



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Departamento de Engenharia Civil**



**Inspeção e diagnóstico de edifícios recentes.**  
**Estudo de um caso real.**

**SARA FILIPA MILHO AMARAL**  
(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho de projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
Área de Especialização em Edificações

Orientadora:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Professora Adjunta (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor, Filipe Manuel Almeida Vasques, Professor Adjunto (ISEL)

Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Professora Adjunta (ISEL)

Doutor, Pedro Miguel Raposeiro da Silva, Eq. Ass. 2º triénio (ISEL)

**Dezembro de 2013**



“Os dias prósperos não vêm do acaso;  
são granjeados, como as searas, a muita fadiga  
e com muitos intervalos de desalento”.

Camilo Castelo Branco (1825-1890)



## Resumo

Apesar da manifesta preocupação em dotar de qualidade a construção, a maioria dos edifícios recentes não apresenta o desempenho e a durabilidade desejáveis, revelando-se este fato, fundamentalmente, com o aparecimento precoce de anomalias de carácter funcional e construtivo. A fim de se garantir a eficácia da reparação das deficiências em edifícios, torna-se fundamental a realização de uma fase de diagnóstico e de inspeção, visto ser um meio ímpar no que diz respeito à interpretação de anomalias que neles se manifestam.

O objetivo do presente trabalho é criar um sistema de inspeção e diagnóstico em edifícios recentes (SIDER) qualificado pela obtenção de resultados sistematizados, práticos e inteligíveis de ocorrências presenciadas num edifício recente de escritórios, o qual apresenta profundas anomalias construtivas e funcionais.

A metodologia do sistema proposto tem como principal objetivo simplificar e objetivar as atividades de inspeção e diagnóstico na generalidade dos componentes construtivos presentes em edifícios contemporâneos, permitindo conhecer as frequências de observação das situações anómalas e da utilização de técnicas de diagnóstico, assim como compreender as possíveis causas associadas aos desencadeamentos de anomalias consideradas. Para tal, utilizou-se meios de identificação e de classificação de anomalias, técnicas de diagnóstico e de possíveis causas, assim como o estabelecimento de matrizes de correlação anomalias-causas. A informação relativa ao diagnóstico das anomalias evidenciadas é apresentada sob a forma de fichas individuais.

Desta feita, pretende-se alcançar de uma forma objetiva a tomada de decisões racionais, no que diz respeito ao saneamento de anomalias em edifícios recentes, tendo em consideração que a requalificação destes edifícios constitui um dos maiores e mais necessários desafios das áreas da engenharia e de arquitetura atuais.

**Palavras-Chave:** Sistema de inspeção e diagnóstico; Edifícios contemporâneos; Anomalias da construção; Técnicas de Diagnóstico.



## Abstract

Despite the obvious concern about providing quality in construction, most of the recent buildings do not present the performance and durability desirable, due fundamentally to the early emergence of anomalies of functional and constructive character. In order to ensure efficient repair of anomalous situations, it becomes fundamental to implement a diagnostic and inspection phase, since it is a unique way regarding the interpretation of anomalies that buildings manifest.

The objective of this work is to create a system of diagnosis and inspection in recent buildings (SIDER) qualified by the obtainment of systematic, practical and understandable results from the occurrences witnessed in a recent offices building, which currently presents profound constructive and functional anomalies.

The methodology of the proposed system has as main objective to simplify and objectify the diagnosis and inspection activities in most building components present in contemporary buildings, allowing to know the frequency of observation of abnormal situations and the use of diagnostic techniques, as well as to understand the possible causes associated with outbreaks of considered anomalies. For this purpose, it was used means of identification and classification of anomalies, diagnostic techniques and possible causes, as well as the establishment of correlation matrices anomalies-causes. The information regarding the diagnosis of highlighted anomalies is presented in the form of individual files.

Thus it is intended to achieve in an objective form the making of rational decisions regarding the repairment of anomalies in recent buildings, taking into account that the requalification of these buildings is one of the largest and most needed challenges in the areas of actual engineering and architecture.

**Keyword:** System of inspection and diagnosis; Contemporary buildings; Construction anomalies; Diagnostic Techniques.



## Agradecimentos

O presente trabalho é fruto de muito esforço e dedicação, o qual constitui uma etapa de grande importância na minha vida. A sua realização não seria possível sem a contribuição, direta e indireta, de diversas pessoas e entidades, às quais pretendo deixar os meus sinceros agradecimentos.

Quero agradecer em primeiro lugar à Professora Doutora Dulce Franco Henriques, minha orientadora científica, pela escolha do tema, pela disponibilidade total, pelo incentivo, pelos conselhos sensatos e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o trabalho. Os conhecimentos e experiências por ela partilhados foram determinantes para a realização deste trabalho de projeto.

O meu agradecimento vai também para a empresa da ESTAMO por conceder o edifício em estudo, permitindo a realização das atividades de inspeção no mesmo, e à empresa de segurança PSG pela disponibilidade total que sempre demonstrou em facilitar o acesso ao edifício.

Quero também agradecer a toda a equipa do Laboratório de Materiais de Construção da ADEC-ISEL, em especial ao António e à Raquel, por toda a ajuda prestada na execução das técnicas *in situ*.

Gostaria de agradecer ao engenheiro José Silvestre pela orientação prestada referente à metodologia dos sistemas classificativos de ocorrências em edifícios, e ao engenheiro Grandão Lopes, pelas informações imprescindíveis acerca das anomalias de coberturas em terraço.

Um agradecimento especial ao engenheiro Pedro Silva pelo apoio incondicional referente à realização dos ensaios de ultra-sons e de esclerómetro e ao engenheiro Manuel Gamboa pela disponibilidade, pela troca de sugestões e pelo fornecimento de importante bibliografia.

Gostaria de agradecer também ao meu colega do ISEL e representante da FLUKE, Miguel Diniz Gonçalves, por me ter facultado a câmara termográfica, sem a qual não seria possível a realização dos ensaios da termografia.

Quero agradecer também a todos os meus amigos, em especial à minha amiga Filipa, pela compreensão da minha ausência em momentos de convívio, pela amizade e boa disposição que sempre soube transmitir ao longo deste percurso.

Um agradecimento ao Mário pelo amor, pela amizade e pela forma incansável como me apoiou em todos os momentos do meu mestrado e também pelo interesse e paciência ilimitada com que acompanhou a conclusão deste trabalho.

A toda a minha família um especial agradecimento pela compreensão. Aos meus pais pelo carinho, pelo apoio incondicional, pelo interesse e pela possibilidade que me deram de ter chegado até este nível de formação. Ao meu irmão pela inesgotável paciência e constante motivação. E aos meus avós maternos, por acreditarem nas minhas capacidades.

E acima de tudo a Deus, por me ter proporcionado forças em momentos de hesitação e de desânimo.



## Índice Geral

|   |       |
|---|-------|
| Resumo.....   | i     |
| Abstract .....  | iii   |
| Agradecimentos.....                                   | v     |
| Índice Geral.....                                     | vii   |
| Índice de Texto.....                                  | ix    |
| Índice de Figuras .....                               | xiii  |
| Índice de Quadros.....                                | xxiii |
| 1 Introdução.....                                     | 1     |
| 2 Anomalias em Edifícios Recentes.....                | 11    |
| 3 Inspeção e Diagnóstico em Edifícios Recentes .....  | 53    |
| 4 Caso de estudo: Edifício e Aplicação do SIDER ..... | 111   |
| 5 Tratamento Estatístico de Resultados.....           | 233   |
| 6 Conclusões .....                                    | 251   |
| Bibliografia .....                                    | 257   |



