise macroestrutural (ampliação 2-20X);</li> <li>⇒ Determinação da composição de argamassas;</li> <li>⇒ Análise estratigráfica;</li> <li>⇒ Estudo de eflorescências e crostas;</li> <li>⇒ Identificação e caracterização dos agregados;</li> <li>⇒ Estudo do preenchimento de fissuras.</li> </ul>	<p><b>LIMITAÇÕES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Condições de ampliação limitada;</li> <li>⇒ Análise preliminar (necessidade de ensaios complementares);</li> <li>⇒ Não analisa quantitativamente;</li> <li>⇒ Não adequado para amostras de grandes dimensões, sendo neste caso preferível uma lupa ou câmara portátil.</li> </ul>
<p><b>Ref.<sup>a</sup></b> 01 TPS</p>	<p><b>TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL (ÓTICA)</b></p>

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Média    <input type="checkbox"/> Elevada</p>																			
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [1.1] [1.5] [1.6]:</b></p> <p><b>1. Preparação das amostras</b> através de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Regularização da superfície;</li> <li>⇒ Desagregação do material;</li> <li>⇒ Separação granulométrica;</li> <li>⇒ Secagem;</li> <li>⇒ Sem preparação (amostra como recolhida).</li> </ul> <p><b>2. Montagem de camara digital na ocular da lupa.</b> Este passo é opcional e permite ao utilizador gravar imagens da observação. Possibilita ampliações superiores.</p> <p>Através de um <i>software</i> informático com capacidade de armazenamento e edição de imagem, são efetuadas observações a tempo real no computador. De seguida, são programadas as condições de visualização (ampliação e focagem) e é inserida a escala para auxiliar a perceber as dimensões dos materiais analisados.</p> <p><b>3. Visualização da amostra</b>, com recurso a acessórios laterais colocados geralmente na lateral do equipamento, são ajustados para fazerem a focagem e selecionam a ampliação.</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:</b></p> <table border="1" data-bbox="834 353 1385 443"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Título</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LNEC E388</td> <td>Betões. Análise macro e microestrutural. Exame petrográfico</td> <td>1993</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Não são aplicáveis valores de referência.</p>	Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano	LNEC E388	Betões. Análise macro e microestrutural. Exame petrográfico	1993													
Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano																		
LNEC E388	Betões. Análise macro e microestrutural. Exame petrográfico	1993																		
<p><b>REGISTO DE RESULTADOS [1.7]:</b></p> <p><b>Exemplo de uma observação à lupa binocular:</b></p>  <p>Fig. 1.3 – a) Aspeto geral de uma amostra de argamassa à lupa binocular; b) Ampliação evidenciando pó de tijolo e agregados alongados [1.7]</p> <p><b>Apresentação dos resultados:</b></p> <p>Tabela 1.1 – Descrição mineralógica dos agregados de amostras por observação à lupa binocular, adaptado de [1.7]</p> <table border="1" data-bbox="209 1686 805 1888"> <thead> <tr> <th>Amostra</th> <th>Mineral predominante</th> <th>Outros minerais</th> <th>Fragmentos cerâmicos</th> <th>Forma dos grãos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td rowspan="2">Quartzo</td> <td>Xisto, feldspatos</td> <td>Presentes</td> <td>Subrolado</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Xisto, biotite, moscovite</td> <td>Ausentes</td> <td>Subanguloso</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Gesso</td> <td>-</td> <td>Pó de tijolo</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Amostra	Mineral predominante	Outros minerais	Fragmentos cerâmicos	Forma dos grãos	A	Quartzo	Xisto, feldspatos	Presentes	Subrolado	B	Xisto, biotite, moscovite	Ausentes	Subanguloso	C	Gesso	-	Pó de tijolo	-	<p><b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [1.1]:</b></p> <p>Os resultados da observação à lupa binocular permitem identificar a composição mineralógica do elemento sob análise.</p> <p>As propriedades utilizadas na identificação de minerais com a lupa binocular são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Cor;</li> <li>⇒ Transparência;</li> <li>⇒ Brilho;</li> <li>⇒ Clivagem;</li> <li>⇒ Fratura;</li> <li>⇒ Dureza;</li> </ul> <p>Estas propriedades, à exceção da clivagem e dureza, são de natureza exclusivamente qualitativa e um pouco ambíguas, já que a sua descrição depende da acuidade visual do observador.</p> <p>Também podem ser executadas micro reações ou pequenos testes para avaliar o comportamento de alguns dos componentes presentes na amostra. (ex. dissolução ou absorção de água, reação HCl, etc.).</p>
Amostra	Mineral predominante	Outros minerais	Fragmentos cerâmicos	Forma dos grãos																
A	Quartzo	Xisto, feldspatos	Presentes	Subrolado																
B		Xisto, biotite, moscovite	Ausentes	Subanguloso																
C	Gesso	-	Pó de tijolo	-																
<p><b>EXAME À LUPA BINOCULAR</b> <span style="float: right;">Ref.<sup>a</sup> 01 TPS</span></p>																				

<b>ANÁLISE AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO DE BETÕES E ARGAMASSAS</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 02 TPS
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
<input checked="" type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input checked="" type="checkbox"/> Normalizada <input type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Lâminas com 3mm _____
<b>DESCRIÇÃO [2.1] [2.2]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>O microscópio petrográfico está adaptado à observação de substâncias transparentes onde a cristalinidade é um fator importante. Essa adaptação consiste essencialmente na utilização de luz polarizada por meio de dois polarizadores (polarizador e analisador) situados acima da lâmina delgada a observar, de uma lente condensadora que permite a observação em luz convergente e na possibilidade de rodar a platina.</p> <p>É usando no estudo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Rochas e produtos de alteração;</li> <li>⇒ Produtos de eflorescências</li> <li>⇒ Preenchimento de fissuras;</li> <li>⇒ Tipos de crostas.</li> <li>⇒ Espécies vegetais infestantes;</li> <li>⇒ Produtos derivados (oxalatos, sulfatos, etc.).</li> </ul> <p>Permite que lhe sejam associados aparelhos fotográficos e sistemas diversos de análise de imagem.</p>		<p>1 – Máquina de corte do betão  2 – Máquina de desgaste/polimento  3 – Microscópio polarizante</p>
		 
		<p>Fig. 2.1 – Máquina de corte dos provetes e carotes [2.3]</p> <p>Fig. 2.2 – Máquina de desgaste e polimento [2.3]</p>
		
		<p>Fig. 2.3 – Microscópio polarizante ligado a equipamento digital [2.4]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Análise microestrutural (ampliação 400X);</li> <li>⇒ Estratigrafia de revestimentos;</li> <li>⇒ Determinação da composição de argamassas e betões;</li> <li>⇒ Identificação de produtos de reações químicas;</li> <li>⇒ Análise qualitativa e quantitativa;</li> <li>⇒ Avaliação do tempo de cura, resistência, qualidade de compactação e tipo de cimento;</li> <li>⇒ Avaliação da fissuração e produtos de eflorescências.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Requer preparação cuidada das amostras;</li> <li>⇒ Preparador experiente;</li> <li>⇒ Necessidade de complementar com outras técnicas.</li> </ul>
<b>Ref.<sup>a</sup></b> 02 TPS	<b>TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL (ÓTICA)</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico       Médio       Oneroso

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [2.2] [2.5]:****1. Preparação da amostra** (fig. 2.5):

- ⇒ Impregnação com resina epoxídica transparente;
- ⇒ Corte em fatias ≈ 3mm;
- ⇒ Desgaste e polimento ≈ 0.03mm;
- ⇒ Obtenção de amostra em lâmina delgada.

**2. Verificação do funcionamento do microscópio:**

- ⇒ Perpendicularidade das direções de vibração da luz;
- ⇒ Centragem das objetivas;

**3. Observação** (microscópio com luz polarizada é o ideal):

- ⇒ Aspectos gerais com objetiva de menor ampliação:
  - Distribuição;
  - Grau de rolamento;
  - Grau de homogeneidade do ligante;
  - Presença de microfraturação.
- ⇒ Identificação com objetiva de grande ampliação:
  - Minerais;
  - Litoclastos;
  - Alteração das fases minerais;
  - Estudo das propriedades óticas do ligante.

**4. A análise quantitativa** faz a contagem de pontos das amostras e tem como objetivo estimar a percentagem de agregados e quantificar os minerais presentes.

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa       Média       Elevada

**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
LNEC E388	Betões. Análise macro e microestrutural. Exame petrográfico	1993
EN 12407	Natural stone test methods	2007
RILEM AAR-1	Detection of potential alkali reactivity of aggregates – Petrographic method	2003
NP EN 932-3	Ensaio para determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 3: Procedimento e terminologia para a descrição petrográfica simplificada.	2010

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Não são aplicáveis valores de referência. O restante espaço foi aproveitado para apresentar uma amostra preparada.



Fig. 2.5 – Amostra preparada em lâmina de vidro junto da seção de betão utilizada para a preparar [2.6]

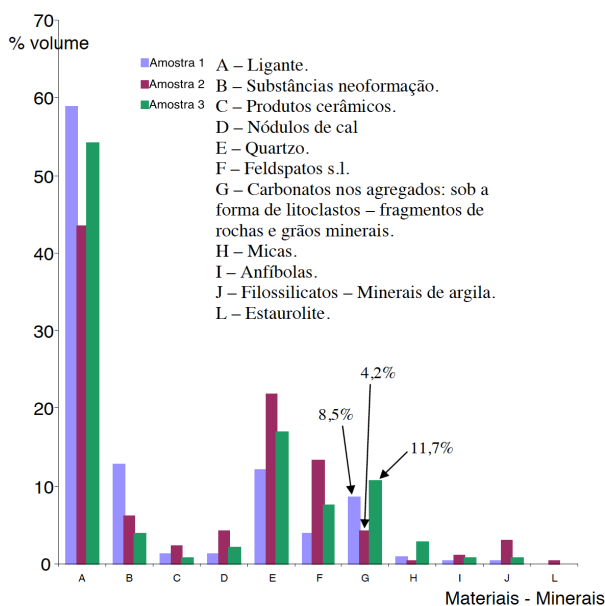
**REGISTO DE RESULTADOS [2.2]:****Apresentação dos resultados:** Gráfico e/ou tabela

Fig. 2.4 – Representação dos resultados obtidos [2.2]

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [2.2] [2.7]:**

A principal aplicação da geologia ao estudo do betão refere-se à caracterização dos agregados e à identificação da ocorrência de reações internas expansivas no betão, na medida em que condicionam a durabilidade das estruturas.

Os resultados da análise permitem quantificar os elementos rochosos e minerais presentes nas argamassas e nos betões. Pode ser possível determinar as composições e os traços caraterísticos, a proveniência dos materiais utilizados e ainda identificar os produtos de alteração.

Salienta-se a importância da complementaridade de metodologias (Difração de raios-X, microscopia eletrónica de varrimento, análise termogravimétrica) neste tipo de estudos, desta forma obtém-se dados que permitem determinar com maior rigor as características acima mencionadas



## ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CAROTES DE BETÃO ARMADO

Ref.<sup>a</sup>

03 TAM

### ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:

#### Estruturais

Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações

#### Não-Estruturais

Pavimentos; Alvenarias;

### LOCAL REALIZADO:

Laboratório

*In Situ*

### DESTRUTIVIDADE:

Destrutiva

Não-destrutiva

### PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:

Percepção sensorial (ótica)

Ação mecânica

Interação com radiação eletromagnética

Reação química

Hidrodinâmica

Análise térmica

Efeitos elétricos /eletrônicos

### TIPO DE AMOSTRA:

Normalizada

Irregular

Quantidade/Dimensão:

Variável \_\_\_\_\_

### DESCRIÇÃO [3.1] [3.2]:

Técnica para determinar as características de resistência de betões já aplicados em obra. Para efetuar o ensaio é necessário retirar uma amostra cilíndrica, a carote, do elemento de betão a analisar. A amostra é retirada do elemento estrutural através de uma caroteadora. Depois de devidamente preparada a amostra é submetida a um ensaio de compressão axial

A resistência à compressão é determinada em provetes submetidos a uma solicitação axial num ensaio de curta duração, isto é, com uma velocidade de carregamento elevada. Dado que a forma dos provetes, a velocidade de carregamento e outros fatores tais como a idade do betão e as condições de cura têm uma influência significativa na resistência medida, os métodos de ensaio são normalizados.

Este ensaio é destrutivo uma vez que, para extrair a carote, tem de se provocar um pequeno dano no elemento a analisar, obrigando à sua reparação. Por este motivo não poder ser usada de forma exaustiva.

### EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:

- 1 – Prensa hidráulica
- 2 – Mesa de corte de provetes e carotes
- 3 – Retificadora
- 4 – Paquímetro
- 5 – Balança



Fig. 3.1 – Mesa de corte de provetes e carotes [3.3]



Fig. 3.2 – Prensa hidráulica com indicador de leitura [3.4]



Fig. 3.3 – Retificadora horizontal [3.5]



Fig. 3.4 – Paquímetro [3.6]

### POTENCIALIDADES:

- ⇒ Avaliação da resistência à compressão;
- ⇒ Caracterização das propriedades mecânicas.

### LIMITAÇÕES:

- ⇒ Número e locais de extração de amostras podem ser limitados devido à natureza destrutiva da técnica;
- ⇒ Técnica destrutiva, provoca danos no elemento analisado que têm de ser colmatados.

Ref.<sup>a</sup> 03 TAM

TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [3.7]:**

**1. Inspeção visual** da carote (a olho nu ou com lupa), procura identificar possíveis anomalias (fissuras, buracos ou a presença de aço) implicando a rejeição da amostra.

**2. Acerto da relação comprimento/diâmetro** com a máquina de corte.

⇒ 2 se o resultado for para comparar com a resistência do cilindro;

⇒ 1 se o resultado for para comparar com a resistência do cubo.

Medições efetuadas com o paquímetro.

**3. Retificação dos topos** (por desgaste ou capeamento) de modo a que se apresentem lisos e paralelos.

**4. Registo das condições de armazenamento** das amostras. Se for requerido ensaiar a carote saturada, esta deve ser mantida em água (20±2°C) durante 48 horas antes do ensaio

**5. Limpeza das superfícies da carote**, removendo areia ou outro material solto e água das suas superfícies no caso do ensaio com a amostra molhada.

**6. As amostras são ensaiadas até à rotura** numa máquina de ensaio de compressão, em conformidade com a norma. Regista-se as condições de humidade e a carga máxima suportada pela amostra e calcula-se a resistência à compressão do betão.

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref.ª	Título	Ano
NP EN 12504-1	Carotes. Extração, exame e ensaio à compressão	2009
NP EN 13791	Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos prefabricados	2008
NP EN 12390-3	Resistência à compressão dos provetes de ensaio	2003

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Tabela 3.2 - Classes de resistência à compressão para betão de massa volúmica normal [3.8]

Classe	Resistência característica mínima em cilindros $f_{ck,cyl}$ (MPa)*	Resistência característica mínima em cubos $f_{ck,cube}$ (MPa)*
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

\*Resistência característica aos 28 dias obtida a partir de provetes:

- ⇒ cilíndricos com 300 mm de altura e 150 mm de diâmetro;
- ⇒ cúbicos com 150 mm de aresta.

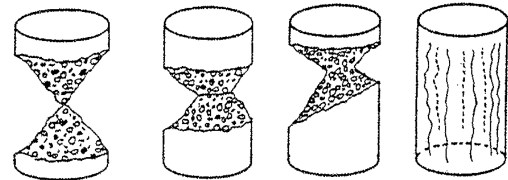


Fig. 3.5 – Roturas satisfatórias de provetes cilíndricos [3.9]

**REGISTO DE RESULTADOS [3.9]:**

Tensão de rotura:  $f_c = \frac{F}{A}$  (aproximando aos 0,5 MPa):

- ⇒  $F$  – Carga máxima atingida;
- ⇒  $A$  – Área da secção da carote.

**Apresentação dos resultados:** Tabela resumo

Tabela 3.1 – Registo de dados para o um ensaio de resistência à compressão

Identificação do provete	Data do ensaio	Dimensões (cm)	Massa (kg)	Massa Volúmica (kg/m³)	Humidade Superficial	Carga máxima de rotura (kN)	Relação $h/\phi$	Tensão de rotura à compressão (MPa)

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [3.10]:**

Para normalizar os valores da tensão de rotura das carotes com diferentes dimensões, para o provete cilíndrico padrão, com  $h=\phi$ , efetua se a seguinte correção:

$$F_{cil} = \frac{2,5}{1,5 + \frac{\phi}{h}} \times F_{car},$$

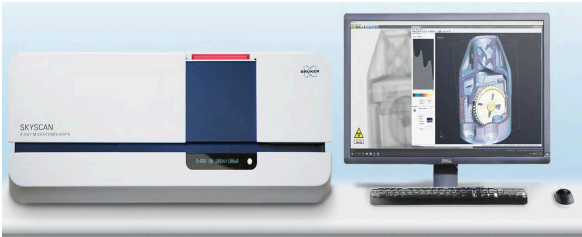
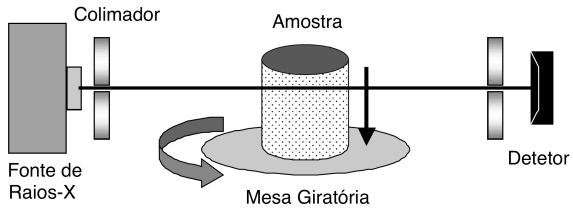
para carotes extraídas horizontalmente.

A resistência média do betão referida a cubos pode ser estimada por:

$$f_{cm} = f_{cm,ci} \times \left(1 \pm \frac{12\%}{\sqrt{n}}\right), \text{ em que:}$$

- ⇒  $f_{cm}$  é tensão média;
- ⇒  $f_{cm,ci}$  é tensão média dos provetes cilíndricos;
- ⇒  $n$  é o numero de provetes.



<b>MICROTOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE RAIOS-X (MicroCT)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 04 TIRE
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input checked="" type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Reação química		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Não especificado
<b>DESCRIÇÃO [4.1] [4.2]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>A tomografia computadorizada de raios-X é uma técnica que permite de modo não destrutivo a visualização da estrutura interna de objetos sólidos e obtenção de características sobre suas geometrias e propriedades tridimensionais. O prefixo micro é serve para indicar que a resolução das secções transversais está na ordem de micrómetros.</p> <p>A Microtomografia computadorizada de raios-X (MicroCT) tem aplicações no estudo do betão e das argamassas através da caracterização e discriminação dos seus componentes, caracterização da estrutura porosa, análise da distribuição espacial e avaliação do desenvolvimento de fissuras</p> <p>Esta técnica baseia-se na interação dos raios-X com a matéria sólida da amostra. Quando o feixe do raio-X atravessa o material, este sofre uma atenuação, cuja intensidade depende da densidade e do número atômico do material (Lei de Beer). Podem ser utilizadas projeções de imagens obtidas de diversos ângulos, para a reconstrução de uma fatia virtual a 2D que atravessa o objeto, sem existir qualquer espécie de destruição do material. Um algoritmo matemático é então usado para reconstruir a distribuição da atenuação de raios-X do objeto analisado, juntando as diferentes fatias obtidas para compor uma imagem tridimensional.</p>		<p>1- Microtomógrafo          2- Computador com <i>software</i> de análise</p>
		 <p>Fig. 4.1 – Microtomógrafo de raios-X automatizado: SKYSCAN 1275 [4.3]</p>
		 <p>Fig. 4.2 – Esquema de um sistema de tomografia computadorizada de raios-X [4.4]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
<p>⇒ Análise da distribuição espacial tridimensional dos componentes;</p> <p>⇒ Análise de argamassas e betões;</p> <p>⇒ Repetição de ensaios na mesma amostra (não destrói a amostra);</p> <p>⇒ Análise da estrutura interior para deteção de defeitos (presença de vazios ou objetos estranhos);</p> <p>⇒ Avaliação da densidade tomográfica e da porosidade de amostras de alvenaria, tijolo pedra ou argamassa;</p> <p>⇒ Avaliação do desenvolvimento de fissuras.</p>		<p>⇒ Não aplicável em materiais opacos a raios-X;</p> <p>⇒ Amostras de reduzida dimensão;</p> <p>⇒ Resolução de imagem limitada;</p> <p>⇒ Não se adequa, por si só, à análise da composição químico/mineral quantitativa.</p>
<b>Ref.<sup>a</sup> 04 TIRE</b>	<b>TÉCNICA DE INTERAÇÃO COM RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico       Médio       Oneroso

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [4.1] [4.2]:**

Devido à variedade de sistemas de tomografia o procedimento é descrito de uma forma genérica.

**1. Na preparação da amostra** a única necessidade é garantir que o objeto encaixe dentro do campo de deteção do tomógrafo e que esta não se mova durante o ensaio. Como o campo de varredura completo é um cilindro a geometria ideal para a amostra será cilíndrica. Assim é vantajoso obter uma amostra, quer utilizando uma caroteadora ou envolvendo a amostra num recipiente cilíndrico com material de enchimento transparente a raios-X.

**2. Posicionamento da amostra** sobre mesa giratória no interior do aparelho. De modo a garantir a estabilização da amostra, pode ser aplicado resina transparente na sua base.

**3. Aquisição de imagens** com a emissão de raios-X e rotação da plataforma que contém a amostra. Normalmente, a rotação é contínua durante o ensaio e sua amplitude pode variar (180°-360°) consoante o sistema utilizado. O alinhamento de todas as projeções obtidas ao longo de uma matriz dá origem a uma imagem.

**3. A reconstrução** é o processo matemático de conversão das imagens obtidas em fatias bidimensionais. A forma de reconstrução mais usual é a retroprojeção, onde é feita a integração das projeções obtidas.

**4. Eliminação do ruído** criado durante a fase de aquisição com aplicação de filtros de imagem.

**5. Obtenção de modelo tridimensional** após a conclusão de tratamento de imagem.

**6. Parametização de propriedades físicas** a 2D ou 3D com recurso a *software* dedicado.

**REGISTO DE RESULTADOS [4.3]:**

**Apresentação dos resultados:** Gráficos 2D e 3D no software de análise

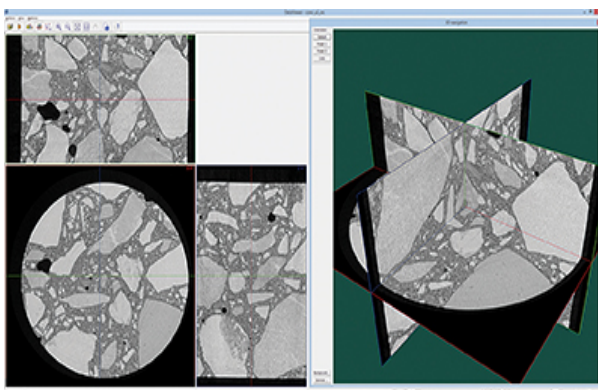


Fig. 4.3 – Visualização do interior de uma amostra de betão [4.3]

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa       Média       Elevada

**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ASTM E1441	Standard Guide for Computed Tomography (CT) Imaging	2011
ASTM E1570	Standard Guide for Computed Tomography (CT) Examination	2011

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Tabela 4.1 – Classificação geral da tomografia computadorizada [4.2]

Tipo	Escala de observação	Escala de resolução
Convencional	m	mm
Alta Resolução	dm	100 µm
Ultra Resolução	cm	10 µm
Microtomografia	mm	1 µm

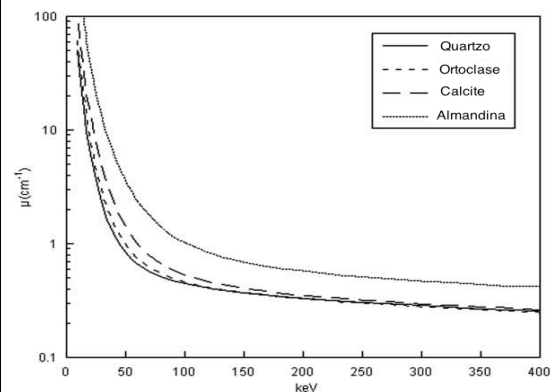


Fig. 4.4 – Coeficiente de atenuação linear em função da energia dos raios-X em quarto mineral rochoso [4.2]

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [4.1] [4.2]****[4.5]:**

A visualização 3D das amostras através da microtomografia permite:

- ⇒ Analisar o conteúdo volumétrico de vazios em amostras de argamassa ou betão;
- ⇒ Ajuda a obter uma melhor compreensão das fraturas e mecanismos de falha na meso-escala;
- ⇒ Quantificar os danos pela variação da fração de volume de fissuras e vazios;
- ⇒ Determinar a compactidade;
- ⇒ Distinção dos constituintes através da compactidade;
- ⇒ Medir a quantidade do ligante.

<b>ESPETROSCOPIA DE RAIOS INFRAVERMELHOS COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 05 TIRE
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input checked="" type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química		<input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Não especificado
<b>DESCRIÇÃO [5.1] [5.2] [5.3]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>A Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica utilizada para identificar materiais orgânicos e a maioria dos materiais inorgânicos. Esta técnica mede a absorção da radiação IV da amostra em relação ao comprimento de onda. As faixas de absorção de infravermelhos identificam estruturas e componentes moleculares.</p> <p>Quando um material é irradiado com radiação infravermelha, a radiação IV absorvida geralmente excita moléculas para um estado vibratório mais elevado. O comprimento de onda da luz absorvida por uma determinada molécula é função da diferença de energia entre os estados vibratórios em repouso e excitado. Os comprimentos de onda que são absorvidos pela amostra são característicos da sua estrutura molecular.</p> <p>O espectrômetro FTIR utiliza um interferômetro para modular o comprimento de onda a partir de uma fonte de infravermelhos. Um detetor mede a intensidade da luz transmitida ou refletida em função do seu comprimento de onda. O sinal obtido do detetor é um interferograma, que deve ser analisado com um computador usando transformadas de Fourier para obter um espectro infravermelho de feixe único. Os espectros de FTIR são usualmente apresentados como gráficos de intensidade em função número de onda (cm<sup>-1</sup>). A intensidade pode ser traçada como a porcentagem de transmitância ou de absorvância de luz a cada número de onda.</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Prensa hidráulica</li> <li>2- Almofariz de ágata</li> <li>3- Kit Sais purificados (Cloreto sódio, brometo de potássio)</li> <li>3- Espetrômetro IV</li> <li>4- Computador com <i>software</i> de análise</li> </ol>
		 
		<p>Fig. 5.1 – Prensa hidráulica manual [5.4]</p> <p>Fig. 5.2 – Almofariz, pilão e Kit de sais [5.5]</p>
		
		<p>Fig. 5.3 – Espetrômetro Jasco FT/IR-6700 [5.6]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Análise qualitativa e quantitativa;</li> <li>⇒ Avaliação de alterações associadas à utilização de consolidantes da pedra;</li> <li>⇒ Determinação da composição mineralógica (ligante e agregados);</li> <li>⇒ Identificação e análise estrutural de substâncias orgânicas (sólidos, líquidos, gases, materiais amorfos, pós e polímeros);</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Misturas complexas produzem sobreposição de espectros que podem levar a interpretações incorretas;</li> <li>⇒ Soluções aquosas são difíceis de analisar;</li> <li>⇒ Condições do meio à volta do equipamento poderão provocar variações no espetro;</li> <li>⇒ Técnica sensível à presença de grupos funcionais;</li> <li>⇒ Não deteta entidades monoatômicas;</li> <li>⇒ Não deteta moléculas diatômicas.</li> </ul>
<b>Ref.<sup>a</sup> 05 TIRE</b>	<b>TÉCNICA DE INTERAÇÃO COM RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [5.2] [5.3] [5.7]:**

**1. A preparação da amostra** depende do estado físico desta:

⇒ Líquido/Pasta: Podem ser prensadas entre duas placas de um sal de alta pureza como o cloreto de sódio. Essas placas têm de ser transparentes à luz infravermelha, assim, não introduzem nenhuma linha no espectro da amostra;

⇒ Sólido: São preparadas misturando-se uma certa quantidade da amostra com um sal purificado (geralmente brometo de potássio). Essa mistura é triturada e prensada a fim de se formar uma pastilha pela qual a luz pode passar. Essa pastilha precisa ser prensada (prensa hidráulica) a altas pressões a fim de garantir que ela seja translúcida.

**2. Introdução da amostra** preparada no espectrómetro.

**3. Varrimento** de curta duração (≈1 min):

⇒ A amostra é analisada pelo sistema computadorizado que gera os espectros de absorvância mostrando as ligações químicas e a estrutura molecular da amostra.

Embora a análise seja realizada em absorvância, os resultados podem ser convertidos em transmitância, uma vez que são simples inversões.

**4. Na identificação da amostra** o espectro analítico é então comparado num programa de bibliotecas de referência com espectros catalogados para identificar os constituintes ou para encontrar uma correspondência aproximada ao material desconhecido utilizando os catálogos de espectros de materiais conhecidos.

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Não foram encontrados documentos normativos associados a este ensaio.

**VALORES DE REFERÊNCIA [5.8]:**

Os valores de referência relacionados com este ensaio consistem numa vasta biblioteca de espectros conhecidos.

Tabela 5.1 – Exemplo de tabela de biblioteca espectral

Grupo Funcional	Intensidade	Absorvância (cm <sup>-1</sup> )

A equação da transformada de Fourier que é dada por:

$$I(\delta) = \int_0^{+\infty} B(\bar{\nu}) \cos(2\pi\bar{\nu}\delta) d\bar{\nu}, \text{ em que:}$$

⇒  $I(\delta)$  é a intensidade do feixe;

⇒  $\bar{\nu}$  é o número de onda;

⇒  $B(\bar{\nu})$  é a densidade espectral de potência, dada por:

$$B(\bar{\nu}) = \int_0^{+\infty} I(\delta) \cos(2\pi\bar{\nu}\delta) d\delta$$

**REGISTO DE RESULTADOS [5.9]:**

**Apresentação dos resultados:** Espectro de infravermelho

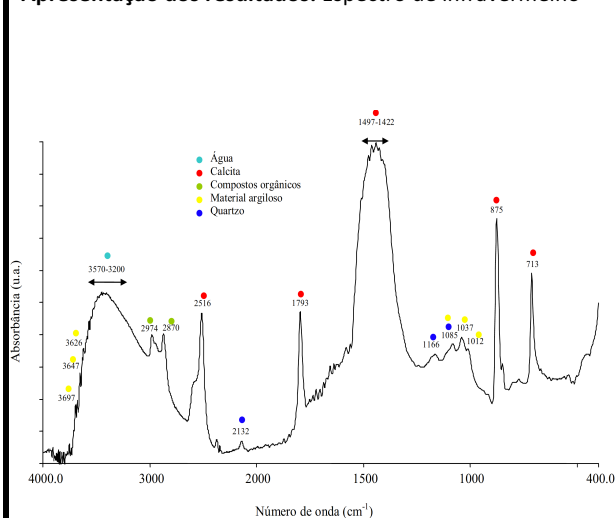


Fig. 5.4 – Espectro de infravermelho obtido do ensaio FTIR em uma amostra [5.8]

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [5.1] [5.10]:**

Para identificar o material a ser analisado, o espectro de absorção IV desconhecido é comparado com espectros padrão em bases de dados ou com um espectro obtido a partir de um material conhecido.

A determinação qualitativa faz-se correlacionando o espectro com o de espécies químicas presentes na amostra.



Fig. 5.5 – Espectro FTIR na análise de tinta [5.1]

A concentração quantitativa de um composto pode ser determinada a partir da área sob a curva em regiões características do espectro IV. A calibração da concentração é obtida através do estabelecimento de uma curva padrão a partir de espectros para concentrações conhecidas.

<b>DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)</b>	<b>Ref.<sup>a</sup></b> 06 TIRE
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações ----- <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos -----	<b>LOCAL REALIZADO:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>  <b>DESTRUTIVIDADE:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>  <input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input checked="" type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química	<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>  <input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Não especificado
<b>DESCRIÇÃO [6.1] [6.2]:</b>  A difração de raios-X (DRX) é uma técnica correntemente utilizada na identificação de minerais, constituído um dos métodos mais fiáveis na identificação mineralógica em materiais que apresentam uma estrutura cristalina. A interação entre a matéria cristalina e a radiação-X dá lugar a uma dispersão, que é provocada pelo ordenamento interno da matéria cristalina. A relação entre a radiação e a estrutura do cristal é dada pela lei de Bragg:  $n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$ , em que:  ⇒ <b>n</b> - Ordem de reflexão (normalmente =1); ⇒ <b>λ</b> - Comprimento de onda dos raios-X; ⇒ <b>d</b> - Espaçamento entre planos (angström); ⇒ <b>θ</b> é o ângulo de incidência e reflexão.  Existem vários métodos de aplicação da difração de raios-X, consoante o objetivo do estudo. Entre os diversos métodos experimentais, o mais utilizado na identificação de materiais sólidos cristalinos é o método do pó.  A difratometria de raios-X, que é atualmente a técnica de difração de raios-X mais empregue, baseia-se simplificada na colocação da amostra sobre um porta amostras plano que se faz girar em torno dum eixo. O feixe de raios-X, produzido por ampolas de raios-X, é colimado por um sistema de fendas, até embater sobre a amostra que o difrata nas direções que cumprem com a lei de Bragg. O feixe difratado é depois colimado por outro conjunto de fendas até entrar num sistema de contagem de radiações (contador), que envia a informação para um computador que mostra o registo difratométrico da amostra.	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  1- Almofariz de ágata 2- Estufa ventilada 3- Difratómetro 4- Computador com <i>software</i> de análise   Fig. 6.1 – Almofariz e pilão [6.3]   Fig. 6.2 – Difratómetro de raios-X Panalytical X'Pert3 Powder II [6.4]
<b>POTENCIALIDADES:</b>  ⇒ Composição mineralógica das fases cristalinas; ⇒ Avaliação do grau de cristalinidade dos minerais; ⇒ Condições de processamento; ⇒ Identificação de eflorescências, agregados e ligantes com fases cristalinas;	<b>LIMITAÇÕES:</b>  ⇒ Apenas identifica minerais cristalinos; ⇒ Necessidade técnicas complementares; ⇒ Contaminantes afetam os resultados; ⇒ Análise semi-quantitativa.
<b>Ref.<sup>a</sup></b> 06 TIRE	<b>TÉCNICA DE INTERAÇÃO COM RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b>



**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [6.1] [6.2] [6.8] [6.9]:**
**Método dos pós** (identificação de substâncias cristalinas)

1. **A preparação da amostra** é efetuada com um almofariz e um pilão, na qual é triturada até se obter um pó fino.

2. **Secagem da amostra** em estufa, este passo pode ser efetuado antes da trituração.

3. **Colocação da amostra** no porta-amostras do difratómetro e levemente compactada para que as partículas não se soltem durante a análise.