## Índice de Texto

|   |           |
|---|-----------|
| Resumo.....   | i         |
| Abstract .....  | iii       |
| Agradecimentos.....   | v         |
| Índice Geral.....   | vii       |
| Índice de Texto.....  | ix        |
| Índice de Figuras .....   | xiii      |
| Índice de Quadros.....  | xxiii     |
| <b>1 Introdução.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Considerações preliminares.....   | 1         |
| 1.2 Enquadramento geral.....  | 2         |
| 1.2.1 Edifícios recentes .....  | 2         |
| 1.2.2 Degradação do parque edificado recente.....                                       | 3         |
| 1.2.3 Vida útil ( <i>Service Life</i> ) .....   | 4         |
| 1.2.4 Influência da inspeção, manutenção e diagnóstico no desempenho dos edifícios..... | 5         |
| 1.3 Objetivos e metodologia da dissertação .....  | 6         |
| 1.4 Organização da dissertação .....  | 8         |
| <b>2 Anomalias em Edifícios Recentes.....</b>   | <b>11</b> |
| 2.1 Introdução.....   | 11        |
| 2.2 Classificação e tipificação de anomalias .....                                      | 12        |
| 2.3 Causas das anomalias .....  | 13        |
| 2.4 Anomalias estruturais.....  | 15        |
| 2.4.1 Fundações.....  | 15        |
| 2.4.2 Paredes de alvenaria .....  | 16        |
| 2.4.3 Estruturas de betão armado .....  | 16        |
| 2.4.4 Pavimentos .....  | 21        |
| 2.5 Anomalias não estruturais .....   | 21        |
| 2.5.1 Elementos primários.....  | 22        |
| 2.5.2 Elementos secundários .....   | 36        |
| 2.5.3 Revestimentos e acabamentos .....   | 38        |
| 2.6 Conclusão .....   | 51        |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>3</b> | <b>Inspeção e Diagnóstico em Edifícios Recentes .....</b>                    | <b>53</b>  |
| 3.1      | Generalidades .....  | 53         |
| 3.2      | Sistemas e métodos de inspeção e diagnóstico.....                            | 54         |
| 3.2.1    | Introdução.....  | 54         |
| 3.2.2    | Sistema classificativo - matrizes de correlação .....                        | 56         |
| 3.2.3    | Metodologia de quantificação “Causa-Efeito” .....                            | 57         |
| 3.2.4    | Sistema de inspeção e diagnóstico tendo como base o programa SPSS.....       | 57         |
| 3.2.5    | Avaliação exigencial de edifícios .....                                      | 58         |
| 3.2.6    | Sistemas de identificação e de diagnóstico de patologias <i>online</i> ..... | 60         |
| 3.2.7    | Metodologia de diagnóstico de patologias em edifícios - DPE.....             | 61         |
| 3.3      | Metodologia de um diagnóstico de anomalias .....                             | 63         |
| 3.3.1    | Recolha de informação .....  | 64         |
| 3.3.2    | Procedimento.....  | 65         |
| 3.4      | Técnicas de diagnóstico.....   | 70         |
| 3.4.1    | Inspeção visual e meios complementares de inspeção .....                     | 71         |
| 3.4.2    | Ensaio <i>in situ</i> .....  | 77         |
| 3.4.3    | Ensaio laboratoriais.....  | 106        |
| 3.5      | Conclusão .....  | 109        |
| <b>4</b> | <b>Caso de estudo: Edifício e Aplicação do SIDER.....</b>                    | <b>111</b> |
| 4.1      | Introdução.....  | 111        |
| 4.2      | Descrição do edifício.....   | 111        |
| 4.2.1    | Localização.....   | 111        |
| 4.2.2    | Análise geral .....  | 112        |
| 4.2.3    | Caracterização construtiva.....  | 116        |
| 4.2.4    | Caracterização estrutural .....  | 125        |
| 4.3      | Descrição da metodologia aplicada.....                                       | 126        |
| 4.3.1    | Avaliação detalhada das anomalias .....                                      | 128        |
| 4.3.2    | Classificação e identificação de anomalias .....                             | 130        |
| 4.3.3    | Técnicas de diagnóstico.....   | 135        |
| 4.3.4    | Avaliação do diagnóstico das situações anómalas .....                        | 137        |
| 4.4      | Implementação do SIDER.....  | 152        |
| 4.4.1    | Grupo I – Pisos subterrâneos.....  | 152        |

---

---

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.4.2    | Grupo II – Rés-Do-Chão e Primeiro Piso.....       | 162        |
| 4.4.3    | Grupo III – Segundo, Terceiro e Quarto Piso.....  | 180        |
| 4.4.4    | Grupo IV – Quinto, Sexto e Sétimo Piso .....      | 199        |
| 4.4.5    | Grupo V – Oitavo e Nono Piso.....                 | 218        |
| <b>5</b> | <b>Tratamento estatístico de resultados .....</b> | <b>233</b> |
| 5.1      | Introdução.....                                   | 233        |
| 5.2      | Anomalias do edifício .....                       | 233        |
| 5.2.1    | Prioridade de reparação/intervenção .....         | 240        |
| 5.3      | Meios/Técnicas de diagnóstico realizados .....    | 241        |
| 5.4      | Frequência das causas associadas.....             | 243        |
| 5.5      | Conclusão .....                                   | 248        |
| <b>6</b> | <b>Conclusões.....</b>                            | <b>251</b> |
| 6.1      | Considerações finais.....                         | 251        |
| 6.2      | Considerações gerais .....                        | 252        |
| 6.3      | Desenvolvimentos futuros .....                    | 255        |
|          | <b>Bibliografia .....</b>                         | <b>257</b> |

**Anexos:**

Anexo 1. I – Mapeamento de anomalias e de técnicas de diagnóstico: Grupo I de pisos

Anexo 1. II – Mapeamento de anomalias e de técnicas de diagnóstico: Grupo II de pisos

Anexo 1. III – Mapeamento de anomalias e de técnicas de diagnóstico: Grupo III de pisos

Anexo 1. IV – Mapeamento de anomalias e de técnicas de diagnóstico: Grupo IV de pisos

Anexo 1. V – Mapeamento de anomalias e de técnicas de diagnóstico: Grupo V de pisos

Anexo 1. VI – Mapeamento de anomalias: Alçados Laterais

Anexo 1. VII – Mapeamento de anomalias: Alçado Frontal e Tardoz

Anexo 2. I – Matrizes de Correlação: Grupo I de pisos

Anexo 2. II – Matrizes de Correlação: Grupo II de pisos

Anexo 2. III – Matrizes de Correlação: Grupo III de pisos

Anexo 2. IV – Matrizes de Correlação: Grupo IV de pisos

Anexo 2. V – Matrizes de Correlação: Grupo V de pisos

Anexo 3. – Fichas de Anomalias



# Índice de Figuras

## 1- Introdução

|   |   |
|---|---|
| <b>Figura 1.1</b> - Exemplo de um edifício recente na zona da Lapa, Lisboa. ....  | 2 |
| <b>Figura 1.2</b> - Desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo .....  | 5 |
| <b>Figura 1.3</b> - Fluxograma geral com a metodologia seguida, dividida pelos capítulos principais (excluindo o primeiro capítulo, referente à introdução e o sexto capítulo, referente às conclusões). .... | 9 |

## 2- Anomalias em Edifícios Recentes

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1</b> - Processo de deterioração de edifícios e seus respetivos elementos. ....  | 11 |
| <b>Figura 2.2</b> - Critério de tipificação de ocorrências anómalas em edificados. ....  | 12 |
| <b>Figura 2.3</b> - Quantificação das causas de anomalias em edifícios habitacionais de origem humana .....  | 14 |
| <b>Figura 2.4</b> - Classificação das causas naturais, que poderão suscitar ocorrências anómalas. ....   | 14 |
| <b>Figura 2.5</b> - Representação das causas que suscitam o aparecimento de anomalias em elementos estruturais....   | 15 |
| <b>Figura 2.6</b> - Representação das principais causas para o surgimento de anomalias em fundações e em infraestruturas. ....   | 15 |
| <b>Figura 2.7</b> - Representação das diversas causas possíveis de fissurações em betão armado.....  | 17 |
| <b>Figura 2.8</b> - Representação da evolução da perda da alcalinidade do betão armado, da superfície para o interior, através do processo de carbonatação. A zona alcalina da seção (a cor-de-rosa) vai diminuindo, deixando os varões em risco de corrosão. Os tempos indicados variam, essencialmente, com a porosidade do betão..... | 19 |
| <b>Figura 2.9</b> - Representação das anomalias e situações mais relevantes na generalidade dos edifícios recentes ..  | 21 |
| <b>Figura 2.10</b> - Representação de manifestações de humidade devido a fenómenos de higroscopicidade e de condensação em paredes. ....   | 26 |
| <b>Figura 2.11</b> - Representação do mecanismo de degradação de sais. ....  | 28 |
| <b>Figura 2.12</b> - Representação de alguns exemplos de anomalias em caixilhos de alumínio e de PVC .....   | 36 |
| <b>Figura 2.13</b> - Representação de algumas anomalias correntes em rebocos.....  | 39 |
| <b>Figura 2.14</b> - Representação de anomalias em revestimentos de pintura.....   | 40 |
| <b>Figura 2.15</b> - Representação de anomalias em revestimentos cerâmicos.....  | 43 |
| <b>Figura 2.16</b> - Representação de anomalias em revestimentos pétreos .....   | 44 |
| <b>Figura 2.17</b> - Representação da tipologia de revestimentos em coberturas inclinadas .....  | 47 |
| <b>Figura 2.18</b> - Representação de anomalias em coberturas em terraço .....   | 47 |
| <b>Figura 2.19</b> - Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas planas.....   | 48 |