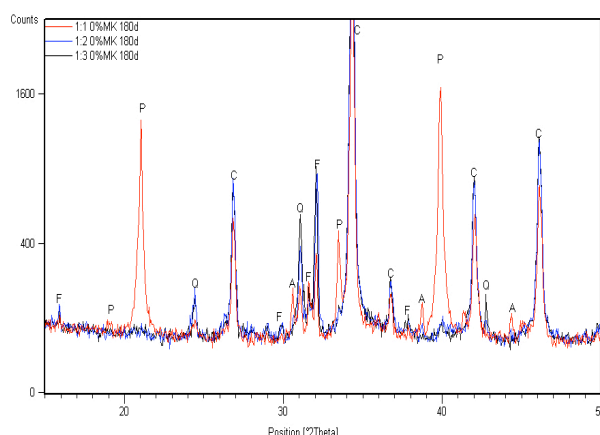
**4. Definição das condições de ensaio:**

- ⇒ Tensão (kV);
- ⇒ Corrente (mA);
- ⇒ Ampola ( $K\alpha$ );
- ⇒ Comprimento de onda (Å);
- ⇒ Gama de ângulos ( $2\theta$ );
- ⇒ Passo (incremento de  $2\theta$ );
- ⇒ Tempo por passo (s).

5. **Varrimento** e transmissão dos dados para a unidade de processamento:

- ⇒ Obtenção dos difratogramas.

6. **A análise dos registos obtidos** pode ser efetuada de forma automática ou a partir da sua comparação com registos de compostos puros existentes numa base de dados de difração de raios-X. Esta operação, no entanto, não dispensa a intervenção do operador na interpretação dessa informação.

**REGISTO DE RESULTADOS [6.5]:**
**Apresentação dos resultados: Difratograma**

**Fig. 6.3 – Difratogramas de argamassas de cal aérea [6.5]**
**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
LNEC E403	Cimentos. Identificação dos constituintes cristalinos por difractometria dos raios-X	1993
LNEC E384	Escória granulada de alto forno moída para betões. Determinação do teor de material vítreo por difração de raios-X	1993
EN 13925	Non-destructive testing – X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials	2003

**VALORES DE REFERÊNCIA [6.6]:**

O Centro Internacional de Dados de Difração (ICDD - *International Centre for Diffraction Data*) mantém uma base de dados dos padrões de difração com as fichas PDF (*Powder Diffraction File*) que contém os espaçamentos e as intensidades dos picos de difração.

⇒ Website: [www.icdd.com](http://www.icdd.com)

**46-1045** ★

	dÅ	Int	hkℓ	dÅ	Int	hkℓ
SiO <sub>2</sub>	4.2550	16	100	1.1530	1	311
Silicon Oxide	3.3435	100	101	1.1407	<1	204
Quartz, syn	2.4569	9	110	1.1145	<1	303
	2.2815	8	102	1.0816	2	312
	2.2361	4	111	1.0638	<1	400
Rad. CuKα <sub>1</sub> λ 1.540598 Filter Ge Mono. 4-sp Diff. Cut off Int. Diffractometer I/cur.41	2.1277	6	200	1.0477	1	105
Ref. Kern, A., Eysel, W., Mineralogisch-Petrograph. Inst., Univ. Heidelberg, Germany, ICDD Grant-in-Aid, (1993)	1.9799	4	201	1.0438	<1	401
	1.8180	13	112	1.0346	1	214
Sys. Hexagonal S.G. P3 <sub>2</sub> 21 (154)	1.8017	<1	003	1.0149	1	223
a 4.91344(4) b c 5.40524(8) A C 1.1001	1.6717	4	202	0.9896	<1	115
α β γ Z 3 mp	1.6592	2	103	0.9872	<1	313
Ref. Ibid.	1.6083	<1	210	0.9783	<1	304
	1.5415	9	211	0.9762	<1	320
D <sub>1</sub> 2.65 D <sub>2</sub> 2.66 SS/FOM F <sub>40</sub> =539(002,31)	1.4529	2	113	0.9608	<1	321
Ref. Swanson, Fuyat, Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, 3, 24 (1954)	1.4184	<1	300	0.9285	<1	410
Color White	1.3821	6	212	0.9182	<1	322
Integrated intensities. Pattern taken at 23(1) C. Low temperature quartz, 2θ determination based on profile fit method. O-Si type. Quartz group. Silicon used as internal standard. PSC: hP9. To replace 33-1161. Structure reference: Z. Kristallogr., 198 177 (1992).	1.3750	7	203	0.9161	2	403
	1.3719	5	301	0.9152	2	411
	1.2879	2	104	0.9089	<1	224
	1.2559	3	302	0.9009	<1	006
	1.2283	1	220	0.8972	<1	215
	1.1998	2	213	0.8889	1	314
	1.1978	<1	221	0.8814	<1	106
	1.1840	2	114	0.8782	<1	412
	1.1802	2	310	0.8598	<1	305

**Fig. 6.4 – Exemplo de uma ficha PDF-2 para o quartzo [6.7]**
**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [6.8] [6.9]:****Leitura do difratograma**

Cada difratograma é característico de uma substância, assim, são feitas as leituras dos picos mais intensos, os quais são utilizados para a identificação dos minerais por comparação com os dados das fichas PDF (*Powder Diffraction Files*, ICDD). Os picos de intensidade são um indicador da concentração de cada mineral na amostra. No entanto, não é possível obter indicadores absolutos, pois cada mineral responde de forma diferente à DRX, pelo que, o facto de se obter maior grau de acerto de um mineral não significa que a amostra tenha mais quantidade desse mineral, significa apenas que esse mineral apresenta reflexões mais intensas. Assim, é possível verificar quais os minerais que se encontram em maior quantidade relativamente aos restantes, embora não representem a quantidade específica que se encontra na amostra. Existe a possibilidade de efetuar quantificação pelo método de Rietveld quando os produtos são poucos e bem conhecidos.

<b>ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (EFRX)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 07 TIRE
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Paredes resistentes de pedra -----  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Alvenarias de pedra; Revestimentos de pedra; argamassas e cimentos -----		<b>LOCAL REALIZADO:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>  <input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input checked="" type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Normalizada <input type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Variável _____
<b>DESCRIÇÃO [7.1] [7.2]:</b>  A Espectrometria de fluorescência de raios-X (do inglês <i>X-ray Fluorescence</i> - XRF) é um método analítico para determinação da composição química em todos os tipos de materiais. Os materiais podem ser analisados no estado maciço, líquido, em pó (pastilhas prensadas ou pérolas fundidas) ou outras formas.  Baseia-se no princípio de que um elemento químico, quando convenientemente excitado, se torna emissor de uma radiação que pode ser usada para a identificação desse elemento e determinação da sua concentração. O átomo de um elemento, quando excitado nas suas orbitais mais internas K e L (só interessa considerar a excitação nestas duas orbitais por serem aquelas que fornecem as "riscas" analíticas usadas no domínio da EFRX), emite uma radiação cujo $\lambda$ se situa no domínio das radiações X. Quando se faz incidir um feixe de raios X sobre uma dada substância, a energia é absorvida pelos átomos dos diferentes elementos. Os elementos para os quais a energia absorvida foi suficiente para excitar as orbitais mais internas tornam-se emissores de uma radiação X secundária, dita de fluorescência, característica do elemento.  A maioria dos equipamentos utilizados atualmente pertencem a duas categorias: ⇒ Espetrômetros por dispersão por comprimento de onda (WDXRF); ⇒ Espetrômetros por dispersão de energia (EDXRF);		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  1- Almofariz de ágata 2- Materiais de referência 3- Película transparente (exemplo: mylar) 4- Espetrómetro de fluorescência de raios-X 5- Computador com <i>software</i> de análise       <p>Fig. 7.1 – Película transparente [7.3]                      Fig. 7.2 – Materiais de referência certificados (CRM) [7.4]</p> <p>Fig. 7.3 – Espetrómetro de fluorescência de raios-X por dispersão de energia – Rigaku NEX CG [7.5]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>  ⇒ Determinação da composição química dos materiais; ⇒ Análise de rochas e minerais; ⇒ Determinação da espessura e composição de camadas e/ou revestimentos; ⇒ Análises qualitativas e quantitativas; ⇒ Ensaio não altera as características da amostra permitindo o uso em outros ensaios.		<b>LIMITAÇÕES:</b>  ⇒ A maioria dos instrumentos disponíveis são limitados na capacidade de medir com precisão a abundância de elementos dos materiais com $Z < 11$ . ⇒ As análises de EFRX não distinguem variações entre os isótopos de um elemento. ⇒ As análises de EFRX não conseguem distinguir iões do mesmo elemento em diferentes estados de valência, sendo necessário recorrer a outras técnicas.
<b>Ref.<sup>a</sup> 07 TIRE</b>		<b>TÉCNICA DE INTERAÇÃO COM RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b>

**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico       Médio       Oneroso

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [7.6] [7.7] [7.8]:**

Como existe uma grande variedade de métodos e sistemas de análise e muitas diferenças entre os equipamentos EFRX, é recomendado seguir as instruções fornecidas pelo fabricante do equipamento. Este guia apenas cobre as considerações gerais do procedimento de uma forma genérica.

**1. Preparação da amostra - Método de pó solto**

Para rochas e minerais, os instrumentos comerciais típicos requerem uma amostra que contenha pelo menos vários gramas de material, embora a amostra colhida possa ser muito maior. Esta amostra é então moída em um pó fino por qualquer uma variedade de técnicas (almofariz e pilão).

**2. Colocação da amostra em capsula**

⇒ Cobrir com uma película transparente de EFRX para evitar contaminação.



Fig. 7.4 – Amostra em capsula coberta por película [7.6]

**3. Introdução da amostra e do material de referência nos suportes de amostras do sistema.**

**4. Análise e aquisição dos dados (processo computadorizado)**

⇒ Obtenção dos espectros EFRX  
⇒ Obtenção de tabelas de dados

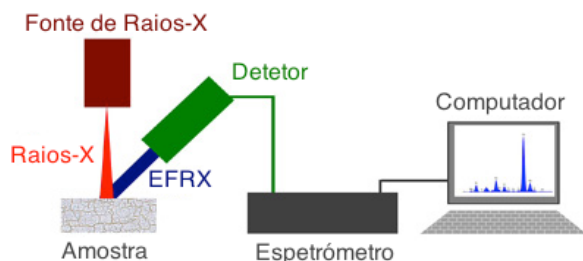


Fig. 7.5 – Esquema do sistema EFRX [7.9]

**REGISTO DE RESULTADOS [7.10]:**

**Apresentação dos resultados: Espectro EFRX e/ou tabela**

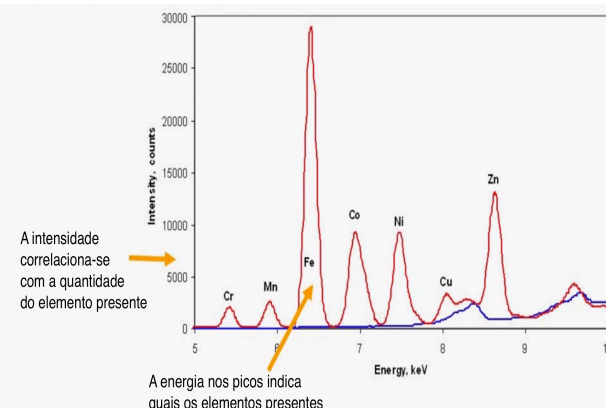


Fig. 7.5 – Exemplo de um espectro de EFRX [7.10]

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa       Média       Elevada

**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ASTM E1621	Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry	2013
ISO 29581-2	Cement -- Test methods -- Part 2: Chemical analysis by X-ray fluorescence	2010

**VALORES DE REFERÊNCIA [7.6]:**

Há uma grande variedade de materiais de referência certificados (CRM - *Certified Reference Materials*) disponíveis. Apresenta-se algumas entidades envolvidas na fabricação/fornecimento destes materiais:

- ⇒ BCR *Community Bureau of Reference* (Bélgica);
- ⇒ BCS *British Chemical Standards* (Reino Unido);
- ⇒ CANMET *Canada Centre for Mineral and Energy Technology* (Canada);
- ⇒ DL *Dillinger Laboratory* (Alemanha);
- ⇒ ECRM *Euronorm Certified Reference Materials* (UE);
- ⇒ GBW *State Bureau of Technical Supervision* (China);
- ⇒ JSS *Iron and Steel Institute of Japan* (Japão);
- ⇒ NCB *National Council for Cement and Building Materials* (Índia);
- ⇒ NIST *National Institute of Standards and Technology* (EUA);
- ⇒ SARM *South African Bureau of Standards* (África do Sul);

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [7.10] [7.11]:**

A determinação da intensidade dum “risca” característica de raios X, emitida pelo elemento presente na amostra, é o primeiro passo para a análise qualitativa dum espectro, envolvendo a localização e identificação dos picos. Para a análise quantitativa é necessário conhecer a área, ou seja, o número de contagens correspondente a cada pico. Este procedimento não é feito dum maneira direta, mas sim através dum programa de computador que ajusta uma fórmula matemática a cada um dos picos obtidos.

Assim, a energia dos picos leva à identificação dos elementos presentes na amostra (análise qualitativa), enquanto que a intensidade dos picos proporciona a concentração elementar relativa ou absoluta (análise quantitativa).



<p><b>CROMATOGRAFIA IÓNICA (IC)</b></p>	<p><b>Ref.<sup>a</sup></b> 08 TRQ</p>
<p><b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Estruturais</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Não-Estruturais</p> <p>Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Rebocos</p>	<p><b>LOCAL REALIZADO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Laboratório</p> <p><input type="checkbox"/> <i>In Situ</i></p>
<p><b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica)</p> <p><input type="checkbox"/> Ação mecânica</p> <p><input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Reação química</p> <p><input type="checkbox"/> Hidrodinâmica</p> <p><input type="checkbox"/> Análise térmica</p> <p><input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos</p>	<p><b>DESTRUTIVIDADE:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva</p> <p><input type="checkbox"/> Não-destrutiva</p>
<p><b>DESCRIÇÃO [8.1]:</b></p> <p>A técnica de cromatografia iónica (IC – <i>Ion Chromatography</i>) pertence à família da cromatografia líquida, uma vez que utiliza como fase móvel um líquido e usa ainda uma fase estacionária confinada num volume vulgarmente designado coluna. É uma técnica relativamente recente, que utiliza a cromatografia de permuta iónica associada a uma deteção automática, sendo o sistema mais vulgar o de condutividade.</p> <p>A amostra, geralmente introduzida numa quantidade na ordem dos 100 µl, é arrastada pela fase móvel, ou eluente, passando pela coluna com enchimento à base de resinas sintéticas poliméricas de composição específica em função das espécies iónicas que se pretendem separar. Quando a solução contendo os iões a analisar (soluto) é arrastada pelo eluente, através da coluna, ocorre uma distribuição do soluto entre as duas fases, verificando-se que, quando em equilíbrio termodinâmico, é constante a razão entre a concentração do soluto em cada uma das fases, que se designa por coeficiente de distribuição ou partição. Assim dois solutos serão adsorvidos pela fase fixa de modo diferente de acordo com os seus coeficientes de distribuição mais elevado. Estes diferentes comportamentos permitem que diferentes espécies iónicas sejam “separadas” entre si. Utilizando um sistema de deteção adequado, por exemplo a medida da condutividade do eluente que sai da coluna, podem identificar-se os iões presentes, pois cada ião tem um tempo de adsorção/desadsorção característico, designado por tem de retenção. O resultado é apresentado num cromatograma.</p>	<p><b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Eluente</li> <li>2- Coluna</li> <li>3- Cromatógrafo com detetor de condutividade</li> <li>4- Computador com <i>software</i> de análise</li> </ol> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 8.1 – Colunas Dionex IonPac [8.2]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 8.2 – Eluente [8.3]</p> </div> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 8.3 – Sistema cromatógrafo completo Dionex ICS-3000 [8.4]</p> </div>
<p><b>POTENCIALIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Determinação de espécies iónicas orgânicas e inorgânicas;</li> <li>⇒ Identificação de eflorescências, criptoflorescências e crostas de alteração (Determinação dos sais solúveis presentes);</li> <li>⇒ Estudo de alterações superficiais da pedra.</li> </ul>	<p><b>LIMITAÇÕES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Não fornece informação direta sobre o que ocorre na superfície da fase estacionária;</li> <li>⇒ Temperatura específica.</li> </ul>
<p>Ref.<sup>a</sup> 08 TRQ</p>	<p style="text-align: right;"><b>TÉCNICA DE REAÇÃO QUÍMICA</b></p>

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**REGISTO DE RESULTADOS [8.5] [8.6]:**

**1. Na preparação das amostras**, estas devem ser imersas numa solução que seja compatível com a cromatografia líquida e os elementos de interesse para a análise devem ser extraíveis da amostra. Os componentes devem causar uma alteração na condutividade da solução a ser detetada.

**2. A amostra é introduzida no equipamento**, manualmente ou com um "autosampler", passando pelas seguintes etapas:  
⇒ **Transporte**

A amostra líquida é transportada por um eluente líquido, com composição e concentração conhecidos e o sistema a operar sob pressão constante.

⇒ **Separação**

Os diferentes iões da amostra migram completamente na coluna de separação em diferentes períodos de tempo, de acordo com as interações com os sítios ativos da coluna de separação.

⇒ **Deteção**

Feita por uma célula de condutividade, que monitoriza e mede a condutância elétrica dos iões da amostra, produzindo um sinal baseado numa propriedade física ou química.

**3. A Análise de dados** é feita por software que recebe o sinal da célula de condutividade e analisa os dados comparando os picos da amostra num cromatograma com os produzidos por uma solução padrão.

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ASTM E1151	Standard practice for ion chromatography terms and relationships	2011

**VALORES DE REFERÊNCIA [8.8]:**

O *software* de cromatografia, normalmente fornecido pelo o fabricante do cromatógrafo, recolhe e analisa os resultados e proporciona diversas ferramentas para analisar os dados.