## 3- Inspeção e Diagnóstico em Edifícios Recentes

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 3.1</b> - Organização do sistema de inspeção e diagnóstico de edifícios.....   | 56 |
| <b>Figura 3.2</b> – Representação da Organização das Patologias adotado pelo PATORREB. ....  | 60 |
| <b>Figura 3.3</b> - Fluxograma de procedimentos para diagnóstico numa intervenção global e pontual .....   | 62 |
| <b>Figura 3.4</b> - Representação das etapas fundamentais da metodologia de intervenção em edifícios. ....   | 64 |
| <b>Figura 3.5</b> - Representação do método de registo de anomalias durante o processo de diagnóstico em edifícios. ....                                       | 67 |
| <b>Figura 3.6</b> - Fluxograma representativo da aplicação dos métodos de inspeção e ensaio ao longo das várias fases de uma intervenção de reabilitação ..... | 69 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 3.7</b> - Possibilidade de organização da divisão das técnicas de diagnóstico. ....   | 70  |
| <b>Figura 3.8</b> - Exemplo de meios auxiliares à avaliação <i>in-situ</i> .....  | 73  |
| <b>Figura 3.9</b> – Representação de instrumentos de monitorização de abertura de fissuras: a. Comparador de fissuras; b. Fissurómetro; c. Medidor ótico de Fissuras. ....  | 75  |
| <b>Figura 3.10</b> - Representação da monitorização de uma fissura presente num pilar do rés-do-chão, do edifício em estudo. ....   | 76  |
| <b>Figura 3.11</b> - Representação da classificação de ensaios <i>in situ</i> através do grau de destruição evidenciado em elementos construtivos analisados. ....  | 77  |
| <b>Figura 3.12</b> - Representação das técnicas <i>in situ</i> mecânicas, sensoriais e ultra-sónicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas .....   | 79  |
| <b>Figura 3.13</b> - Representação das técnicas <i>in situ</i> elétricas, térmicas e hidrodinâmicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas .....  | 80  |
| <b>Figura 3.14</b> - Representação das técnicas <i>in situ</i> eletroquímicas e químicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas.....  | 81  |
| <b>Figura 3.15</b> – Figura do lado esquerdo: Representação de um aparelho esclerómetro <i>Schmidt</i> do tipo N utilizado na inspeção ao edifício em estudo. Figura do lado direito: Representação da constituição de um esclerómetro <i>Schmidt</i> .....   | 82  |
| <b>Figura 3.16</b> - Representação do teste de aferição do esclerómetro <i>Schmidt</i> do tipo N utilizado na inspeção do edifício em estudo. ....  | 83  |
| <b>Figura 3.17</b> - Representação do afastamento proposto entre zonas que se realiza o impacto de esclerómetro. ...  | 84  |
| <b>Figura 3.18</b> - Representação das quatro fases de realização do ensaio do esclerómetro: a. Primeira fase do processo; b. Segunda fase do processo; c. Terceira fase do processo; d. Quarta Fase do processo. ....  | 84  |
| <b>Figura 3.19</b> – Ábaco de correlação entre o índice esclerométrico e o valor de resistência à compressão em cilindros do modelo do esclerómetro utilizado .....   | 86  |
| <b>Figura 3.20</b> - Representação do aparelho ultra – sons.....  | 88  |
| <b>Figura 3.21</b> - Representação do conjunto de elementos indispensáveis ao funcionamento do ensaio ultra – sons. ....  | 89  |
| <b>Figura 3.22</b> - Demonstração da calibração do aparelho ultra-sons .....  | 89  |
| <b>Figura 3.23</b> - Representação de algumas etapas do procedimento de Ultra – Sons: a. Aplicação da vaselina na superfície de betão a ensaiar para melhorar a aderência entre os transdutores e a superfície de betão; b. Pormenor da colocação dos dois transdutores distanciados entre si com cerca de 15 centímetros (0,150 m), c. Propriedades obtidas na tela LCD de um aparelho de ultra-sons durante um ensaio de ultra-sons ..... | 90  |
| <b>Figura 3.24</b> - Representação dos três métodos de medição de tempo de propagação das ondas ultrasónicas obtidos através do ensaio de ultra-sons. ....  | 91  |
| <b>Figura 3.25</b> - Representação das técnicas de utilização correspondentes ao método de ultra-sons .....   | 92  |
| <b>Figura 3.26</b> - Gráfico de obtenção da velocidade média da onda através do método indireto .....   | 94  |
| <b>Figura 3.27</b> - Representação da câmara termográfica utilizada na inspeção do edifício em estudo.....  | 97  |
| <b>Figura 3.28</b> - Aplicação do ensaio da termografia em parede orientada a sul, na zona V do primeiro piso: a. Representação do local de ensaio; b. Representação do termograma de cores associadas às temperaturas da superfície.....   | 97  |
| <b>Figura 3.29</b> – a. Utilização do pacómetro num pilar do segundo piso, do edifício em estudo; b. Representação da marcação do posicionamento das armaduras da parede de betão da caixa do elevador, na segunda cave, do edifício em estudo. ....  | 98  |
| <b>Figura 3.30</b> - Representação da medição de temperatura no pilarete nº2 no segundo piso, do edifício em estudo. ....   | 99  |
| <b>Figura 3.31</b> – Exemplo de diagnóstico a partir do teor de humidade numa parede .....  | 101 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 3.32</b> - Representação do humidímetro utilizado durante a Inspeção ao edifício em estudo. ....   | 101 |
| <b>Figura 3.33</b> - Representação do medidor digital de resistividade elétrica utilizado durante as atividades de inspeção e diagnóstico em elementos de betão armado do edifício em estudo. ....   | 102 |
| <b>Figura 3.34</b> - Representação das três fases do ensaio de medição da resistividade elétrica, realizado no pilarete nº 2 do segundo piso: a. Realização da furação de dois orifícios com espaçamento de 5 cm; b. Colocação de vaselina nas duas sondas do aparelho; c. Colocação das duas sondas nos orifícios e leitura de dados obtidos. . | 103 |
| <b>Figura 3.35</b> - Representação dos efeitos ocorridos no furo realizado na superfície do betão, em pilarete nº2 do segundo piso, após a aspersão da solução de fenolftaleína. ....  | 104 |
| <b>Figura 3.36</b> - Representação da amostra de solução de nitrato de prata utilizada para a verificação da presença de cloretos em certos elementos de betão armado, do edifício em estudo .....   | 105 |
| <b>Figura 3.37</b> – Representação dos possíveis efeitos de coloração após a colocação da solução de nitrato de prata em elementos de betão: a. Representação da solução branca pastosa num provete de betão; b) Representação de um precipitado branco na superfície de betão ( <i>in situ</i> ), no pilarete nº 1, do sétimo piso. ....        | 106 |
| <b>Figura 3.38</b> – Realização dos ensaios qualitativos de aplicação da solução de fenolftaleína e de nitrato de prata, no pilarete nº 2 do segundo piso, do edifício.....  | 106 |
| <b>Figura 3.39</b> – Elaboração do ensaio de fitas colorimétricas.....   | 108 |

#### **4- Caso de estudo: Edifício e Aplicação do SIDER**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4.1</b> - Representação da localização do edifício.....  | 111 |
| <b>Figura 4.2</b> - Representação das quatro fachadas principais do edifício: a. Fachada Norte; b. Fachada Frontal (Oeste); c. Fachada Sul; d. Fachada Tardoz (Este). ....   | 112 |
| <b>Figura 4.3</b> - Alguns locais particulares dos pisos inferiores do edifício: a. Local das celas no Piso -1; b. Sala localizada no Piso -2; c. Pormenor de compartimento no Piso -1; d. Local de Estacionamento do Piso -3.....   | 113 |
| <b>Figura 4.4</b> - Alguns locais do piso rés-do-chão e primeiro piso do edifício: a., b. Compartimentações do piso rés-do-chão; c. Compartimentos do primeiro piso; d. Lanternim sobre escada do 1º piso que dá acesso ao 2º piso. ....   | 114 |
| <b>Figura 4.5</b> - Alguns locais característicos do segundo, terceiro e quarto piso: a., b. Compartimentações do segundo piso; c. Compartimento do terceiro piso; d. Compartimento do quarto piso. ....   | 114 |
| <b>Figura 4.6</b> - Alguns locais característicos do quinto, sexto e sétimo piso: a. Compartimentação do quarto piso; b. Local de circulação comum no quinto piso; c. Compartimentação do sétimo piso; d. Compartimento do sexto piso.....   | 114 |
| <b>Figura 4.7</b> - Alguns locais característicos do oitavo e nono piso: a. Compartimentação orientada a oeste do oitavo piso; b. Sala orientada a este do nono piso; c. Cobertura plana do oitavo piso; d. Local de varanda de grande extensão, localizada no nono piso. ....   | 115 |
| <b>Figura 4.8</b> - Locais de circulação comum do edifício. ....   | 115 |
| <b>Figura 4.9</b> - Representação da realização da laje do rés-do-chão do edifício (Arquivo nº 3 do nº de obra: 59 194, CML). ....   | 117 |
| <b>Figura 4.10</b> - Representação dos quatro tipos de revestimento cerâmico hidráulico empregue nos pavimentos: a. Revestimento de um compartimento do Piso -1; b. Revestimento de uma extremidade tardoz do primeiro piso; c. Revestimento de uma instalação sanitário do primeiro piso; d. Revestimento de uma instalação sanitário no piso -1. ....                                  | 117 |
| <b>Figura 4.11</b> - Representação dos tipos de revestimento de pavimentos e de tetos empregados no edifício: a. Teto falso em gesso cartonado pintado; b. Representação de um teto falso realizado com perfis de alumínio lacados; c- Pedra de granito cinza tipo; d Lajedo de pedra de granito tipo impala negro; e. Revestimento de tacos de <i>parquet</i> de madeira de mogno. .... | 118 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 4.12</b> - Representação de alguns tipos de paredes que compõem o edifício: a. Parede exterior tardoz no nono piso; b. Parede de compartimentação do tipo amovível no quinto piso; c. Parede exterior dupla no nono piso; d. Parede de betão simples no quarto piso; e. Parede exterior frontal, no primeiro piso. ....   | 119 |
| <b>Figura 4.13</b> - Representação dos diferentes tipos de revestimentos utilizados nas paredes do edifício: a. Colocação de estrutura amovível como revestimento final em parede exterior; b. Revestimento de pedra calcária; c. Parede rebocada e pintada; d. Revestimento cerâmico hidráulico em instalação sanitária; e. Revestimento em pilar de pedra granítica. .... | 120 |
| <b>Figura 4.14</b> - Representação dos diferentes revestimentos empregues nas paredes exteriores do edifício: a. Parede Norte rebocada e pintada com tinta de membrana de cor branca; b. Fachada frontal revestida por pedra calcária; c. Fachada tardoz revestida com sistema de pastilha cerâmica hidráulica. ....  | 121 |
| <b>Figura 4.15</b> - Representação do tipo de revestimentos empregues nas coberturas do edifício: a. Cobertura inclinada; b. Cobertura nos locais avançados do r/c e primeiro piso; c., d. Cobertura plana revestida com impermeabilizante em toda a sua extensão. ....   | 121 |
| <b>Figura 4.16</b> - Representação dos quatro tipos de revestimentos utilizados nas estruturas de escadas do edifício: a. Escada metálica situado no primeiro piso; b. Escada secundária do rés-do-chão; Escada de emergência; d. Núcleo de escadas principal. ....   | 122 |
| <b>Figura 4.17</b> – Pormenor das varandas: a. Representação de varanda do piso quinto piso; b. Representação do revestimento empregue no pavimento e na parede dos locais de varanda. ....   | 122 |
| <b>Figura 4.18</b> - Representação do caixilho de alumínio anodizado em janelas de alguns locais do edifício. ....  | 123 |
| <b>Figura 4.19</b> - Representação do local destinado à deposição dos aparelhos de ventilação e de climatização. ....   | 124 |
| <b>Figura 4.20</b> - Representação da presença da rede de <i>sprinkler</i> 's nas três caves do edifício. ....  | 124 |
| <b>Figura 4.21</b> - Representação de alguns elementos presentes na casa das máquinas, localizado no nono piso. ....  | 124 |
| <b>Figura 4.22</b> - Representação da divisão estrutural, através da realização de uma junta de dilatação no rés-do-chão. ....  | 125 |
| <b>Figura 4.23</b> - Representação do mapeamento de anomalias e das respetivas técnicas de diagnóstico utilizadas, no segundo piso do edifício. ....  | 128 |
| <b>Figura 4.24</b> - Representação da metodologia de aplicação do SIDER proposta na presente dissertação. ....  | 129 |
| <b>Figura 4.25</b> - Técnicas de diagnóstico utilizadas no edifício: a. TD-1-AVA-1; b. TD-2-ND-1; c. TD-2-ND-2; d. TD-2-ND-3; e. TD-2-ND-4; f. TD-2-ND-5; g. TD-2-ND-6; h. TD-2-ND-7; i. TD-2-ND-8; j. TD-3-IPS-1; k. TD-2-ND-9. ....   | 135 |
| <b>Figura 4.26</b> - Principais causas de anomalias segundo o CSTC (adaptado de Pereira, 2008 citando CNUDE, 1991) ....   | 142 |
| <b>Figura 4.27</b> - Representação de corretas ações de manutenção e de limpeza em elementos secundários e revestimentos de edifícios: a. Lubrificação dos mecanismos de caixilhos exteriores (Santos, 2012); b. Limpeza de revestimento colado aderente com produto apropriado (Silvestre, 2005). ....   | 144 |
| <b>Figura 4.28</b> - Representação dos dois tipos de eflorescências identificadas: a.;b. A.4.(1); c.;d. A.4.(2). ....   | 153 |
| <b>Figura 4.29</b> - Representação dos dois tipos de fissurações verticais no piso -2: a. A.1.(3); b.; c.; d. A.1.(4). ...  | 153 |
| <b>Figura 4.30</b> - Ocorrência da anomalia A.11: a. No piso -2; b.; c. No piso -1. ....  | 154 |
| <b>Figura 4.31</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.8.(1); b. Ocorrência da anomalia A.3.(1); c. Ocorrência da anomalia A.7.(1). ....  | 154 |
| <b>Figura 4.32</b> - Representação da frequência de ocorrências de anomalias nos três pisos subterrâneos do edifício. ....  | 155 |
| <b>Figura 4.33</b> - Prioridade de reparação/intervenção do grupo de anomalias A. e G. dos três pisos subterrâneos. ....  | 156 |
| <b>Figura 4.34</b> – Ocorrências da anomalia A.1.(1). ....  | 156 |
| <b>Figura 4.35</b> - Ocorrência da anomalia A.1.(2). ....   | 157 |
| <b>Figura 4.36</b> - Ocorrência da anomalia A.1.(5) ....  | 158 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 4.37</b> - Representação das manchas de água no pavimento, próximas dos locais de ocorrência da anomalia A.4.(2).....   | 160 |
| <b>Figura 4.38</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.2.(1); b. Ocorrência da anomalia G.3.(1).....  | 161 |
| <b>Figura 4.39</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.6.(1); b.; c. Ocorrências da anomalia G.7.(1).....   | 161 |
| <b>Figura 4.40</b> - Contribuição de cada um dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias dos grupos A. e G.....  | 162 |
| <b>Figura 4.41</b> - Contribuição das causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no primeiro grupo de pisos. ....   | 162 |
| <b>Figura 4.42</b> - Ocorrência de algumas anomalias A.1. no rés-do-chão e no primeiro piso: a. Anomalia A.1.(6); b.; c. Anomalia A.1.(9).....  | 163 |
| <b>Figura 4.43</b> - Ocorrências de anomalias B.1.(1) no rés-do-chão e no primeiro piso.....  | 163 |
| <b>Figura 4.44</b> - Ocorrência de anomalias C.1.(1) no rés-do-chão e no primeiro piso. ....  | 164 |
| <b>Figura 4.45</b> - Anomalias do grupo D. no rés-do-chão e primeiro piso: a.;b. D.2.(1); c. D.3.(1); d. D.4.(1). ....  | 164 |
| <b>Figura 4.46</b> - Ocorrência da anomalia A.1.(7). ....   | 164 |
| <b>Figura 4.47</b> - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no rés-do-chão e do primeiro piso.....  | 165 |
| <b>Figura 4.48</b> - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no rés-do-chão e primeiro piso.....  | 166 |
| <b>Figura 4.49</b> - Ocorrência da anomalia A.1.(8) no primeiro piso. ....  | 168 |
| <b>Figura 4.50</b> – Representação de algumas anomalias no primeiro piso: a.; b. - Ocorrências da anomalia A.2.(1); c. Ocorrência da anomalia A.5.(1). ....   | 169 |
| <b>Figura 4.51</b> - Ocorrência das anomalias A.3.(2), A.4.(4) e A.7.(3) no primeiro piso. ....   | 170 |
| <b>Figura 4.52</b> - a. Paramento exterior da parede de alvenaria degradada; b. Representação das degradações manifestadas pela infiltração de água através do lanternim; c. Degradação exterior do lanternim. .... | 171 |
| <b>Figura 4.53</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrência de anomalias A.4.(3); c. Ocorrência de anomalias A.7.(2).....  | 171 |
| <b>Figura 4.54</b> - a. Ocorrência de anomalia A.6. no Grupo I de pisos: a. Em parede nascente do rés-do-chão; b. Em parede exterior norte, do primeiro piso; c. Em parede exterior sul, do primeiro piso .....     | 172 |
| <b>Figura 4.55</b> - Ocorrência de anomalias A.10.(1) no rés-do-chão. ....  | 173 |
| <b>Figura 4.56</b> - Ocorrências de anomalias B.2.(1). ....   | 173 |
| <b>Figura 4.57</b> - Representação das tensões provocadas pelo aumento de volume da madeira (Cruz & Aguiar, 2009). ....   | 174 |
| <b>Figura 4.58</b> – Representação de anomalias: a.; b.; c. ; d. Ocorrências de anomalias B.5.(1); e. Ocorrência da anomalia B.4.(1); f. Ocorrência da anomalia B.3.(1). ....                                       | 174 |