Tabela 7.1 – Limites mínimos para deteção [8.8]

Anião	LMD (ppb)*	Catião	LMD (ppb)*
Fluoreto	4	Lítio	1
Cloreto	20	Sódio	5
Nitrito	20	Amónio	5
Brometo	20	Potássio	8
Nitrato	20	Magnésio	7
Fosfato	20	Cálcio	7
Sulfato	20		

\*Partes Por Bilião

**EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [8.7]:**

**Apresentação dos resultados:** Cromatograma

O Cromatograma é o gráfico que traduz os resultados da análise cromatográfica, onde cada substância é representada por picos.

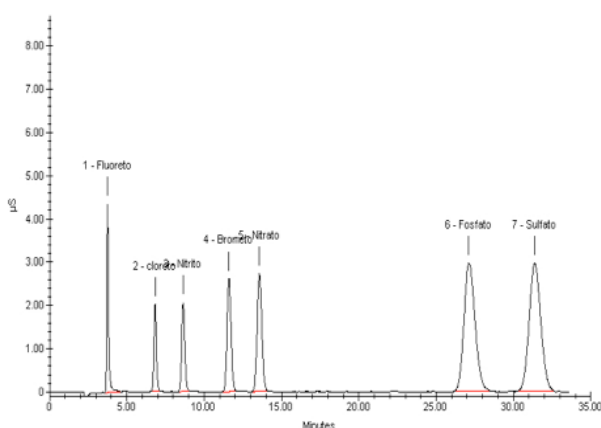


Fig. 8.4 – Exemplo de um cromatograma [8.7]

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [8.7] [8.8]:**

Num cromatograma, a posição dos picos permite-nos identificar os componentes da amostra e a área dos picos está relacionada com a concentração dos compostos.

**Identificação** - A presença de aniões e catiões específicos pode ser determinada através da comparação dos cromatogramas da amostra com os de referência.

**Quantificação** - A área sob o pico para cada anião ou catião é comparada com a curva padrão para determinar a sua concentração na amostra.

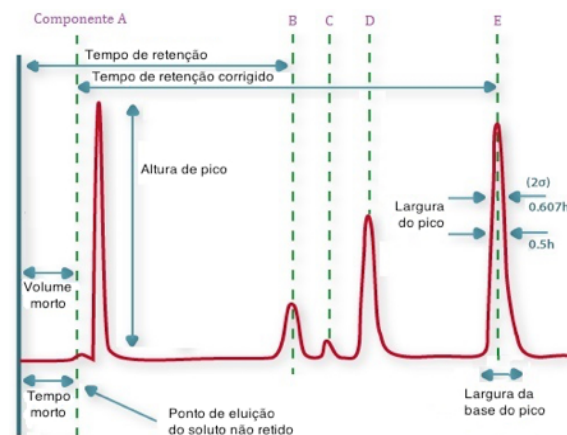


Fig. 8.5 – Interpretação do cromatograma [8.8]

<b>ANÁLISE QUÍMICA POR VIA HÚMIDA ATAQUE ÁCIDO (HCl)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 09 TRQ
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ..... Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações ..... <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ..... Argamassas e rebocos antigos .....		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Reação química		<input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input checked="" type="checkbox"/> Normalizada <input type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: 5 a 15 g _____
<b>DESCRIÇÃO [9.1] [9.2] [9.3] [9.8]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>A análise química por via húmida é uma técnica muito utilizada na caracterização de argamassas antigas, para separar o ligante dos agregados de natureza não-calcária e estimar a quantidade a quantidade destes últimos na argamassa. O método de análise, que pode ter diversas variantes, baseia-se genericamente num ataque ácido, geralmente com ácido clorídrico, à amostra desagregada de modo a solubilizar os compostos solúveis presentes. Esta digestão ácida da argamassa origina duas frações:</p> <p>⇒ A fração insolúvel ou resíduo insolúvel (composto essencialmente pelos agregados não carbonatados);</p> <p>⇒ A fração solúvel, resultante da dissolução do ligante.</p> <p>A adição de ácido clorídrico destina-se a promover a sua reação com os carbonatos presentes no ligante (carbonato de cálcio), enquanto o quartzo e outros materiais não calcários (existentes nos agregados) idealmente permanecerão insolúveis. Consegue-se assim separar os carbonatos (ligante) dos silicatos (agregados), o que permite a sua quantificação.</p> <p>Outras análises químicas por via húmida podem ser realizadas no filtrado da solução ácida para óxidos solúveis de Fe, Al, Ca, Mg, S, Na e K.</p> <p>Este ensaio pode ser complementado com outros métodos como a cromatografia iónica, a difratometria de raios-X, a espectrometria de fluorescência de raios-X, entre outros, para a determinação das características químicas da fração solúvel.</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Martelo de borracha</li> <li>2- Solventes (ácido clorídrico e água)</li> <li>3- Copos de precipitação</li> <li>4- Peneiros (5.0; 2.5; 1.25; 0.63; 0.315; 0.16 e 0.075 mm)</li> <li>5- Agitador de peneiros</li> <li>6- Balança</li> <li>7- Exsiccador</li> <li>8- Estufa</li> </ol>
		
		
		<p>Fig. 9.1 – Ácido clorídrico [9.4]      Fig. 9.2 – Copos de precipitação [9.5]</p>
		
		
		<p>Fig. 9.3 – Agitador de peneiros [9.6]      Fig. 9.4 – Exsiccador [9.7]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
<p>⇒ Caraterização de argamassas antigas;</p> <p>⇒ Análise de betões/cimentos;</p> <p>⇒ Granulometria do agregado;</p> <p>⇒ Determinação da razão ligante/agregado.</p>		<p>⇒ A razão ligante/agregado pode ser falseada pela presença no agregado de carbonatos e/ou outros minerais parcialmente ou totalmente solúveis pelos ataques ácidos.</p>
<b>Ref.<sup>a</sup> 09 TRQ</b>		<b>TÉCNICA DE REAÇÃO QUÍMICA</b>

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico       Médio       Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [9.2] [9.8]:****1. Preparação das amostras:**

- ⇒ Secagem em estufa a 40 °C até massa constante (determina o teor de humidade);
- ⇒ Desagregação da amostra com martelo de borracha (ter o cuidado de não esmagar/alterar o agregado);
- ⇒ 5-15 g (Dependendo da quantidade e dimensão do agregado).

Nota: Se suspeitar que a argamassa contém sais solúveis, a amostra pode ser imersa em água destilada e após secagem estes podem ser contabilizados por diferença de peso.

**2. Ataque com ácido clorídrico (diluído na razão 1:3):**

- ⇒ Colocar 10g amostra num copo 250 ml;
- ⇒ Humedecer com água, agitando simultaneamente para evitar a formação de grânulos;
- ⇒ Adicionar lentamente 120 ml de ácido.

**3. Aquecer durante 15 minutos, após a libertação de CO<sub>2</sub>, à temperatura (150-200 °C) e deixar sedimentar.****4. Decantar e filtrar (obtenção do resíduo solúvel):**

- ⇒ lavar o resíduo com água destilada e colocar em cadinho previamente tarado.

**5. Secagem do resíduo solúvel, a 105 °C, durante 2 horas e arrefecer dentro de um exsiccador durante 50 minutos.**

- ⇒ Obtenção do peso.

**6. O resíduo insolúvel é pesado e peneirado para determinar a distribuição do tamanho de partículas do agregado.****DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa       Média       Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ISO 29581-1	Cement – Test methods – Part 1: Analysis by wet chemistry	2009
NP EN 196-2	Métodos de ensaio em cimentos. Parte 2: Análise química dos cimentos	2006
ASTM C 1324	Standard Test Method for Examination and Analysis of Hardened Masonry Mortar	2005
RILEM TC 167-COM	Investigative methods for the characterisation of historic mortars- Part 2: Chemical characterisation	2005

**VALORES DE REFERÊNCIA [9.8]:****Tabela 9.2 – Solventes para ligantes minerais de argamassas [9.8]**

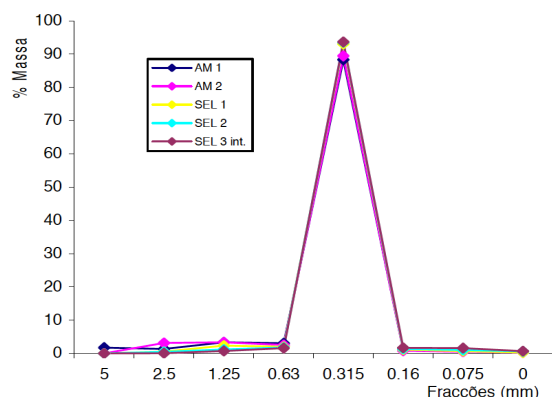
Agregado	Ligante	Solvente/agente separador	Comentário
Não carbonatos ou sulfatos (e.g. Quartzo, feldspato, Mica, arenito, Basalto, pedra-pomes)	Todos	HCl (diluído) HCl (mistura ácido salicílico / metanol) EN 196, parte 4	Concentrações e tipo de ácidos ainda não estão padronizados e podem diferir de país para país e de laboratório para laboratório
Carbonatos	Não hidráulico	Água como solvente EDTA (diluído)	Separação mecânica. Ataca os agregados mais finos de carbonato de cálcio.
Carbonatos	Ligante hidráulico	Água como agente separador	Separação mecânica. Contagem de fase da seção transversal se possível.
Carbonatos	Base sulfatos	Água como solvente	Separação mecânica. Contagem de fase na seção polida. Contagem de fase na seção fina
Sulfatos	Não hidráulico	Não aplicável	Contagem de fase na seção polida. Contagem de pontos na seção fina

**REGISTO DE RESULTADOS [9.2]:**

**Apresentação dos resultados:** Gráfico e/ou tabela

**Tabela 9.1 – Resultados da determinação do resíduo insolúvel (% massa) [9.2]**

Tipo de ataque	Sé de Elvas			Castelo Amieira	
	SEL 1	SEL 2	SEL 3 int	AM 1	AM 2
HCL	49.0	46.4	45.6	74.2	70
HNO <sub>3</sub>	52.7	49.3	-	51.9	55.0

**Fig. 9.4 – Análise granulométrica do resíduo insolúvel obtido por ataque com ácido clorídrico [9.2]****INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [9.3]:**

Uma vez conhecida a massa de agregados na amostra (resíduo insolúvel), a massa de ligante (correspondente à parte dissolvida pelo ácido) é obtida por diferença em relação ao total, estabelecendo-se a relação ponderal entre eles na argamassa em estudo (composição quantitativa simplificada), ou seja, pode estimar-se o traço mássico e, a partir daí, tentar estimar os traços mássico e volumétrico das argamassas iniciais.

Outros ensaios químicos podem ser realizados no filtrado da fração solúvel por forma a determinar as suas características químicas.

**ANÁLISE QUÍMICA POR VIA HÚMIDA****Ref.<sup>a</sup> 09 TRQ**

<b>POROSIMETRIA DE MERCÚRIO</b>	<b>Ref.<sup>a</sup></b> 10 THd
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ..... Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações ..... <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ..... Argamassas e Pedras dos elementos não estruturais de edificações antigas .....	<b>LOCAL REALIZADO:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input checked="" type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química	<b>DESTRUTIVIDADE:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
<b>DESCRIÇÃO [10.1] [10.2]:</b>	<b>TIPO DE AMOSTRA:</b> <input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Limite 1,5x2,5 cm _____
<p>A porosimetria de intrusão de mercúrio é uma técnica utilizada para a avaliação da porosidade, distribuição e volume de poros, entre outros, para caracterizar uma grande variedade de materiais sólidos ou em pó. O instrumento, conhecido como um porosímetro, emprega uma câmara pressurizada para forçar o mercúrio a penetrar nos vazios de substrato poroso. À medida que a pressão é aplicada, o mercúrio preenche primeiro os poros maiores. À medida que a pressão aumenta, o enchimento prossegue para poros progressivamente mais pequenos, medindo-se para cada valor de pressão o volume de mercúrio forçado a entrar nos poros da amostra.</p> <p>A Equação de Washburn relaciona a pressão aplicada ao diâmetro dos poros utilizando propriedades físicas do líquido não molhante (mercúrio). As propriedades físicas incluem o ângulo de contacto entre o mercúrio e o material, bem como a tensão superficial. O ângulo de contato do mercúrio no material sob teste é uma consideração importante para os resultados. O ângulo de contacto pode ser fornecido ou medido, caso contrário, os valores padrão podem ser inseridos durante a análise. O volume de mercúrio injetado na amostra é monitorizado por uma mudança de capacitância numa célula capilar revestida de metal denominada de <i>penetrómetro</i>. A amostra é mantida numa secção do <i>penetrómetro</i> (cápsula porta-amostras), que está disponível numa variedade de volumes para acomodar pó ou elementos sólidos intatos. O tamanho da amostra é limitado a dimensões de aproximadamente 2,5 cm de comprimento por 1,5 cm de largura.</p>	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b> 1- Mercúrio 2- Penetrómetro de mercúrio 3- Porosímetro de mercúrio 4- Computador com <i>software</i> de análise 5- Estufa 6- Paquímetro 7- Balança
<b>POTENCIALIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Densidade aparente e densidade do sólido;</li> <li>⇒ Distribuição de tamanhos e volume total de poros;</li> <li>⇒ Massa específica aparente e real da amostra;</li> <li>⇒ Determinação da difusão, permeabilidade e fluxo capilar, que desempenham papéis importantes nos processos de degradação nos materiais de construção;</li> <li>⇒ Avaliação dos efeitos de tratamentos aplicados.</li> </ul>	<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ A interpretação de dados baseia-se em pressupostos sobre geometria de poros;</li> <li>⇒ Os valores para o ângulo de contato e tensão superficial não podem ser considerados exatos;</li> <li>⇒ O grau de secagem da amostra influencia o resultado;</li> <li>⇒ Apenas pequenas amostras podem ser analisadas o que poderá não ser um volume representativo.</li> </ul>
<b>Ref.<sup>a</sup></b> 10 THd	<b>TÉCNICA HIDRODINÂMICA</b>



Fig. 10.1 – Mercúrio [10.3]



Fig. 10.2 – Penetrómetro [10.3]



Fig. 10.3 – Porosímetro de mercúrio AutoPore IV [10.3]



**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico       Médio       Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [10.1] [10.3]:****1. Preparação da amostra:**

- ⇒ Sólidos têm a dimensão limitada a 1,5x2,5 cm;
- ⇒ Secagem em estufa ou por outro método.

**2. Introdução da amostra** na capsula do penetrómetro, fechando de seguida e selando com vaselina. Faz-se a pesagem do conjunto penetrómetro+amostra.

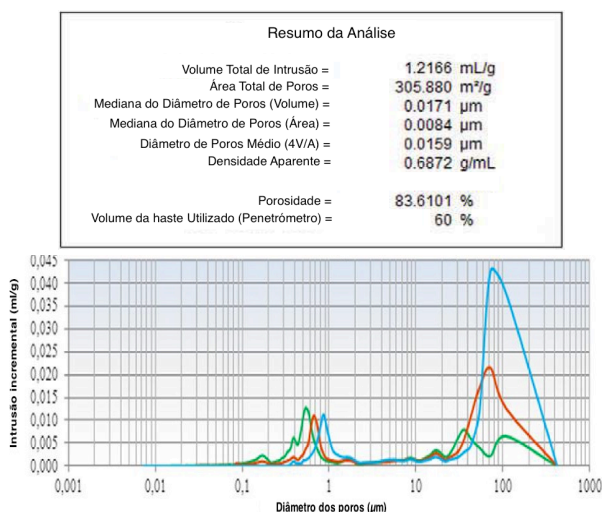
**3. Instalação do penetrómetro** no detetor de capacitância. Faz-se a ligação à bomba de vácuo, desgaseificando a amostra durante 30 minutos até atingir um vácuo aproximado a  $10^{-5}$  atm, removendo o ar e humidade contido na amostra.

**4. Enchimento do penetrómetro com mercúrio**, abrindo a válvula que que liga o reservatório de mercúrio ao caule do penetrómetro. Aumento de pressão para 0.01 atm.

**5. Execução da análise de baixa pressão**, aumentando-se a pressão até 1.5 atm, por pequenos incrementos, em intervalos de tempo suficientes de atingir o equilíbrio. Baixa se a pressão até à atmosférica, retira-se o penetrómetro e pesa-se o conjunto penetrómetro+amostra+mercúrio.

**6. Execução da análise de alta pressão**, reintroduzindo o penetrómetro na camara de alta pressão e elevando a pressão em incrementos pré-estabelecidos com um tempo de equilíbrio entre cada incremento até atingir a pressão máxima, reduzindo-se a pressão em incrementos até atingir a pressão atmosférica.

**7. Tratamento dos dados** adquiridos pelo computador que faz a conversão de condutâncias para volumes de mercúrio, obtendo-se assim as curvas de intrusão de mercúrio.

**REGISTO DE RESULTADOS [10.3] [10.4]:****Apresentação dos resultados:****DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa       Média       Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ASTM D4404	Standard test method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion	2010
ISO 15901-1	Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption – Part 1: Mercury porosimetry	2016

**VALORES DE REFERÊNCIA [10.1]:**

A porosimetria de mercúrio é baseada na lei capilar que regula a penetração de líquidos em pequenos poros. Esta lei, no caso de um líquido não molhante como o mercúrio, é expressa pela equação de Washburn:

$$D = \frac{4\gamma \cos \theta}{P}, \text{ em que:}$$

- ⇒ **D** é o diâmetro do poro;
- ⇒ **P** é a pressão aplicada;
- ⇒ **γ** é a tensão superficial do mercúrio;
- ⇒ **θ** é o ângulo de contato entre o mercúrio e o material.
- ⇒ **Pressuposto:** Poros são cilíndricos.