| <b>Figura 4.59</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências das anomalias G.1.(1); c; d. Ocorrência de anomalias G.3.(2).....   | 176 |
| <b>Figura 4.60</b> – Utilização da quantificação de sais nas eflorações do Pilar nº1, do rés-do-chão.....   | 177 |
| <b>Figura 4.61</b> – Realização do ensaio da termografia no pilar nº1, do rés-do-chão. ....   | 177 |
| <b>Figura 4.62</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências de anomalias H.1.(1); c. Ocorrências de anomalias H.2.(1).....  | 178 |
| <b>Figura 4.63</b> - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no segundo grupo de pisos. ....  | 179 |
| <b>Figura 4.64</b> - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do segundo grupo de pisos considerado. ....  | 179 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4.65</b> – Representação de anomalias: a.; b.; c. – Ocorrências da anomalia A.1.(10); d. Ocorrência da anomalia A.2.(2). .....   | 180 |
| <b>Figura 4.66</b> - Ocorrências da anomalia A.5(2). .....   | 181 |
| <b>Figura 4.67</b> – Representação de anomalias do grupo D.: a.; b.; c.; d. Ocorrências da anomalia D.2.(2); e. Ocorrência da anomalia D.5.(1); f. Ocorrência da anomalia D.4.(2). .....   | 181 |
| <b>Figura 4.68</b> – Representação de anomalias do grupo B.: a. Ocorrência da anomalia B.1.(2); b.; c. Ocorrências da anomalia B.5.(2); d. Diferença reduzida de níveis de pavimento interior e exterior. ....   | 182 |
| <b>Figura 4.69</b> - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no piso do segundo, terceiro e quarto piso. ....   | 183 |
| <b>Figura 4.70</b> - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no segundo, terceiro e quarto piso. ....  | 184 |
| <b>Figura 4.71</b> - Representação das inspeções realizadas em paredes exteriores no segundo piso: a. Inspeção nº 6; b. Inspeção nº7; c. Realização das inspeções nº6 e nº7. ....  | 185 |
| <b>Figura 4.72</b> - Ocorrência da anomalia A.1.(11). ....   | 186 |
| <b>Figura 4.73</b> - Ocorrências da anomalia A.7.(4). ....   | 187 |
| <b>Figura 4.74</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências das anomalias A.4.(5); c. Ocorrência da anomalia G.3.(3). ....   | 187 |
| <b>Figura 4.75</b> - Ocorrências da anomalia A.6.(2). ....   | 188 |
| <b>Figura 4.76</b> - Fotografias termográficas realizadas, em certas paredes onde se evidenciou a anomalia A.6.(2). ....   | 188 |
| <b>Figura 4.77</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.3(3).; b.; c.; d. Ocorrência da anomalia A.9.(1). ....  | 189 |
| <b>Figura 4.78</b> - Ocorrência da anomalia A.12.(1). ....   | 189 |
| <b>Figura 4.79</b> - Ocorrência da anomalia C.4.(1). ....  | 191 |
| <b>Figura 4.80</b> - Ocorrências da anomalia D.3.(2). ....   | 191 |
| <b>Figura 4.81</b> - Ocorrências da anomalia F.1.(1), no segundo piso. ....  | 192 |
| <b>Figura 4.82</b> - a. Representação da superfície de betão armado após a realização do ensaio da fenolftaleína; b. Representação da superfície de betão armado após a colocação de nitrato de prata; c. Ocorrência da anomalia G.2.(3). ....   | 193 |
| <b>Figura 4.83</b> – Algumas técnicas de diagnóstico realizadas durante a campanha de inspeção e diagnóstico ao pilarete nº2: a. TD – 2 – ND - 6; b. Representação dos dados obtidos após a realização do esclerómetro; c. TD – 2 – ND – 9; d. TD – 2 – ND – 7; e. TD – 2- ND -5; f. TD - 2 – ND – 1. .... | 194 |
| <b>Figura 4.84</b> – Representação das zonas das medições efetuadas pelo aparelho Esclerómetro <i>Schmidt</i> , do pilarete nº 2, do segundo piso. ....  | 194 |
| <b>Figura 4.85</b> - a. Paramento interior do pilarete nº2 após o destacamento do revestimento final; b. Representação do paramento interior após a realização das técnicas de diagnóstico elaboradas; c. Estado de degradação da parede exterior de varanda, adjacente ao pilarete nº2. ....              | 196 |
| <b>Figura 4.86</b> - Representação da formação de depósitos brancos no local do ensaio de aplicação de nitrato de prata. ....  | 197 |
| <b>Figura 4.87</b> - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no terceiro grupo de pisos. ....  | 198 |
| <b>Figura 4.88</b> - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do terceiro grupo de pisos considerado. ....  | 198 |
| <b>Figura 4.89</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrências da anomalia A.3.(4); b.; c. Ocorrência da anomalia A.4.(6); d. Ocorrência da anomalia A.7.(5); e.; f. Ocorrências da anomalia A.2.(3). ....  | 199 |
| <b>Figura 4.90</b> – Representação de anomalias: a.; c. Ocorrências de anomalias B.1.(3); b. Ocorrência da anomalia B.5.(3); d.; e. Ocorrências de anomalias B.2.(2). ....   | 200 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 4.91</b> - Ocorrências da anomalia G.1.(1).....   | 201 |
| <b>Figura 4.92</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências de anomalias C.4.(2); c. Ocorrência de anomalia C.3.(1). .....  | 201 |
| <b>Figura 4.93</b> - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no quinto, sexto e sétimo piso. ....  | 202 |
| <b>Figura 4.94</b> - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no quinto, sexto e sétimo piso. ....   | 202 |
| <b>Figura 4.95</b> – Representação de anomalias: a.; b. ;c. Ocorrências de anomalia A.5.(3); d.; e.; f. Ocorrências da anomalia A.9.(2). ....   | 204 |
| <b>Figura 4.96</b> - Ocorrências das anomalias A.6.(3).....   | 205 |
| <b>Figura 4.97</b> - Ensaio termográfico nas empenas do quinto piso: a. Empena sul; b. Empena norte.....  | 205 |
| <b>Figura 4.98</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências da anomalia A.10.(2); c. Queda de uma porção do teto falso devido à infiltração de água do oitavo piso. ....  | 206 |
| <b>Figura 4.99</b> - Ocorrências da anomalia A.12.(2).....  | 206 |
| <b>Figura 4.100</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia D.1.(1); b.; c.; d.; e. Ocorrências das anomalias D.2.(3); f. Ocorrências da anomalia D.5.(2).....  | 208 |
| <b>Figura 4.101</b> - Ocorrências de anomalias D.3.(3). ....  | 209 |
| <b>Figura 4.102</b> – Representação de algumas anomalias do grupo G, do quarto grupo de pisos: a.; b. Ocorrências da anomalia G.2.(4); c.; d. Ocorrências da anomalia G.3.(4).....  | 210 |
| <b>Figura 4.103</b> – Verificação da presença de iões sulfato na amostra nº 7. ....   | 211 |
| <b>Figura 4.104</b> - Representação das zonas das medições efetuadas pelo aparelho Esclerómetro Schmidt, no pilarete nº 1, do sétimo piso. ....   | 212 |
| <b>Figura 4.105</b> - Representação da profundidade de carbonatação evidenciada após a pulverização da solução de fenoltaleína, na cavidade realizada. ....   | 213 |
| <b>Figura 4.106</b> - Procedimentos realizados durante a campanha de inspeção ao pilarete nº1, do sétimo piso.....  | 214 |
| <b>Figura 4.107</b> - Representação dos depósitos brancos no interior do furo realizado, após a aplicação da solução de nitrato de prata no mesmo. ....   | 215 |
| <b>Figura 4.108</b> - a. Manifestação de infiltrações na laje do teto da zona D, do quinto piso; b. Manifestação de infiltrações na laje do teto da zona E, do sexto piso; c.; d. Ocorrências da anomalia G.6.(2).....                    | 215 |
| <b>Figura 4.109</b> – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências da anomalia H.4.(1); c.; d. Ocorrências da anomalia H.3.(1). ....  | 216 |
| <b>Figura 4.110</b> - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no quarto grupo de pisos. ....  | 217 |
| <b>Figura 4.111</b> - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do quarto grupo de pisos considerado. ....  | 218 |
| <b>Figura 4.112</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.2.(4); b.; c. Ocorrência da anomalia A.3.(4); d. Ocorrência da anomalia A.7.(6); e. Ocorrência da anomalia A.4.(7); f. Ocorrência da anomalia A.12.(3)..... | 219 |
| <b>Figura 4.113</b> – Representação de anomalias: a.; b. ;c. Ocorrências de anomalias B.1(4).; d. Ocorrências de anomalias B.2.(3); e. Ocorrência de anomalia B.3.(4); f. Ocorrência de anomalia B.5.(4).....                             | 219 |
| <b>Figura 4.114</b> – Representação de anomalias: a., b.; c. Ocorrências de anomalias D.2.(4); d. Ocorrências de anomalias D.4.(4); e.; f. Ocorrências de anomalias D.3.(4). ....   | 220 |
| <b>Figura 4.115</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.1.(4); b. Ocorrência da anomalia G.1.(3); c. Ocorrência da anomalia H.2.(2).....  | 220 |
| <b>Figura 4.116</b> - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no oitavo e nono piso. ....  | 222 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 4.117</b> - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no oitavo e nono piso. ....   | 222 |
| <b>Figura 4.118</b> - Pormenorização da anomalia A.1.(12). ....   | 223 |
| <b>Figura 4.119</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.5.(4); b.; c.; d.; e; Ocorrências da anomalia A.9.(3); f. Representação da possível ascensão de humidade de precipitação, no local E do oitavo piso. .... | 225 |
| <b>Figura 4.120</b> - Ocorrências da anomalia A.6.(4). ....   | 225 |
| <b>Figura 4.121</b> – Representação de anomalias: a.; b.; c.; Ocorrências da anomalia C.2.(1); d. Ocorrência da anomalia C.3.(2). ....  | 227 |
| <b>Figura 4.122</b> – Representação de anomalias: a.; Ocorrências da anomalia E.1.(1); b. Ocorrência da anomalia E.4.(1); c. Ocorrência da anomalia E.2.(1); d. Ocorrência da anomalia E.3.(1); E. Ocorrência da anomalia E.5.(1). .... | 228 |
| <b>Figura 4.123</b> – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia F.2.(1); b. Ocorrência da anomalia F.1.(2). ....  | 229 |
| <b>Figura 4.124</b> - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no oitavo e nono piso. ....   | 231 |
| <b>Figura 4.125</b> - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do quinto grupo de pisos considerado. ....  | 232 |

## 5 - Tratamento Estatístico de Resultados

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5.1</b> - Frequência absoluta das anomalias observadas nos doze pisos do edifício em estudo. ....                          | 233 |
| <b>Figura 5.2</b> - Frequência de ocorrências anómalas distribuídas pelos oito grupos de anomalias considerados. ...                 | 234 |
| <b>Figura 5.3</b> - Frequência relativa de ocorrência dos doze tipos de anomalias do grupo A. ....                                   | 235 |
| <b>Figura 5.4</b> - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo B. ....                                 | 235 |
| <b>Figura 5.5</b> - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo C. ....                                 | 236 |
| <b>Figura 5.6</b> - Frequência relativa de ocorrência dos dois tipos de anomalias do grupo F. ....                                   | 236 |
| <b>Figura 5.7</b> - Frequência relativa de ocorrência dos sete tipos de anomalias do grupo D. ....                                   | 237 |
| <b>Figura 5.8</b> - Frequência relativa de ocorrência dos cinco tipos de anomalias do grupo E. ....                                  | 237 |
| <b>Figura 5.9</b> - Frequência relativa de ocorrência dos sete tipos de anomalias do grupo G. ....                                   | 238 |
| <b>Figura 5.10</b> - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo H. ....                                | 238 |
| <b>Figura 5.11</b> - Frequência relativa dos 46 tipos de anomalias evidenciadas, no edifício em estudo. ....                         | 239 |
| <b>Figura 5.12</b> - Prioridade de reparação/intervenção da generalidade das anomalias evidenciadas. ....                            | 240 |
| <b>Figura 5.13</b> - Prioridade de reparação/intervenção nos oito grupos de anomalias considerados no edifício. ....                 | 240 |
| <b>Figura 5.14</b> - Frequência de escolha dos três métodos de diagnósticos realizados nas inspeções efetuadas. ....                 | 241 |
| <b>Figura 5.15</b> - Frequência de ocorrências das técnicas de diagnóstico utilizadas. ....  | 241 |
| <b>Figura 5.16</b> - Contribuição dos cinco grupos de pisos para a utilização das técnicas de diagnóstico consideradas. ....         | 242 |
| <b>Figura 5.17</b> - Frequência de utilização das técnicas de diagnóstico realizadas nos oito grupos de anomalias considerados. .... | 242 |
| <b>Figura 5.18</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo C. ....   | 243 |
| <b>Figura 5.19</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo D. ....   | 244 |
| <b>Figura 5.20</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo E. ....   | 244 |
| <b>Figura 5.21</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo F. ....   | 245 |
| <b>Figura 5.22</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo G. ....   | 245 |
| <b>Figura 5.23</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo H. ....   | 245 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5.24</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo A. ....   | 246 |
| <b>Figura 5.25</b> - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo B. ....   | 246 |
| <b>Figura 5.26</b> - Frequência de associação das causas nos oito grupos de anomalias considerados. ....                       | 247 |
| <b>Figura 5.27</b> - Contribuição dos nove grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas no edifício.<br>..... | 249 |



# Índice de Quadros

## 1- Introdução

|  |   |
|--|---|
| <b>Quadro 1.1</b> - Evolução da regulamentação estrutural em Portugal..... | 3 |
|--|---|