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [10.1]:**

A porosimetria de mercúrio fornece uma curva de volume cumulativo em função da pressão externa aplicada ao mercúrio. Esta curva pode ser usada para caracterizar o material poroso. Os volumes de intrusão obtidos podem ser normalizados de várias maneiras:

- ⇒ Dividindo o volume de intrusão pela massa de amostra, resultando numa curva com volumes específicos;
- ⇒ Dividindo o volume de intrusão pelo volume máximo de intrusão, resultando numa curva com volumes percentuais;
- ⇒ Dividindo o volume de intrusão pelo volume aparente da amostra, resultando numa curva de porosidade percentual cumulativa.

Da análise direta das curvas de porosimetria, podem-se calcular várias propriedades relativas ao espaço poroso de um material, nomeadamente: massa específica real e aparente, porosidade, área superficial, diâmetro médio de poro e distribuição de tamanhos de poros.

<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 11 THd
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ..... Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações ..... <input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ..... Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; Blocos/Tijolos de Alvenarias .....		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input checked="" type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química		<input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva
		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: V <sub>mínimo</sub> = 0,001 m <sup>3</sup>
<b>DESCRIÇÃO [11.1] [11.2]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>É geralmente aceite que a durabilidade do betão está relacionada com as características da sua estrutura porosa. Mecanismos de degradação do betão muitas vezes dependem da forma como substancias agressivas penetram no betão causando danos. Como é o caso da carbonatação e da corrosão por penetração de cloretos. A permeabilidade do betão depende da porosidade e da conectividade dos poros e que estão diretamente relacionados com a absorção de água.</p> <p>O ensaio de absorção de água por imersão consiste em submergir em água a amostra por um determinado tempo e registar o seu peso saturado e o seu peso hidrostático saturado. Seguindo-se uma secagem em estufa e o respetivo registo do peso seco da amostra. Com estes dados é possível calcular a taxa de absorção de água por imersão e estimar a qualidade do material.</p>		1- Balança hidrostática (precisão de 0,01 g) 2- Estufa ventilada 3- Recipiente com dimensões apropriadas para imersão 4- Água
		 
		<p>Fig. 11.1 – Balança hidrostática [11.3]      Fig. 11.2 – Recipiente plástico [11.4]</p>
		
		<p>Fig. 11.3 – Estufa para secagem [11.5]</p>
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
⇒ Medição da porosidade aberta; ⇒ Caracterização de materiais porosos e avaliação do seu grau de deterioração; ⇒ Avaliação da compactidade da rocha, podendo indiciar a sua durabilidade num determinado meio; ⇒ Índice decisivo na escolha do material para usos que envolvam contato com água; ⇒ Determinar a qualidade do betão.		⇒ Ensaio demorado; ⇒ Resultados influenciados pelo tipo e dimensão do provete;
<b>Ref.<sup>a</sup> 11 THd</b>	<b>TÉCNICA HIDRODINÂMICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico       Médio       Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [11.6] [11.7]:**

Procedimento experimental baseado na especificação E 394 do LNEC para provetes de betão.

**1. Preparação da amostra, criação de provetes de ensaio:**

- ⇒ Retificação/Corte;
- ⇒ Volume mínimo de 0,001 m<sup>3</sup>;
- ⇒ Volume e a forma da amostra tais que nenhum ponto esteja afastado mais do que 100 mm da superfície.

**2. Introdução dos provetes num recipiente com água limpa:**

- ⇒ Sala condicionada à temperatura 20±2 °C;
- ⇒ Temperatura da água 20±3 °C;
- ⇒ Operação efetuada por etapas, tal que o provete seja imerso sucessivamente, em intervalos de 1 hora, a 1/3, 2/3 e na totalidade de sua altura;
- ⇒ O nível final da água não deve exceder 2 cm da face superior do provete.

**3. Verificação da saturação dos provetes:**

- ⇒ Antes de cada pesagem, deve-se limpar os vestígios de água superficial com um pano húmido.
- ⇒ Efetuar pesagens até que a variação da massa num período de 24 horas seja inferior a 0.1%;
- ⇒ Registo da massa saturada ao ar  $m_1$ .

**4. Determinação da massa hidrostática do provete:**

- ⇒ Após atingir massa constante, deve-se pesar o provete imerso em água.
- ⇒ Registo da massa hidrostática saturada  $m_2$ .

**5. Determinação da massa seca dos provetes:**

- ⇒ Secar o provete numa estufa ventilada à temperatura de 105±5 °C;
- ⇒ Efetuar pesagens até que a variação de massa num período de 24 horas seja inferior a 0.1%;
- ⇒ Registo da massa seca  $m_3$ .

**REGISTO DE RESULTADOS [11.6] [11.7]:****Apresentação dos resultados:** Relatório

O Relatório de ensaio deve conter a seguinte informação: Identificação do betão; Tipo de provetes; Forma e dimensão do provete; Idade do betão; Método de cura.

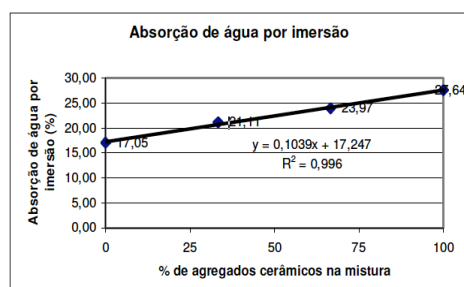


Fig. 11.4 – Regressão linear - Absorção de água por imersão para diferentes composições de betão [11.7]

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa       Média       Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
EN 13755	Natural Stone Test Methods – Determination of Water Absorption at Atmospheric Pressure	2008
LNEC E394	Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica	1993
LNEC E395	Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio no vácuo	1993
RILEM LUM A4	Water absorption and water porosity of masonry units	1991
RILEM CPC 11.1	Absorption of water by immersion	1982
NBN B15-215	Proeven op beton - Wateropsloping door onderdampelen	1989
NBR 9778	Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica	1987
RELIM PAN 1	Testing methods for natural stones	1978

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

A qualidade do betão pode ser estimada a partir da sua taxa de absorção de acordo com a tabela 11.1.

Tabela 11.1 – Classificação do betão no ensaio de absorção por imersão [11.8]

Qualidade do Betão	$A_i$ (%)
Alta	<3,0
Média	3,0-4,0
Baixa	>4,0

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [11.7] [11.9]:**

A taxa de absorção por imersão é dada em percentagem por:

$$A_i = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100, \text{ em que:}$$

- ⇒  $m_1$  é a massa do provete saturado ao ar;
- ⇒  $m_2$  é a massa hidrostática do provete saturado;
- ⇒  $m_3$  é a massa do provete seco;
- ⇒ massas em gramas;
- ⇒ Arredondamento às décimas.

O valor da taxa obtido pode ser comparado com valores de referência por forma a classificar a qualidade do material.





**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico       Médio       Oneroso

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [12.5] [12.6]:****1. Preparação da amostra:**

- ⇒ A amostra pode ser cortada ou triturada em tamanho adequado para o cadinho;
- ⇒ Normalmente requer vinte a trinta miligramas de amostra.

Nota: geralmente o tamanho e forma da amostra depende do porta-amostras. Área de superfície afeta os resultados.

**2. Calibração do equipamento:**

- ⇒ Massa;
- ⇒ Temperatura.

**3. Definição das condições experimentais:**

- ⇒ Intervalo de temperatura [ambiente – 1000] (°C);
- ⇒ Velocidade de aquecimento [10 – 50] (°C/min);
- ⇒ Atmosfera em torno da amostra (gás inerte ou reativo).

**4. Introdução da amostra na termobalança:**

- ⇒ Colocação no cadinho e suspender na termobalança;
- ⇒ Registo do peso inicial;
- ⇒ Estabelecimento do fluxo do gás.

**5. Início do programa de aquecimento** no intervalo e velocidade definido. O programa de aquecimento pode começar numa atmosfera inerte e depois ser ligado ao ar num determinado ponto para completar a análise. Dependendo do tipo de amostra, da temperatura e atmosfera selecionadas, a amostra é seca ou oxidada ou os componentes voláteis escapam, o que reduz o peso do material. Quando a massa da amostra permanece constante nas condições selecionadas, é novamente pesada e a perda de massa é registada.

**REGISTO DE RESULTADOS [12.7]:****Apresentação dos resultados:** Termograma

Como a termobalança mede a temperatura e o peso da amostra, as ocorrências ativadas termicamente são registadas. Estas ocorrências são expressas como perda ou alteração de peso para uma dada temperatura ou tempo. Também podem ser expressos como uma taxa de perda de peso.

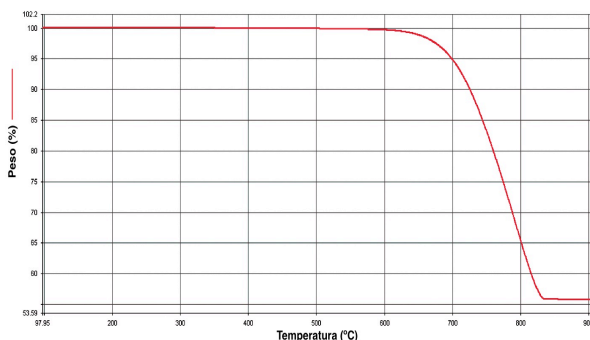


Fig. 12.3 – Exemplo de um termograma [12.8]

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa       Média       Elevada

**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
LNEC E 405	Cimentos. Determinação do teor de dióxido de carbono por análise termogravimétrica	1997
ASTM E1131-08	Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry	2014
ISO 863	Cement – Test methods – Pozzolanicity test for pozzolanic cements	2008

**VALORES DE REFERÊNCIA [12.2]:**

A *International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry* (ICTAC) desenvolveu um conjunto de seis materiais de referência de temperatura de Curie certificados para a calibração no sistema de ATG.

Tabela 12.1 – Materiais de referência para calibração de ATG [12.2]

Material	Temperatura de Curie (°C)
Alumel	153
Níquel	358
Ni <sub>83</sub> Co <sub>17</sub>	555
Ni <sub>63</sub> Co <sub>37</sub>	747
Ni <sub>37</sub> Co <sub>63</sub>	931
Cobalto	1116

**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [12.1] [12.7]:**

Um termograma típico consiste num patamar, onde a massa é essencialmente constante e secções descendentes, onde as perdas de massa ocorreram. Idealmente as secções descendentes são bem definidas e separadas umas das outras, quando uma série de reações ocorre a temperaturas bem distintas. No entanto, ocasionalmente, elas tendem a ser pouco definidas e podem sobrepor-se, devido à ocorrência de diferentes reações a temperaturas muito próximas, ou porque os produtos de reação não são totalmente removidos da amostra antes de uma nova reação começar.

Estes dados correlacionam-se e fornecem informações sobre propriedades tais como: estabilidade térmica, teor de humidade ou solvente, teor de aditivo, temperaturas e velocidade de oxidação ou de decomposição. Eventos térmicos como fusão, transição vítrea e outras alterações não são detetados porque não há alteração na massa da amostra associada a esses eventos. A identificação dos constituintes eliminados como gases libertados pode ser obtida quando o ATG é utilizado em conjunto com FTIR.

<b>ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 13 TAT
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> ----- Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações -----		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> ----- Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos; -----		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input checked="" type="checkbox"/> Análise térmica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos <input type="checkbox"/> Reação química		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
		<input checked="" type="checkbox"/> Normalizada <input type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: 20 a 50 mg _____
<b>DESCRIÇÃO [13.1] [13.2]:</b> <p>A análise térmica diferencial é uma técnica térmica em que são registadas as diferenças de temperatura entre o material da amostra e um material de referência (que não sofre quaisquer transformações na gama de temperatura do ensaio) em função do tempo ou da temperatura, quando as duas substancias são submetidas a um mesmo ciclo de aquecimento. As diferenças de temperatura são causadas pela emissão ou absorção de calor da substância em análise (respetivamente, processos exotérmicos e endotérmicos).</p> <p>Assim, esta técnica não só pode detetar variações de massa (perdas por desidratação, descarbonatação, etc.) como também transformações estruturais, recristalizações, etc., que não produzem variações de massa, mas que produzem a emissão ou absorção de calor. A curva ATD, além de ser característica para uma dada substância, o que torna bastante útil na identificação de substâncias ativas ao calor, permite a obtenção de dados quantitativos a partir das áreas integradas dos picos.</p> <p>A aparelhagem da ATD consta fundamentalmente de quatro partes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ O forno elétrico (capaz de atingir temperaturas superiores a 1200 °C, com taxa de aumento de temperatura controladas);</li><li>⇒ Os porta-amostras (metálicos ou cerâmicos em geral cilíndricos ou cúbicos);</li><li>⇒ O controlador (sistema elétrico que controla a taxa de aquecimento do forno);</li><li>⇒ O registador (gráfico ou fotográfico).</li></ul> <p>As amostras são colocadas em cadinhos de platina, alumina, quartzo ou vidro (dependendo do programa de temperatura e a finalidade da experiência).</p>	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1- Almofariz de ágata</li><li>2- Balança (precisão 0,1 mg)</li><li>2- Cadinhos</li><li>3- Gás inerte</li><li>4- Analisador térmico diferencial</li><li>5- Computador com <i>software</i> de análise ou "plotter"</li></ol>   <p>Fig. 13.1 – Balança HR-150A com precisão 0,1mg [13.3]</p> <p>Fig. 13.2 – Cadinho utilizado no sistema ATD [13.4]</p>  <p>Fig. 13.3 – Sistema de análise térmica (ATG-ATD) Netzsch STA 449 F1 Jupiter [13.4]</p>	
<b>POTENCIALIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Estudo da capacidade calorífica e condutividade térmica;</li><li>⇒ Análise qualitativa e quantitativa de minerais;</li><li>⇒ Determinação da pureza dos materiais.</li></ul>	<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Incertezas nas temperaturas de fusão e transição.</li></ul>	
<b>Ref.<sup>a</sup></b> 13 TAT	<b>TÉCNICA DE ANÁLISE TÉRMICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [13.5] [13.6]:****1. Preparação da amostra:**

- ⇒ A amostra pode ser cortada ou triturada em tamanho adequado para o cadinho;
- ⇒ Requer entre vinte a cinquenta miligramas de amostra.

**2. Calibração do equipamento:**

- ⇒ Energia e temperatura.

**3. Definição das condições experimentais:**

- ⇒ Intervalo de temperatura [-190 – 2800] (°C);
- ⇒ Velocidade de aquecimento [10 – 50] (°C/min);
- ⇒ Atmosfera em torno da amostra (gás inerte).

**4. Colocação no porta-amostras:**

O cadinho é encaixado em uma haste bifurcada, separando assim o cadinho que contém a referência do cadinho da amostra. Os termopares são colocados logo abaixo de cada cadinho, através dos orifícios constituintes da haste. A referência pode ser alumina em pó, ou simplesmente o cadinho vazio.

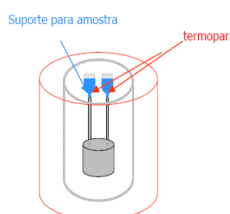


Fig. 13.4 – Esquema do porta-amostras [13.6]

**5. Início do programa e aquisição de dados:**

A amostra e o material de referência são submetidos à mesma programação de aquecimento monitorada pelos sensores de temperatura, geralmente termopares. A aquisição de dados ou a exibição em tempo real é tratada por um computador ou um dispositivo analógico (plotter).

**REGISTO DE RESULTADOS [13.6]:**

**Apresentação dos resultados:** Termograma - Curva termodiferencial

A curva é registada com a temperatura ou o tempo nas abscissas, e a diferença de temperatura amostra-referência nas ordenadas. A diferença de temperatura  $\Delta T$  é medida em potencial elétrico ( $\mu V$ ) devido ao uso de termopares na medição.

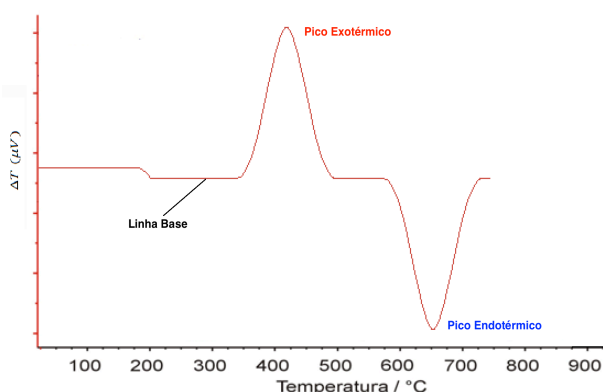


Fig. 13.3 – Exemplo de uma curva termo diferencial [13.4]

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano
ASTM E967-08	Standard Test Method for Temperature Calibration of Differential Scanning Calorimeters and Differential Thermal Analyzers	2014
ISO 11357-1	Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) Part 1: General principles	2016

**VALORES DE REFERÊNCIA [13.8]:**

Tabela 13.1 – Fatores que influenciam a curva termodiferencial [13.8]

Fator	Efeito	Sugestão
Velocidade de aquecimento	Alteração no tamanho e posição do pico	Reduzida taxa de aquecimento
Posição do termopar	Curva irreproduzível	Posição padrão
Atmosfera em torno da amostra	Alteração na curva	Permitir fluxo de gás inerte
Quantidade de amostra	Alteração no tamanho e posição do pico	Padronizar a massa da amostra
Dimensão das partículas da amostra	Curva irreproduzível	Partículas pequenas e uniformes
Recipiente da amostra	Alteração no pico	Padronizar o recipiente

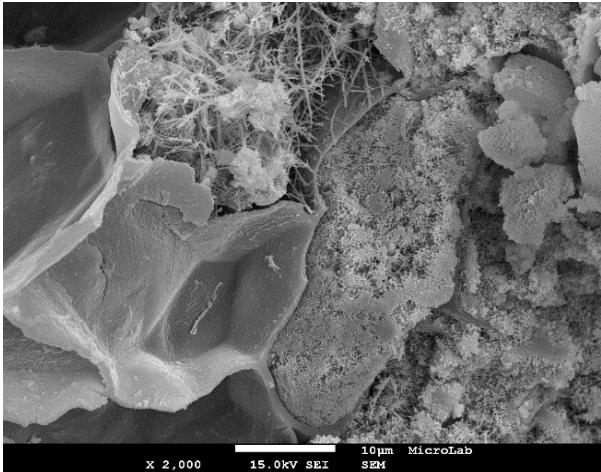
**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [13.6] [13.7]:**

Ao longo do programa de aquecimento a temperatura da amostra e da referência se mantém iguais até que ocorra alguma alteração física ou química na amostra. Se a reação for exotérmica, a amostra irá liberar calor, ficando por um curto período de tempo, com uma temperatura maior que a referência. Do mesmo modo, se a reação for endotérmica a temperatura da amostra será temporariamente menor que a referência.