## 2- Anomalias em Edifícios Recentes

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 2.1</b> - Valores admissíveis para assentamentos diferenciais de fundações.....  | 16 |
| <b>Quadro 2.2</b> – Representação das causas e características principais de fendilhações em paredes de alvenaria...   | 16 |
| <b>Quadro 2.3</b> – Caracterização de vários tipos de fendilhação em elementos de betão armado .....   | 18 |
| <b>Quadro 2.4</b> – Síntese das anomalias e das respetivas causas associadas às lajes maciças e nervuradas de betão armado. ....   | 21 |
| <b>Quadro 2.5</b> – Representação das particularidades principais das fissuras provocadas por movimentações térmicas e pela retração de estruturas de betão armado. ....     | 32 |
| <b>Quadro 2.6</b> - Representação das particularidades principais das fissuras provocadas por movimentações higroscópicas e pela atuação excessiva de cargas verticais ..... | 33 |
| <b>Quadro 2.7</b> - Representação das particularidades principais das fissuras causadas por deformação excessiva de estrutura de suporte. ....                               | 34 |
| <b>Quadro 2.8</b> - Representação das particularidades principais das fissuras provocadas pelo assentamento de apoio e pela retração de lajes de betão armado .....          | 35 |
| <b>Quadro 2.9</b> - Anomalias mais comuns em caixilharias de edifícios recentes e as suas possíveis causas.....  | 37 |
| <b>Quadro 2.10</b> - Principais causas de deterioração dos mastiques.....  | 37 |
| <b>Quadro 2.11</b> – Representação das anomalias mais comuns em rebocos tradicionais e pré-doseados de monocamada .....  | 38 |
| <b>Quadro 2.12</b> – Representação das causas possíveis de anomalias em rebocos.....   | 39 |
| <b>Quadro 2.13</b> – Representação das causas possíveis das anomalias em revestimento de pinturas.....   | 41 |
| <b>Quadro 2.14</b> - Representação das anomalias mais correntes em ladrilhos colados.....  | 42 |
| <b>Quadro 2.15</b> - Representação das anomalias mais correntes no preenchimento de juntas entre ladrilhos .....   | 43 |
| <b>Quadro 2.16</b> - Representação das anomalias mais correntes em revestimentos pétreos .....   | 45 |
| <b>Quadro 2.17</b> – Representação das anomalias e das suas respetivas causas em revestimentos de pisos de edifícios recentes. ....  | 46 |
| <b>Quadro 2.18</b> - Relação entre anomalias e causas nos revestimentos de impermeabilização de pontos singulares de coberturas em terraço. ....                             | 48 |
| <b>Quadro 2.19</b> - Representação das anomalias mais correntes em coberturas inclinadas.....  | 49 |
| <b>Quadro 2.20</b> - Relação entre anomalias e causas nos revestimentos de impermeabilização de superfícies correntes de coberturas em terraço.....                          | 50 |

## 3- Inspeção e Diagnóstico em Edifícios Recentes

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 3.1</b> - Listagem dos trabalhos de investigação que tiveram como base de concretização a metodologia de sistema de classificação auxiliar aos trabalhos de inspeção e diagnóstico..... | 56 |
| <b>Quadro 3.2</b> – Classificação das Anomalias.....  | 58 |
| <b>Quadro 3.3</b> - Listagem das exigências impostas aos edifícios em análise. ....   | 59 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Quadro 3.4</b> – Representação de um exemplo da Matriz de Diagnóstico .....   | 63  |
| <b>Quadro 3.5</b> - Representação dos meios de obtenção de um diagnóstico.....   | 64  |
| <b>Quadro 3.6</b> - Representação das fases da intervenção em que os métodos de inspeção e diagnóstico e observação são aplicáveis a edifícios.....  | 68  |
| <b>Quadro 3.7</b> – Representação dos elementos relevantes a inspecionar num edifício. ....  | 72  |
| <b>Quadro 3.8</b> – Fatores de Classificação de uma fissura ou fenda, adquiridos através da inspeção visual.....   | 72  |
| <b>Quadro 3.9</b> – Representação de auxiliares de inspeção e a sua respetiva caracterização de aplicação em elementos de alvenaria e de betão armado .....                                | 74  |
| <b>Quadro 3.10</b> – Classificação da fissuração em função da respetiva abertura.....  | 76  |
| <b>Quadro 3.11</b> – Níveis de severidade de fissuração (função da abertura). ....   | 77  |
| <b>Quadro 3.12</b> – Representação das vantagens e desvantagens do ensaio de resistência superficial mecânica de esclerómetro de <i>Schmidt</i> .....                                      | 87  |
| <b>Quadro 3.13</b> – Representação da relação entre máxima dimensão de agregado do betão a ensaiar e o comprimento de percurso de propagação de onda adotado no ensaio de ultra-sons. .... | 90  |
| <b>Quadro 3.14</b> – Relação entre a velocidade de impulso e a qualidade do betão.....   | 95  |
| <b>Quadro 3.15</b> – Representação das vantagens e desvantagens da utilização do equipamento de ultra-sons. ....   | 96  |
| <b>Quadro 3.16</b> – Representação da associação entre os níveis de resistividade e a probabilidade/possibilidade de corrosão de aço, em elementos de betão armado. ....                   | 102 |
| <b>Quadro 3.17</b> – Apresentação das escalas das fitas colorimétricas dos cloretos, nitratos e sulfatos .....   | 109 |
| <b>Quadro 3.18</b> – Requisitos de concentrações de sais em alvenarias e argamassas de assentamento em pasta....   | 109 |
| <b>Quadro 3.19</b> – Representação da associação das técnicas de diagnóstico utilizadas com as distintas fases de inspeção e diagnóstico de edifícios recentes. ....                       | 110 |

#### **4- Caso de estudo: Edifício e Aplicação do SIDER**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Quadro 4.1</b> – Representação dos parâmetros dimensionais resumo do edifício. ....                                    | 112 |
| <b>Quadro 4.2</b> – Representação das principais características métricas da totalidade de pisos do edifício. ....        | 113 |
| <b>Quadro 4.3</b> – Indicação do tipo de utilização da totalidade dos pisos do edifício. ....                             | 116 |
| <b>Quadro 4.4</b> – Representação da quantificação de grupos de classificação das anomalias verificadas no edifício. .... | 131 |
| <b>Quadro 4.5</b> – Síntese da informação dos oito grupos de anomalias consideradas no edifício. ....                     | 132 |
| <b>Quadro 4.6</b> – Representação da identificação e classificação das anomalias observáveis do edifício em estudo. ....  | 133 |
| <b>Quadro 4.7</b> - Classificação das anomalias em função da urgência de atuação .....                                    | 134 |
| <b>Quadro 4.8</b> - Classificação das anomalias em função da segurança estrutural / bem-estar das pessoas. ....           | 134 |
| <b>Quadro 4.9</b> - Classificação pseudo - quantitativa das anomalias em edifícios correntes .....                        | 134 |
| <b>Quadro 4.10</b> - Classificação tipo por grupo de prioridade de atuação. ....  | 135 |
| <b>Quadro 4.11</b> - Conjunto de técnicas de diagnóstico utilizadas no edifício em estudo. ....                           | 136 |
| <b>Quadro 4.12</b> – Classificação das causas das anomalias do grupo B. ....  | 137 |
| <b>Quadro 4.13</b> – Classificação das causas das anomalias do grupo A. ....  | 138 |
| <b>Quadro 4.14</b> – Classificação das causas das anomalias do grupo C. ....  | 139 |
| <b>Quadro 4.15</b> – Classificação das causas das anomalias do grupo D. ....  | 139 |
| <b>Quadro 4.16</b> – Classificação das causas das anomalias do grupo E. ....  | 140 |
| <b>Quadro 4.17</b> - Classificação das causas das anomalias do grupo F. ....  | 140 |
| <b>Quadro 4.18</b> - Classificação das causas das anomalias do grupo G.....   | 141 |
| <b>Quadro 4.19</b> - Classificação das causas das anomalias do grupo H.....   | 141 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Quadro 4.20</b> – Características físicas dos suportes de betão e de alvenaria de tijolo.....   | 143 |
| <b>Quadro 4.21</b> - Características físicas de revestimentos cerâmicos e pétreos .....  | 144 |
| <b>Quadro 4.22</b> – Descrição dos níveis de associação utilizados entre a correlação das anomalias e as respetivas causas prováveis.....  | 149 |
| <b>Quadro 4.23</b> – Matriz de correlação anomalias do grupo A. e as respetivas causas identificados do Grupo I - Caves.....   | 150 |
| <b>Quadro 4.24</b> – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas nos três pisos subterrâneos. ....  | 155 |
| <b>Quadro 4.25</b> – Descrição da concentração de cloretos e sulfatos nas sete amostras. ....  | 159 |
| <b>Quadro 4.26</b> – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no piso do rés-do-chão e no primeiro piso.....   | 166 |
| <b>Quadro 4.27</b> – Representação da medição de temperatura e da humidade relativa no segundo grupo de pisos. ....  | 174 |
| <b>Quadro 4.28</b> – Teores de humidade dos pilares evidenciados com anomalia G.2. e G.3., do segundo grupo de pisos. ....   | 177 |
| <b>Quadro 4.29</b> – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no segundo, terceiro e quarto piso. .  | 183 |
| <b>Quadro 4.30</b> – Representação dos teores de humidade obtidos na superfície de revestimento aplicado nos pilaretes de betão armado e em paredes exteriores de varandas do segundo piso. .... | 193 |
| <b>Quadro 4.31</b> - Resultados obtidos do ensaio com o Esclerómetro Schmidt do tipo N, no pilarete nº 2 do segundo piso.....  | 195 |
| <b>Quadro 4.32</b> – Valores de resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos, obtidos no pilarete nº 2. ....   | 195 |
| <b>Quadro 4.33</b> – Valores de temperatura e de humidade medidos na área de ensaio do Esclerómetro <i>Schmidt</i> , no pilarete nº2, do segundo piso.....                                       | 196 |
| <b>Quadro 4.34</b> – Representação dos teores de humidade obtidos aos pilaretes de betão armado e em paredes exteriores de varandas do sétimo piso. ....   | 211 |
| <b>Quadro 4.35</b> - Resultados obtidos do ensaio com o Esclerómetro Schmidt do tipo N no pilarete nº 1, do sétimo piso.....   | 212 |
| <b>Quadro 4.36</b> – Valores de resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos, obtidos no pilarete nº 1. ....   | 212 |
| <b>Quadro 4.37</b> – Valores de temperatura e de humidade medidos na área de ensaio do Esclerómetro <i>Schmidt</i> , no pilarete nº1, do sétimo piso. ....                                       | 213 |
| <b>Quadro 4.38</b> – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no oitavo e nono piso. ....  | 221 |