Mudanças na amostra tais como fusão, solidificação e cristalização são então registadas sob a forma de picos, sendo a variação na capacidade calorífica da amostra registada como um deslocamento da linha base.

A forma e o tamanho dos picos indicam informação sobre a natureza da amostra. Assim, picos exotérmicos acentuados significam mudanças na cristalinidade ou processos de fusão, enquanto picos endotérmicos amplos surgem da reação de desidratação. As alterações físicas geralmente resultam em picos endotérmicos, enquanto que as reações químicas, principalmente aquelas de natureza oxidativa, são predominantemente exotérmicas.

<b>MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO (SEM)</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> 14 TE
<b>ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b>		<b>LOCAL REALIZADO:</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Estruturais</b> Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações		<input checked="" type="checkbox"/> Laboratório <input type="checkbox"/> <i>In Situ</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Não-Estruturais</b> Pavimentos, Alvenarias e seus Revestimentos;		<b>DESTRUTIVIDADE:</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b>		<input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva
<input type="checkbox"/> Percepção sensorial (ótica) <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Interação com radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Reação química		<b>TIPO DE AMOSTRA:</b>
<input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Análise térmica <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos elétricos /eletrônicos		<input type="checkbox"/> Normalizada <input checked="" type="checkbox"/> Irregular Quantidade/Dimensão: Limite 20x5 cm _____
<b>DESCRIÇÃO [14.1] [14.2]:</b>		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>
<p>O microscópio eletrônico de varrimento (SEM – <i>Scanning Electron Microscope</i>) é um poderoso instrumento que permite a observação e a caracterização de materiais heterogêneos orgânicos e inorgânicos e de superfícies, à escala do micrómetro e nanômetro.</p> <p>O princípio de funcionamento do SEM baseia-se no varrimento da superfície duma amostra por um feixe eletrônico finamente focado, em sincronismo com o varrimento de um monitor de visualização, modulando o brilho em cada ponto pela intensidade de um sinal emitido pela amostra. Verifica-se deste modo uma correspondência, ponto por ponto, entre a imagem e a região observada da amostra, dependendo a natureza da informação contida na imagem do tipo de sinal registado e do detetor utilizado.</p> <p>O SEM é um instrumento que trabalha a vácuo elevado, pelo que as amostras a serem estudadas devem ser estáveis a muito baixas pressões. Todos os materiais hidratados e libertando gases estão excluídos destes exames. A preparação da amostra consiste, essencialmente, em a tornar condutora (se não o for já) usando uma matriz à base de carbono ou películas de ouro paládio.</p>		<p>1- Martelo e escopro  2- Fita condutora (Carbono, cobre, prata ou alumínio)  4- Microscópio eletrônico de varrimento  3- Computador com <i>software</i> de análise</p>
		 Fig. 14.1 – Martelo e escopro [14.3]
		 Fig. 14.1 – Fita condutora [14.4]
		 Fig. 14.2 – Microscópio eletrônico de varrimento JEOL JSM-7800F [14.5]
<b>POTENCIALIDADES:</b>		<b>LIMITAÇÕES:</b>
⇒ Estudo do decaimento de materiais pétreos; ⇒ Ampliação até 100.000 vezes; ⇒ Estudo da microestrutura de betões e argamassas; ⇒ Análise da zona de interface entre materiais; ⇒ Visualização de microporos e nanoporos; ⇒ Análise e identificação dos cristais da pasta-ligante.		⇒ Materiais hidratados e libertando gases estão excluídos deste exame; ⇒ As amostras devem ser sólidas e têm de caber na câmara do microscópio.
Ref. <sup>a</sup> 14 TE		<b>TÉCNICA ELÉTRICA / ELETRÓNICA</b>

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico      <input checked="" type="checkbox"/> Médio      <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Baixa      <input type="checkbox"/> Média      <input type="checkbox"/> Elevada</p>															
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [14.6]:</b></p> <p><b>1. Preparação da amostra:</b></p> <p>⇒ Extrai-se uma porção da amostra com o auxílio de um martelo e escopro;</p> <p>⇒ A dimensão da amostra está limitada ao tamanho da câmara do SEM (até 200 mm largura e 50 mm altura).</p> <p><b>2. Colocação da amostra em uma base metálica:</b></p> <p>⇒ Proceda-se à metalização da superfície da amostra com um filme condutor.</p> <p>Nota: Esta metalização permite aumentar a condução do feixe de eletrões sobre a superfície da amostra, evitando a acumulação de campos elétricos estáticos e melhora o contraste da imagem gerada.</p> <p><b>3. Fixação do suporte da amostra,</b> com o apoio de parafusos existentes no suporte e voltando a superfície metalizada para cima.</p> <p><b>4. Remoção de poeiras</b> e outras partículas não coesas na superfície com o auxílio de um borrifador de ar.</p> <p><b>5. Introdução do suporte na câmara de vácuo,</b> enquanto esta se encontra pressurizada.</p> <p><b>6. Varrimento do sistema - Dois modos de funcionamento:</b></p> <p>⇒ Eletrões retrodifundidos - informação química dos eletrões excitados;</p> <p>⇒ Eletrões secundários - informação topográfica da amostra.</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Título</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASTM E766</td> <td>Standard Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope</td> <td>2014</td> </tr> <tr> <td>ASTM C1723</td> <td>Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscope</td> <td>2016</td> </tr> <tr> <td>ISO 16700</td> <td>Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification</td> <td>2016</td> </tr> <tr> <td>LNEC E 402</td> <td>Materiais de matriz cimentícia. Microanálise de raios-X por dispersão de energia associado ao microscópio eletrónico de varrimento.</td> <td>1993</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano	ASTM E766	Standard Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope	2014	ASTM C1723	Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscope	2016	ISO 16700	Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification	2016	LNEC E 402	Materiais de matriz cimentícia. Microanálise de raios-X por dispersão de energia associado ao microscópio eletrónico de varrimento.	1993
Ref. <sup>a</sup>	Título	Ano														
ASTM E766	Standard Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope	2014														
ASTM C1723	Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscope	2016														
ISO 16700	Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification	2016														
LNEC E 402	Materiais de matriz cimentícia. Microanálise de raios-X por dispersão de energia associado ao microscópio eletrónico de varrimento.	1993														
<p><b>REGISTO DE RESULTADOS [14.7]:</b></p> <p>Para criar a imagem SEM, o feixe de eletrões incidentes é digitalizado através do padrão de varredura da superfície da amostra. Os eletrões emitidos são detetados para cada posição na área varrida por um detetador de eletrões. A intensidade do sinal de eletrões emitidos é exibida como brilho em um monitor de apresentação e/ou em um arquivo de imagem digital.</p>  <p>Fig. 14.3 – Imagem obtida da análise de uma argamassa com o SEM [14.6]</p>	<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Não são aplicáveis valores de referência.</p> <p><b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [14.2] [14.8]:</b></p> <p>A microscopia eletrónica de varrimento é uma técnica na qual as imagens são a principal fonte de informação ao utilizador. A popularidade do SEM surge da facilidade com que as imagens podem ser obtidas. Os instrumentos modernos incorporam computadores que controlam automaticamente o processo e permitem que até um novo utilizador obtenha rapidamente imagens com grande detalhe.</p> <p>Este tipo de observação é muito útil pois permite visualizar fenómenos dinâmicos a elevadas ampliações como sejam corrosões, ciclos secagem - molhagem, ciclos gelo-degelo, ações de capilaridade e de cristalização de sais, entre outros.</p>															
<p><b>MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO</b></p>	<p>Ref.<sup>a</sup> 14 TE</p>															



## PERMEABILIDADE AOS CLORETOS POR DIFERENÇA DE POTENCIAL

Ref.<sup>a</sup>

15 TE

### ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM QUE PODE SER UTILIZADA:

#### Estruturais

(Todos os elementos em Betão Armado) - Pilares; Vigas; Lajes; Paredes resistentes; Muros de suporte; Fundações

#### Não-Estruturais

### PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:

Percepção sensorial (ótica)

Ação mecânica

Interação com radiação eletromagnética

Reação química

Hidrodinâmica

Análise térmica

Efeitos elétricos /eletrônicos

### LOCAL REALIZADO:

Laboratório

*In Situ*

### DESTRUTIVIDADE:

Destrutiva

Não-destrutiva

### TIPO DE AMOSTRA:

Normalizada

Irregular

Quantidade/Dimensão:

Variável

### DESCRIÇÃO [15.1] [15.2]:

Esta técnica serve para determinar o coeficiente de difusão de cloretos em materiais de reparação de betão, argamassas ou cimento de forma rápida a partir de ensaios de migração. Diferentes métodos de ensaio de migração foram desenvolvidos para determinar o coeficiente de difusão de cloretos.

O ensaio ASTM C1202, também normalizado como AASTHO T277, é o mais citado, apesar de ser bastante criticado, principalmente devido à elevada diferença de potencial utilizada. Neste ensaio as amostras, colocadas entre meia-células, ficam com uma das suas faces em contato com solução de NaCl e a outra com solução de NaOH. Depois, são submetidas a uma diferença de potencial de 60V, durante um período de 6 horas, no qual é realizada uma monitorização da corrente passante, em intervalos de 30 min.

Outro método utilizado é o *Rapid Chloride Migration Test*, um ensaio de migração em regime não estacionário. O ensaio começa com a saturação em vácuo dos provetes, numa solução de Ca(OH)<sub>2</sub> onde posteriormente é inserido num sistema de migração, utilizando uma solução catódica (10% NaCl) e uma anódica (NaOH 0,3N) em que os iões cloro, através de uma tensão de 30V, penetram no provete no sentido do ânodo. A duração do teste pode ir de 6 a 96 horas consoante a qualidade do betão. A profundidade de penetração dos cloretos pode ser medida e o coeficiente de difusão de cloretos ( $D_{nssm}$ ) é calculado recorrendo à Lei de Fick modificada.

Esta ficha apresenta a aplicação do ensaio de migração em regime não estacionário.

### EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:

- 1- Câmara e bomba de vácuo
- 2- Martelo, escopro e paquímetro
- 3- Máquina de corte de betão
- 4- Braçadeiras de aço inoxidável (ajustáveis a 105mm)
- 5- Mangas de borracha (diâmetro=105mm altura=200mm)
- 5- Solução de cloreto de sódio
- 6- Solução de hidróxido de cálcio
- 7- Solução de hidróxido de sódio
- 8- Solução de nitrato de prata
- 9- Fonte de alimentação: capaz de fornecer 0 ~ 60 V D



Fig. 15.1 – Fonte de alimentação para indução elétrica [15.3]

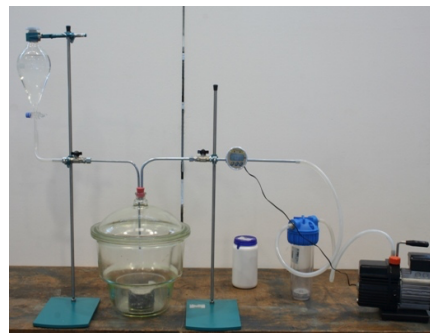


Fig. 15.2 – Câmara e bomba de vácuo [15.3]

### POTENCIALIDADES:

- ⇒ Determinação expedita da permeabilidade de um betão aos cloretos;
- ⇒ Estimar o período de vida útil de estruturas de betão armado.

### LIMITAÇÕES:

- ⇒ Determinação da profundidade de penetração de cloretos através do método colorimétrico difícil de medir e tem grande variabilidade nos resultados.

Ref.<sup>a</sup> 15 TE

TÉCNICA ELÉTRICA / ELETRÓNICA

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [15.4] [15.5]:****1. Preparação da amostra (carote):**

Cortar a camada que esteve em contato com o ambiente exterior em cerca de 20 mm de espessura, cortar a próxima camada com 50±2 mm de espessura e usar como provete para o ensaio. A superfície mais próxima à camada exterior é a que fica exposta à solução de cloretos.

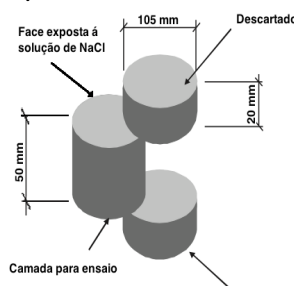


Fig. 15.3 – Esquema de corte

**2. Colocação dos provetes em câmara de vácuo:**

- ⇒ Duração 3 horas;
- ⇒ Pressão [10-50] (mbar).
- ⇒ Adicionar a solução de hidróxido de cálcio, após as 3 horas, imergindo os provetes durante uma hora.

**3. Desligar a bomba de vácuo deixando permanecer os provetes imersos durante 18±2 horas.****4. Colocação dos provetes em mangas de borracha, ajustando-se com as braçadeiras metálicas.****5. Introdução no tanque de ensaio, que contém a solução catódica de 10% NaCl e enche-se as mangas com uma solução anódica de NaOH (300ml).****7. Ligar o cátodo e o ânodo à fonte de alimentação:**

- ⇒ Instalar uma corrente elétrica de 30 volts;
- ⇒ Registrar a intensidade de corrente e temperatura inicial;
- ⇒ Calibrar com os valores da tabela 15.1 (duração ensaio);

**8. Cumprida a duração do ensaio, registrar os valores da intensidade da corrente e da temperatura imediatamente antes do final do ensaio. Retirar os provetes do tanque, removendo das mangas de borracha e partir axialmente com o martelo e escopro.****9. Determinação da espessura de penetração de cloretos, aplicando uma solução de nitrato de prata com borrifador nas seções abertas e medindo após 15 minutos o precipitado branco de nitrato de prata em 7 pontos (Fig. 15.5).****DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Média     Elevada
**DOCUMENTOS NORMATIVOS ASSOCIADOS:**

Ref.ª	Título	Ano
ASTM C1202	Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration	2012
NT Build 492	CONCRETE, MORTAR AND CEMENT BASED REPAIR MATERIALS: CHLORIDE MIGRATION COEFFICIENT FROM NON-STEADY-STATE MIGRATION EXPERIMENTS	1999
LNEC E 463	Betões. Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário	2004

**VALORES DE REFERÊNCIA [15.4]:**

Tabela 15.1 – Diferença de potencial e duração do ensaio de migração para um provete de betão com uma dosagem normal de ligante [15.4]

Corrente Inicial (com 30 V) (mA)	Potencial U (após ajuste) (V)	Nova corrente inicial admitida $I_0$ (mA)	Duração do ensaio t (horas)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 360$	6

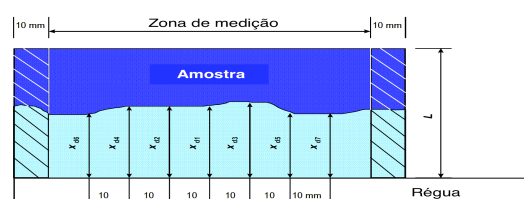


Fig. 15.5 – Medição da profundidade de penetração dos cloretos [15.4]

**REGISTO DE RESULTADOS [15.1]:**Fig. 15.4 – Profundidade da penetração de cloretos ( $X_d$ ) de um provete [15.1]**INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS [15.4]:**

Com os dados obtidos calcula-se o coeficiente de difusão em regime não estacionário a partir da seguinte equação simplificada:

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} (X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}})$$

em que:

$D_{nssm}$ : coeficiente de difusão em regime não estacionário,  $\times 10^{-12}$  ( $m^2/s$ )



## **4 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Nas últimas décadas, tem-se vindo a assistir a uma degradação acentuada do edificado em território nacional, o que tem levado a um grande desenvolvimento na área da patologia da construção, no que se refere à realização de estudos e investigações. Este desenvolvimento acentuado conduziu a um acumular de conhecimento que, no entanto, se encontra disperso e desorganizado.

Atendendo a este fato, revelou-se oportuno reunir e sistematizar a informação existente, originando o trabalho de investigação desenvolvido nesta dissertação, que culminou na elaboração de um catálogo que abrange as técnicas de diagnóstico laboratoriais em amostras recolhidas em serviço. Procurou-se deste modo contribuir para uma base de dados útil no diagnóstico de anomalias enquanto ferramenta de apoio aos técnicos de engenharia.

Após a elaboração deste trabalho, podem retirar-se algumas conclusões importantes neste âmbito, assim como, a indicação de algumas sugestões para eventuais desenvolvimentos futuros.

### **4.2 CONCLUSÕES FINAIS**

O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação baseou-se numa recolha bibliográfica e na análise de trabalhos realizados no mesmo âmbito, com o objetivo de facilitar a divulgação de informação sobre a realização de ensaios em edifícios enquanto parte essencial do processo que conduz à sua manutenção e reabilitação, através da criação de um catálogo de consulta expedita.

Verificou-se que o tema proposto é em geral corretamente abordado, do ponto de vista técnico, apresentando a informação tratada de modo simples e eficaz e constituindo, por isso, elemento de consulta que se tornará importante sendo imperativo a sua contínua atualização.

Por conseguinte, procurou-se analisar e caracterizar o processo envolvido no diagnóstico de anomalias na construção com o propósito de compreender o seu funcionamento e deste modo a criar um catálogo que melhor atenda às necessidades existentes.

Determinou-se que para definir com maior exatidão o processo de intervenção a adotar, é fundamental fazer um diagnóstico eficaz, onde a recolha de informação é uma das tarefas principais a desenvolver numa fase inicial. Essa recolha consiste na análise dos dados antecedentes e na observação *in situ* da situação atual do edifício. A observação pode ser feita através de uma simples inspeção visual, realizando ensaios sobre a edificação ou sobre amostras dela retiradas. Com a informação recolhida é possível elaborar um diagnóstico onde as anomalias são identificadas, apresentando-se hipóteses para as suas causas e quando possível, determina-se os possíveis modos de intervenção.

Mencionou-se resumidamente os principais laboratórios nacionais e qual o seu papel no apoio ao diagnóstico das anomalias. Identificou-se as técnicas de diagnóstico mais correntemente utilizadas em laboratórios sobre amostras recolhidas em serviço foram identificadas e classificou-se as mesmas pelos princípios em que se baseiam, nomeadamente em termos de perceção sensorial, ação mecânica, interação com radiação eletromagnética, reação química, efeito hidrodinâmico, térmico e elétrico.

Comparou-se alguns métodos existentes de diagnóstico de anomalias onde se averiguou que os modelos de ficha que os compõem seguem uma estrutura semelhante entre si, focando-se em tópicos como:

- Descrição;
- Causas;
- Resultados;
- Medidas de intervenção.

Apresentou-se os modelos das fichas de diagnóstico do catálogo de trabalhos anteriores, onde se analisou a sua organização e estrutura. Tendo em conta que este trabalho vem na sequência dos trabalhos anteriores, mas com objetivos distintos, levando à conceção de um modelo de ficha técnica de diagnóstico que se enquadra no seu tema ao mesmo tempo que se manteve coerente com a estrutura das fichas anteriores deste catálogo.

Deste modo, foi proposto um modelo de ficha com duas páginas, destinada à descrição de técnicas de diagnóstico laboratoriais em amostras recolhidas em serviço e na sua conceção foram considerados os seguintes campos:

- Título da técnica;
- Referência;
- Elementos construtivos em que pode ser usada;

- Local realizado;
- Destrutividade;
- Tipo de amostra;
- Princípio de funcionamento;
- Descrição da técnica;
- Equipamento e material necessário;
- Potencialidades;
- Limitações;
- Custo do ensaio;
- Dificuldade do ensaio;
- Procedimento do ensaio
- Documentos normativos associados;
- Valores de referência;
- Registo de resultados;
- Interpretação de resultados.

O resultado final foi a compilação de 15 propostas novas de fichas técnicas no domínio das técnicas de diagnóstico laboratoriais em amostras recolhida em serviço. Foi introduzido um novo campo associado ao tipo de amostra, onde é indicado as características relacionadas com a dimensão, forma e geometria das amostras, como também referencia se são normalizadas ou irregulares. Ajustou-se o campo que aborda a destrutividade das técnicas para ter em consideração a associação deste parâmetro às amostras recolhidas. Por fim, o catálogo foi organizado por princípio de funcionamento e as fichas foram ordenadas segundo uma numeração sequencial, seguida do código de cada princípio, permitindo assim, a possibilidade de adição de novas fichas em futuros trabalhos.

No que se refere ao objetivo de informar os profissionais da área e restantes intervenientes no processo, concluiu-se que o modelo adotado engloba os principais tópicos de cada técnica de diagnóstico de forma completa e expedita. Neste sentido, considera-se que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados.

#### **4.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Com este trabalho pretendeu-se dar um contributo no estudo de técnicas de diagnóstico de anomalias na construção. Tendo em conta as dificuldades deparadas durante a pesquisa e no acesso à informação relevante, não se conseguiu incluir todas as técnicas deste tipo no catálogo. Deste modo, ainda existe muita investigação por fazer neste domínio.

De seguida, enunciam-se algumas ideias que poderão ser desenvolvidas e que possam contribuir para o progresso da investigação no âmbito deste trabalho:

- Continuação do trabalho desenvolvido até aqui, através da elaboração de novas fichas de técnicas de diagnóstico laboratoriais sobre amostras recolhidas em serviço;
- Devido à complexidade de algumas técnicas, que tornaram difícil condensar toda a informação relevante em uma ficha, sugere-se a criação de um campo ou sinalética que remeta à informação complementar;
- Criação de um livro que compile todas as fichas técnicas de diagnóstico do catálogo realizados em temáticas diferentes;
- Criação de uma plataforma online onde é possível consultar todas as fichas dos catálogos desenvolvidos, facilitando o acesso a um maior número de pessoas;
- Elaborar um índice de anomalias que remeta para as apropriadas técnicas de diagnóstico do catálogo.

Por forma a validar o potencial das diversas fichas catálogo de técnicas de diagnóstico, poderá ser feito um trabalho que simule a sua aplicação em situações reais, fornecendo deste modo, um *feedback* que poderá contribuir no desenvolvimento de novos catálogos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Córias, V. (2006) – *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios* – 2ª Edição, IST Press.
- [2] Freitas, V. (2003) – *Patologia da construção - Um catálogo - 2º simpósio internacional sobre patologia durabilidade e reabilitação dos edifícios. Aprendendo com os erros e defeitos da construção*. LNEC, Lisboa, 6 a 8 de Novembro de 2003.
- [3] Gaspar, P.; Brito, J. (2000) – “*O regulamento japonês como instrumento de apoio no projeto para a durabilidade*”, Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas (REPAR 2000), LNEC, Lisboa, Junho de 2000, pp. 39-48.
- [4] Watt, D. (2007) – *Building Pathology - Principles and Practice - Second Edition*.
- [5] *Building Pathology – A state-of-the art report*. CIB Report, Publication nº 155, June 1993.
- [6] Groák, S. (1992) – *The Idea of Building: Thought and Action in the Design and Production of Buildings*.
- [7] Baião, M. (2009) – *Algumas situações de patologia em edifícios de betão armado - Medidas preventivas*. Comunicação 146 apresentada às “Jornadas Técnicas da 1.ª Feira Internacional da Construção e Habitação”, Cidade da praia, Cabo Verde. LNEC
- [8] Dias, J. e Lopes, G. (2010) – *Conservação e reabilitação de edifícios recentes*, CAD5, Julho 2010, LNEC.
- [9] Vasconcelos, P. (2002) – *Enquadramento Legal da Actividade de Conservação e Reabilitação de Edifícios Recentes*, Setembro 2002, Lisboa, LNEC.
- [10] Lages, P., Almeida, M. (2015) – *MOD - Método Otimizado de Diagnóstico das Patologias da Construção*. 29 de Janeiro de 2015 artigo em, Dr-Building.pt.
- [11] Santos, S. (2003) – *A Reabilitação Estrutural do Património Construído – Aspectos Básicos*, Lisboa 2003, LNEC.
- [12] Henriques, F. (1994) – *Humidade em paredes - 2º ENCORE*. Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios – LNEC.
- [13] MAGALHÃES, A. Cristian (2002) – *Patologia de rebocos antigos*. LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2.
- [14] Córias, V. (2007) – *Reabilitação estrutural de edifícios antigos - 2ª Edição*.
- [15] Flores-Colen, I., Silva, L., Brito, J., Freitas, V. (2010) – *In-service parameters from façade rendering mortars: Bulk density and open porosity determined from samples collected in situ*. Structural Survey, Vol. 28, Issue: 1, pp. 17-27.
- [16] Veiga, M., Aguiar, J., Silva, A. e Carvalho, F. (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. LNEC, CED 9, Edição 2004.
- [17] Mateus, J., Coias, V., Melo, R., et al. (2005) *Baixa Pombalina: bases para uma intervenção de salvaguarda*, Câmara Municipal de Lisboa – Pelouros do Licenciamento Urbanístico, Reabilitação Urbana, Planeamento Urbano, Planeamento Estratégico e Espaços Verdes.
- [18] Lichtenstien, B. (1986) – *Patologia das construções* – Escola Politécnica da Universidade

de São Paulo, Boletim Técnico 06/86.

- [19] Maia, J. (2014) *Contributo para a sistematização das inspeções técnicas, na conservação e reabilitação em edificações*. Dissertação de Mestrado em Reabilitação Urbana, Instituto Politécnico de Tomar.
- [20] Rocha, M. (1970) – *O Papel dos laboratórios na engenharia civil* - LNEC.
- [21] *A State-of-the-Art Report on Building Pathology*. CIB - W086 Building Pathology. CIB Publication 393, 2013.
- [22] Machado, L. (2014) – *Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos não estruturais de edifícios correntes*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [23] Sousa, M. 2004 – *Patologia da construção – Elaboração de um catálogo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP.
- [24] Flores-Colen, I., Brito, J. e Freitas, V. (2008) – *Stains in Facades Rendering – Diagnosis and Maintenance Techniques' Classification*. Construction and Building Materials, Vol. 22, Issue 3, March 2008, pp. 211-221.
- [25] Flores-Colen, I., Brito, J. e Freitas, V. (2010) – *Ensaio in-situ e em laboratório para caracterização do desempenho em serviço de rebocos pré doseados aplicados em fachadas de edifícios correntes.*, 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, Março de 2010, artigo n.º24.
- [26] Abreu, D. (2013) – *Técnicas de diagnóstico utilizadas em engenharia civil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP.
- [27] Correia, S. (2014) – *Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [28] Pavão, R. (2016) – *Catálogo de técnicas de diagnóstico em edifícios antigos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [29] Silva, A. (2013) – *Importância da caracterização de argamassas antigas para decisões de conservação e reabilitação de edifícios*. Seminário "Reboco de Edifícios Antigos", LREC, Ponta Delgada, 15 de novembro de 2013.
- [30] Anselmo, P. (2012) – *Previsão da vida útil de rebocos antigos de fachadas de edifícios antigos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [31] Santos, S. (2000) – *Sistema de Gestão de Obras de Arte. Módulo de Apoio à Inspeção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, IST.
- [32] Fagulha, J., Ventosa, M., Santos, R. – *Reabilitação e conservação do património arquitetónico*, cadernos técnicos n.º 4, Ordem dos arquitetos.
- [33] Aguiar, J., Reis A., Appleton, J. (1993) – *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*, LNEC.
- [34] Hughes, J. & Callebaut, K. (2002) – *In-situ visual analysis and practical sampling of historic mortars*. Materials and Structures, Vol. 35, Issue 2, pp. 70-75.
- [35] Yan, T. (2013) – *Técnicas e laboratórios de ensaio de betões*. Dissertação de Mestrado em

Engenharia Civil, IST.

- [36] Barroqueiro, T. (2013) – Técnicas e laboratórios de ensaio de argamassas para a construção. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [37] Almacinha, J. (2013) – Introdução ao Conceito de Normalização em Geral e sua Importância na Engenharia. Textos de Apoio às Unidades curriculares de Desenho Técnico (MIEM) e de Desenho Industrial (MIEIG) da FEUP. 3ª ed. Porto.

## REFERÊNCIAS WEBGRÁFICAS

- [W1] STB – <http://www.stb.pt/> (Consultado em 11/2015).
- [W2] Oz – <http://www.oz-diagnostico.pt/> (Consultado a 11/2015).
- [W3] <http://www.kstreetstudio.com/science/experiments/general.html> (Consultado a 07/2016).
- [W4] CIB – <http://www.cibworld.nl/> (Consultado em 11/2015).
- [W5] IPAC – <http://www.ipac.pt> (Consultado a 01/2017).
- [W6] LNEC – <http://www.lnec.pt> (Consultado a 01/2017).
- [W7] ITeCons – <http://www.itecons.uc.pt> (Consultado a 01/2017).
- [W8] LREC Açores – <http://www.azores.gov.pt/Gra/srft-lrec> (Consultado a 01/2017).
- [W9] LREC Madeira – <http://www.lrec.pt> (Consultado a 01/2017).
- [W10] AQS – <http://www.qualiteconstruction.com/> (Consultado a 11/2015).
- [W11] PATORREB – [www.patorreb.com](http://www.patorreb.com) (Consultado 11/2015).
- [W12] <http://www.emic.com.br/Imprimir.Produto.php?Produto=9> (Consultado a 09-2015).
- [W13] [http://www.velmex.com/Products/Pre-configured\\_Systems/Petrography\\_System.html](http://www.velmex.com/Products/Pre-configured_Systems/Petrography_System.html) (Consultado a 07/2016).
- [W14] [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762015000100013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762015000100013) (Consultado a 07/2016).
- [W15] <http://www.ehu.eus/enedi/index.php?i=c&seccion=26> (Consultado a 07/2016).
- [W16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermogravimetric\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermogravimetric_analysis) (Consultado a 07/2016).
- [W17] [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/304/859/463/463859304\\_374.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/304/859/463/463859304_374.jpg) (Consultado a 07/2016).
- [W18] [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212014000400004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400004) (Consultado a 07/2016).
- [W19] <http://pt.labthink.cn/product/info-1012600.html> (Consultado a 07/2016).
- [W20] <https://www.buyfloorpaint.co.uk/surfacepreparation.html> (Consultado a 07/2016).
- [W21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ion\\_chromatography](https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_chromatography) (Consultado a 07/2016).
- [W22] [http://www.astroshop.eu/stereo-zoom-microscopes/optika-scn-1-7x-45x-zoom-achromatic-binocular-microscope/p.44042#tab\\_bar\\_0\\_select](http://www.astroshop.eu/stereo-zoom-microscopes/optika-scn-1-7x-45x-zoom-achromatic-binocular-microscope/p.44042#tab_bar_0_select) (Consultado a 07/2016).
- [W23] <http://www.jascoinc.com/spectroscopy/ft-ir-6000-series> (Consultado a 07/2016).
- [W24] [http://www.bio-optic.com/prod\\_confocal\\_de\\_industria.html](http://www.bio-optic.com/prod_confocal_de_industria.html) (Consultado a 07/2016).

- [W25] <http://bruker-microct.com/products/1172.htm> (Consultado a 07/2016).
- [W26] <http://www.tarcopol.pl/en/oferta/sprzedaz-aparatury-badawczej> (Consultado a 11/2017).
- [W27] <https://www.erichsen.de/ensaio-de-superficies/resistencia-a-abrasao-e-ao-atrito> (Consultado a 07/2016).
- [W28] <http://www.panalytical.com/en/XPert3-Powder.htm> (Consultado a 07/2016).
- [W29] <http://www.rigaku.com/en/products/xrf/primus2> (Consultado a 07/2016).
- [W30] <http://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-7500F.html> (Consultado a 07/2016).
- [W31] <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/produtos-solucoes/termogravimetria-calorimetria-exploratoria-diferencial-simultaneas/sta-449-f1-jupiter/> (Consultado a 09/2016).
- [W32] APQ – <http://www.apq.pt> (consultado a 08/2017)

## **NORMAS E ESPECIFICAÇÕES**

NP EN ISO/IEC 17025:2005 – *Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 196-2:2006 – *Métodos de ensaio de cimentos. Parte 2: Análise química dos cimentos*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 932-3:2010 – *Ensaio para determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 3: Procedimento e terminologia para a descrição petrográfica simplificada*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1015-18:2002 – *Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade de argamassas*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1015-19:2008 – *Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1097-1:2002 – *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval)*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12504-1:2003 – *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 13755-1:2003 – *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1*, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 45020:2009 – *Normalização e actividades correlacionadas. Vocabulário geral (Guia ISO/IEC 2:2004)*.

EN 772-11:2011 – *Methods of test for masonry units. Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units*, European Committee for Standardization.



EN 1338:2003 – Concrete paving blocks. Requirements and test methods, European Committee for Standardization

EN 1925:1999 – *Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity*, European Committee for Standardization.

EN 12407:2007 – *Natural stone test methods*, European Committee for Standardization.

EN 13057:2002 – *Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of resistance of capillary absorption*, European Committee for Standardization.

LNEC E 237 – *Resistência ao desgaste pela máquina de Los Angeles*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 388 – *Betões. Análise macro e micro estrutural. Exame petrográfico*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 393 – *Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 394 – *Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 395 – *Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio no vácuo*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 396 – *Betões. Determinação da resistência à abrasão*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 402 – *Materiais de matriz cimentícia. Microanálise de raios X por dispersão de energia associada ao microscópio electrónico de varrimento*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 403 – *Cimentos. Identificação dos constituintes cristalinos por difractometria dos raios X*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

LNEC E 405 – *Cimentos. Determinação do teor de dióxido de carbono por análise termogravimétrica*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.

LNEC E 463 – *Betões. Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004.

NP EN 45020:2009 – *Normalização e actividades correlacionadas. Vocabulário geral (Guia ISO/IEC 2:2004)*.



# **ANEXOS**



## ANEXO I – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO CATÁLOGO DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

### FICHA 01 TPS – EXAME À LUPA BINOCULAR

- [1.1] Cruz, T., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas da igreja de nossa Sr.ª da Assunção (ELVAS) e do Castelo de Amieira do Tejo (NISA)*, LNEC.
- [1.2] Brito, J., Flores, I. (2005) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construções em Betão Armado*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação, IST.
- [1.3] [www.astroshop.eu/stereo-zoom-microscopes/optika-scen-1-7x-45x-zoom-achromatic-binocular-microscope/p,44042#tab\\_bar\\_0\\_select](http://www.astroshop.eu/stereo-zoom-microscopes/optika-scen-1-7x-45x-zoom-achromatic-binocular-microscope/p,44042#tab_bar_0_select) (Consultado a 07/2016).
- [1.4] [www.moticam.com](http://www.moticam.com) (Consultado a 02/2017).
- [1.5] Gominho, M. (2016) – *Caracterização Microestrutural de Argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [1.6] Fontes, A. (2011) – *Influência das condições de cura na carbonatação de argamassas tradicionais com ligantes à base de cal aérea – Métodos de análise*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [1.7] Adriano, P., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas do período romano e árabe da vila de Mértola*, LNEC.

### FICHA 02 TPS – ANÁLISE AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO DE BETÕES E ARGAMASSAS

- [2.1] Leal, S. (2012) – *Caracterização petrográfica de agregados sedimentares e metamórficos para betão*, Dissertação de Mestrado em Geologia, FCUP.
- [2.2] Cruz, T., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas da igreja de nossa Sr.ª da Assunção (ELVAS) e do Castelo de Amieira do Tejo (NISA)*, LNEC.
- [2.3] [www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5125](http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5125) (Consultado a 02/2017).
- [2.4] [http://www.velmex.com/Products/Pre-configured\\_Systems/Petrography\\_System.html](http://www.velmex.com/Products/Pre-configured_Systems/Petrography_System.html) (Consultado a 07/2016).
- [2.5] [www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/97146/index.cfm#toc](http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/97146/index.cfm#toc) (Consultado a 02/2017).
- [2.6] [www.petrolab.co.uk](http://www.petrolab.co.uk) (Consultado a 02/2017).
- [2.7] Adriano, P., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas do período romano e árabe da vila de Mértola*, LNEC.

### FICHA 03 TAM – ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CAROTES DE BETÃO ARMADO

- [3.1] Costa, A., Appleton, J. (2002) – *Estruturas de Betão I: Parte II – Materiais*, IST.
- [3.2] Júlio, E. (2007) – *Avaliação in situ da resistência à compressão do Betão*. 2º Seminário – A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação, FEUP.
- [3.3] [www.perta.pt/produtos/mesa-de-corte-de-provetes-e-carotes](http://www.perta.pt/produtos/mesa-de-corte-de-provetes-e-carotes) (Consultado a 09/2015).

- [3.4] [www.emic.com.br/Imprimir.Produto.php?Produto=9](http://www.emic.com.br/Imprimir.Produto.php?Produto=9) (Consultado a 09/2015).
- [3.5] [http://setorindustria.com.br/SET50\\_%20Retifica%20Faceadora%20para%20Corpo%20de%20Provas.htm](http://setorindustria.com.br/SET50_%20Retifica%20Faceadora%20para%20Corpo%20de%20Provas.htm) (Consultado a 09/2015).
- [3.6] [www.salvicasagrande.com.br/dimensional/paquimetro/paquimetro-universal-100003.html#.ViaGYBptBc](http://www.salvicasagrande.com.br/dimensional/paquimetro/paquimetro-universal-100003.html#.ViaGYBptBc) (Consultado a 09/2015).
- [3.7] NP EN 12504-1 – Ensaios do betão endurecido Parte 1: Carotes. Extração, exame e ensaio á compressão. 2009.
- [3.8] NP EN 206-1 – Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. 2005.
- [3.9] NP EN 12390-3 – Ensaios do betão endurecido Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio. 2003.
- [3.10] Córias, V. (2006) – *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios* - 2ª Edição.

#### **FICHA 04 TIRE – TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE RAIOS-X**

- [4.1] Gominho, M. (2016) – *Caracterização Microestrutural de Argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [4.2] Ketcham, R., Carlson, W. (2007) – *Acquisition, optimization an interpretation of X-ray computed tomographic imagery: application to the geosciences*, University of Texas.
- [4.3] [www.bruker.com](http://www.bruker.com) (Consultado a 02/2017).
- [4.4] Inanc, F., Ceylan, H., Gopalakrishnan, K. (2007) – *Using X-ray computed tomography to study paving materials*, Iowa State University.
- [4.5] Yang, Z., Ren, W. – *Characterization of 3D fracture evolution in concrete using in-situ X-ray computed tomography testing and digital volume*.

#### **FICHA 05 TIRE – ESPETROSCOPIA DE RAIOS INFRAVERMELHOS COM TRANSFORMADA DE FOURIER**

- [5.1] Hanke, L. (2016) – *Handbook of Analytical Methods for Materials*, Materials Evaluation and Engineering, Inc.
- [5.2] Gominho, M. (2016) – *Caracterização Microestrutural de Argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [5.3] Veiga M., Silva A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [5.4] [www.panalytical.pt/Prensa-manual-de-bancada/Caracteristicas.htm](http://www.panalytical.pt/Prensa-manual-de-bancada/Caracteristicas.htm) (Consultado a 02/2017).
- [5.5] [www.kromatek.co.uk/](http://www.kromatek.co.uk/) (Consultado a 02/2017).
- [5.6] [www.directindustry.com/pt/prod/jasco-europe/product-30625-1753447.html](http://www.directindustry.com/pt/prod/jasco-europe/product-30625-1753447.html) (Consultado a 02/2017).
- [5.7] [www.labtesting.com/services/polymer-testing/ftir-analysis](http://www.labtesting.com/services/polymer-testing/ftir-analysis) (Consultado a 02/2017).
- [5.8] Gonçalves, T. (2012) – *Caracterização de filmes finos obtidos por deposição de vapor*

químico assistido a plasma (PECVD) e deposição e implantação iônica por imersão em plasma (PIIID). Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais, UNESP.

- [5.9] Nascimento, O., Mansur, A., Mansur, H. (2009) – *Avaliação de incrustação em tubulação de PVC*, XV COBREAP.
- [5.10] Brito, J., Flores, I. (2004) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construção em alvenaria de pedra*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação, IST.

#### **FICHA 06 TIRE – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X**

- [6.1] Fontes, A. (2011) – *Influência das condições de cura na carbonatação de argamassas tradicionais com ligante à base de cal aérea-Métodos de análise*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [6.2] Veiga M., Silva A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [6.3] <https://www.hipperquimica.com.br/acessorios-para-laboratorio/almofariz-de-agata> (Consultado a 02/2017).
- [6.4] [www.panalytical.com/en/XPert3-Powder.htm](http://www.panalytical.com/en/XPert3-Powder.htm) (Consultado a 02/2017).
- [6.5] Bandeira, A. (2012) – *Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT.
- [6.6] [www.icdd.com](http://www.icdd.com) (Consultado a 02/2017).
- [6.7] <http://journals.iucr.org/b/issues/2002/03/01/an0608/an0608fig1.html> (Consultado a 02/2017).
- [6.8] Gominho, M. (2016) – *Caracterização Microestrutural de Argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [6.9] Tuna, J. (2011) – *Caracterização in-situ de eflorescências e de outros compostos salinos e paramentos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.

#### **FICHA 07 TIRE – ESPECTROMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAIOS-X**

- [7.1] Brito, J., Flores, I. (2004) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construção em alvenaria de pedra*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação, IST.
- [7.2] <https://www.ipn.pt/laboratorio/LEDMAT/ensaio/19> (Consultado a 03/2017).
- [7.3] <http://asistandards.com/consumables> (Consultado a 03/2017).
- [7.4] <http://xcaliburxf.com/standards/5/Pure%20Element%20Standards/index.html> (Consultado a 03/2017).
- [7.5] <https://www.rigaku.com/en/products/xrf/nexcg> (Consultado a 03/2017).
- [7.6] IAEA-TECDOC-950 (1997) – *Sampling, storage and sample preparation procedures for X ray fluorescence analysis of environmental materials*, IAEA.
- [7.7] Takahashi, G. (2015) – *Sample preparation for X-ray fluorescence analysis*, Rigaku Journal 31.

- [7.8] RSc (2007) – ARL 9900 INTELLIPOWER Series User Manual, Thermo Fisher.
- [7.9] <http://www.horiba.com/scientific/products/x-ray-fluorescence-analysis/tutorial/xrf-spectroscopy/> (Consultado 03/2017).
- [7.10] <https://www.911metallurgist.com/blog/sample-preparation-methods-for-xrf-analysis> (Consultado 03/2017).
- [7.11] Parreira, P. (2006) – *Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil*, Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, Volume 10, Número 1.

#### **FICHA 08 TRQ – CROMATOGRAFIA IÓNICA**

- [8.1] Veiga M., Silva A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [8.2] <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/037041> (Consultado a 02/2017).
- [8.3] <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/053560?ICID=search-product> (Consultado a 03/2017).
- [8.4] <http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/48428-Man-IC-ICS-3000-System-Operators-2008-01-065031-04.pdf> (Consultado a 03/2017).
- [8.5] Tuna, J. (2011) – *Caracterização in-situ de eflorescências e de outros compostos salinos e paramentos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [8.6] Fernandes, A. (2006) *Diapositivos – Cromatografia iónica, Isótopos estáveis* - CENA.
- [8.7] Rodrigues, J. (2012) – *Optimização da incerteza de determinação, por cromatografia iónica, da composição maioritária e vestigial de soluções salinas*. Dissertação de Mestrado em Química, UL.
- [8.8] Hanke, L. (2016) – *Handbook of Analytical Methods for Materials*, Materials Evaluation and Engineering, Inc.
- [8.9] [www.lidiaconlaquimica.wordpress.com/tag/cromatograma](http://www.lidiaconlaquimica.wordpress.com/tag/cromatograma) (Consultado a 03/2017).

#### **FICHA 09 TRQ – ANÁLISE QUÍMICA POR VIA HÚMIDA – ATAQUE ÁCIDO (HCl)**

- [9.1] Veiga M., Silva A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [9.2] Cruz, T., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas da igreja de nossa Sr.ª da Assunção (ELVAS) e do Castelo de Amieira do Tejo (NISA)*, LNEC.
- [9.3] Rosa, P. (2016) – *Caracterização de argamassas históricas do convento de Cristo-Tomar*. Dissertação de Mestrado em Química, FCUL.
- [9.4] <https://sanitex.wikispaces.com/Curva+de+valoraci%C3%B3n+del+NaOH> (Consultado a 04/2017).
- [9.5] [www.amazon.com/Karter-Scientific-SF-214T2-Borosilicate-Beaker/dp/B01F47B8AO](http://www.amazon.com/Karter-Scientific-SF-214T2-Borosilicate-Beaker/dp/B01F47B8AO) (Consultado a 04/2017).



- [9.6] <http://www.bertel.com.br/agitador.html> (Consultado a 04/2017).
- [9.7] <https://www.coleparmer.com/i/mn/0891260> (Consultado a 04/2017).
- [9.8] RILEM TC 167-COM: Characterization of Old Mortars with Respect to their Repair, Materials and Structures 38 (October 2005).

#### **FICHA 10 THd – POROSIMETRIA DE MERCÚRIO**

- [10.1] Mata, V. (1998) – *Caracterização de Meios Porosos – Porosimetria, Modelização 3D e Tomografia Seriada – Aplicação a Suportes Catalíticos*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Química, FEUP.
- [10.2] <http://www.particletechlabs.com> (Consultado a 03/2017).
- [10.3] <http://www.micromeritics.com> (Consultado a 03/2017).
- [10.4] Silva, A. (Diapositivos) – Importância da caracterização de argamassas antigas para decisões de conservação e reabilitação de edifícios - LNEC.

#### **FICHA 11 THd – ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO**

- [11.1] De Schutter, G., Audenaert, K. (2004) – *Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration*, Materials and Structures, Vol. 37.
- [11.2] Wilson, M., Carter, M., Hoff, W. (1999) – *British Standard and RILEM water absorption tests: A critical evaluation*, Materials and Structures, Vol. 32.
- [11.3] [http://www.fzmhdz.com/product\\_c\\_e.asp?P\\_ID=19](http://www.fzmhdz.com/product_c_e.asp?P_ID=19) (Consultado a 03/2017).
- [11.4] [http://www.water-tanks.net/acatalog/Water\\_Tanks.html](http://www.water-tanks.net/acatalog/Water_Tanks.html) (Consultado a 03/2017).
- [11.5] <http://dsiperuautomation.com/laboratorio-de-temperatura-y-humedad/> (Consultado a 03/2017).
- [11.6] Correia, J., Brito, J. Pereira, A. (2003) – *Absorção por Capilaridade e Imersão de Betões Produzidos com Agregados Grossos Cerâmicos Reciclados*, ANIPC, n.º19, Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento, Lisboa Março de 2003, pp. 21-30.
- [11.7] Especificação LNEC E 394-1993 – Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica.
- [11.8] The Concrete Society, "Permeability Testing of Site Concrete. A Review of Methods and Experience", Technical Report n° 31, London 1987.
- [11.9] Brito, J., Flores, I. (2005) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construções em Betão Armado, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação*, IST.

#### **FICHA 12 TAT – ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA**

- [12.1] Cruz, T., Silva, A. (2006) – *Caracterização de argamassas da igreja de nossa Sr.ª da Assunção (ELVAS) e do Castelo de Amieira do Tejo (NISA)*, LNEC.

- [12.2] Mohomed, K. (Diapositivos) – Thermogravimetric Analysis (TGA)- Theory and Applications, TA Instruments.
- [12.3] [http://www.usinenouvelle.com/expo/analyseur-thermogravimetrique-tga-a500-p409637.html#caracteristiques\\_techniques](http://www.usinenouvelle.com/expo/analyseur-thermogravimetrique-tga-a500-p409637.html#caracteristiques_techniques) (Consultado a 03/2017).
- [12.4] <http://www.holodiag.com/tga.php> (Consultado a 03/2017).
- [12.5] ASTM E 1131-08 – Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry.
- [12.6] EM ISO 11358 (1997) – Thermogravimetry (TG) of polymers – General principles.
- [12.7] Hanke, L. (2016) – *Handbook of Analytical Methods for Materials*, Materials Evaluation and Engineering, Inc.
- [12.8] [www.Perkinelmer.com](http://www.Perkinelmer.com) – Frequently Asked Questions – Thermogravimetric Analysis (TGA) (Consultado a 03/2017).

### FICHA 13 TAT – ANÁLISE TERMICA DIFERENCIAL

- [13.1] Veiga, M., Silva, A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [13.2] Brito, J., Flores, I. (2004) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construção em alvenaria de pedra*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação, IST.
- [13.3] <http://www.scalepeople.com/index.php/products/laboratory/laboratory-balances-and-precision-scales/analytical-balances/hr-a-az-galaxy-series.html> (Consultado a 03/2016)
- [13.4] <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/produtos-solucoes/termogravimetria-calorimetria-exploratoria-diferencial-simultaneas/sta-449-f1-jupiter/> (Consultado a 09/2016).
- [13.5] ASTM E 967-03 – Standard Test Method for Temperature Calibration of Differential Scanning Calorimeters and Differential Thermal Analyzers.
- [13.6] Machado, M. (2008) – *Análise térmica diferencial e termogravimétrica*.
- [13.7] Sambandan, E. (2008) – *Inorganic Materials Chemistry: General Concepts and Research Topics*.
- [13.8] <http://www.elearnocean.com/College-Notes/Chemical-Engineering/4th%20sem/Instrumental%20Methods%20of%20Analysis/notes/UNIT%20%20-%20DIFFERENTIAL%20THERMAL%20ANALYSIS.pdf> (Consultado a 03/2016).

### FICHA 14 TE – MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO

- [14.1] Veiga, M., Silva, A., Aguiar, J., Carvalho F., (2004) – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC.
- [14.2] Brito, J., Flores, I. (2004) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de construção em alvenaria de pedra*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação, IST.
- [14.3] [http://images.esellerpro.com/41/l/101/26120\\_CCBii.jpg](http://images.esellerpro.com/41/l/101/26120_CCBii.jpg) (Consultado a 03/2017).

- [14.4] [https://www.tedpella.com/semmisc\\_html/semadhes.htm](https://www.tedpella.com/semmisc_html/semadhes.htm) (Consultado a 03/2017).
- [14.5] <http://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-7800F.html> (Consultado a 03/2017).
- [14.6] Gominho, M. (2016) – *Caracterização Microestrutural de Argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.
- [14.7] Hanke, L. (2016) – *Handbook of Analytical Methods for Materials*, Materials Evaluation and Engineering, Inc.
- [14.8] Goldstien, J., et al (2003) – *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis* – Third Edition.

#### **FICHA 15 TE – PERMEABILIDADE AOS CLORETOS POR DIFERENÇA DE POTENCIAL**

- [15.1] Camacho, G. (2015) – *A Ação Combinada da Carbonatação e dos Cloretos: Avaliação do Coeficiente de Difusão de Cloretos em Betões Carbonatados*. Dissertação de Mestrado em Sustentabilidade do Ambiente Construído, Universidade do Minho.
- [15.2] Luping, T. (2001) – *Precision of the Nordic test methods for measuring chloride diffusion/migration coefficients of concrete* – *Materials and Structures*, Vol. 34, October 2001, pp 479-485.
- [15.3] <http://www.controls-group.com/eng/concrete-testing-equipment/chloride-ion-penetration-meter.php> (Consultado a 03/2017).
- [15.4] NT Build 492 (1999) – *Concrete Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient Form Non-Steady State Migration Experiments*, Nordtest Method.
- [15.5] Gameiro, F. (2013) – *Desempenho em termos de durabilidade de betões com incorporação de agregados finos de resíduos da indústria do mármore*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.