# 1 Introdução

## 1.1 Considerações preliminares

Em Portugal, nas últimas décadas, tem-se presenciado uma mudança de paradigma no sector da construção, que envolve a passagem de relevância da construção nova para a reabilitação em edifícios, tendo como primazia o aumento da vida útil dos edifícios existentes (Brito, 2009). Tal circunstância tornou-se numa prática aplicável não só ao património tradicional, mas também ao património recente, no qual têm surgido anomalias precoces de carácter construtivo e funcional.

Na realidade, tem-se assistido à degradação do parque habitacional recente e ao envelhecimento precoce dos seus elementos constituintes. A incoerência dos projetos e de controlo em obra, a velocidade exigida ao processo de construção, a aplicação de técnicas construtivas inovadoras e de materiais de fraca qualidade, assim como a utilização da sistemática de mão-de-obra não qualificada, têm vindo a reduzir a qualidade e eficiência das construções contemporâneas.

A não utilização de um sistema de inspeção e diagnóstico, anterior às atividades de intervenção, acaba por comprometer, a longo prazo, o desempenho espectável dos edifícios em questão. Segundo Aguiar *et al.* (2006); Ribeiro & Córias (2003), uma vez detetada a existência de anomalias num edifício, para se garantir que a intervenção de reparação seja eficaz, torna-se fundamental conhecer as causas e mecanismos em presença, para que seja possível estabelecer as condições essenciais à determinação das respetivas soluções, sejam elas de natureza corretiva ou preventiva.

Visto que o modo como se procede à reabilitação, na generalidade das construções, é um factor chave na sustentabilidade das mesmas, torna-se imprescindível a correta interpretação de anomalias, alicerçada por meios de diagnóstico objetivos e adequados, tendo em vista o aumento significativo dos padrões de qualidade e de eficiência energética futura dos potenciais edifícios intervencionados (Amaral & Henriques, 2013). Todavia, os processos de inspeção e diagnóstico de edifícios tornam-se bastante subjetivos, influenciando, inadequadamente, as posteriores decisões relativas às medidas de intervenção a desenvolver (Aguiar *et al.*, 2006).

Assim sendo, pretende-se, no presente trabalho, realçar a grande importância que a aplicação de uma correta e estrutural metodologia da inspeção de diagnóstico têm sobre a reabilitação/manutenção de edifícios, mais concretamente no edificado contemporâneo. Como tal ir-se-á apresentar e analisar os trabalhos de inspeção e diagnóstico realizados num edifício recente de escritórios, em Lisboa, o qual apresenta significativas anomalias a nível construtivo e funcional. O sistema de inspeção e diagnóstico, empregue no edifício em análise, caracteriza-se pela objetividade, simplicidade e coerência da informação progressivamente recolhida, onde se promoveu a identificação e classificação das anomalias, das causas que potenciam o seu desenvolvimento e dos meios de diagnóstico utilizados.

O desenvolvimento de sistemas e métodos de inspeção e diagnóstico na generalidade dos elementos construtivos de edifícios é um factor extremamente relevante e imprescindível na evolução da especialidade de engenharia civil. Tais processos revelam-se ser um pequeno contributo no que diz

respeito à preservação dos edifícios, proporcionando o equilíbrio entre o que é socialmente desejável, economicamente exequível e ecologicamente viável.

## 1.2 Enquadramento geral

Os conceitos de degradação (perda de desempenho), vida útil (duração do ciclo de vida), assim como ações de manutenção, inspeção e consequente diagnóstico encontram-se diretamente interligados e são cruciais para caracterizar o desempenho em serviço da generalidade dos edifícios e dos seus elementos constituintes. Por conseguinte, estes conceitos serão descritos seguidamente, tendo como base a tipologia de edificados em análise (edifícios recentes).

### 1.2.1 EDIFÍCIOS RECENTES

Os edifícios são construções que testemunham o saber, a capacidade técnica e a sensibilidade de quem os concebeu, materializando na sua forma e função o meio histórico – cultural em que foi projetado (Brito *et al.*, 1994). De facto, é notório o desenvolvimento que o património edificado existente em Portugal tem vindo atingir, ao longo dos tempos, desde do aparecimento dos primeiros edifícios até à construção contemporânea.

Essencialmente, a partir dos anos sessenta do século XX, registou-se em Portugal um acelerado processo de urbanização e um intenso ritmo de construção de nova habitação. Esta época construtiva é caracterizada por uma acentuada dispersão na variedade dos edifícios construídos, no que diz respeito à altura, à implantação e às soluções construtivas e estruturais aplicadas. São os edifícios que correspondem à génese e implementação dos regulamentos ao nível do betão armado e da construção (Oliveira & Cabrita, 1985), designados por edifícios recentes, onde a totalidade da estrutura resistente é constituída, exclusivamente, por betão armado (**Fig. 1.1**).



**Figura 1.1** - Exemplo de um edifício recente na zona da Lapa, Lisboa.

Nesta época, o sistema construtivo usado passou a ser a estrutura em pórtico de betão armado, sendo as lajes aligeiradas ou maciças em betão armado e as vigas e os pilares que constituíam pórticos, numa ou duas direções, dando apoio às lajes e transmitindo as cargas às fundações que normalmente eram constituídas por sapatas isoladas em betão armado (Costa, 2012 citando Sampaio *et al.*, 1992). A generalidade da estrutura em pórtico é normalmente preenchida com painéis duplos de alvenaria no exterior e paredes divisórias também em alvenaria de tijolo.

Outros detalhes construtivos, particulares desta tipologia de edifícios, encontram-se associados à utilização de elementos verticais de rigidez elevada (provindo do aumento do número de pisos) e à implementação de estruturas pré-fabricadas, nos mesmos. Porém, foi nos pavimentos, que surgiram as maiores inovações construtivas (lajes pré-fabricadas por vigotas ou nervuradas), procurando-se evidenciar a versatilidade, a simplicidade e a economia nas suas implementações, assim como a obtenção de um maior controlo da qualidade e de um melhor comportamento acústico, na generalidade das estruturas em questão.

Relativamente a conceitos regulamentares, o século XX conduziu a grandes inovações, no que diz respeito ao dimensionamento das estruturas, face às ações sísmicas (**Quadro 1.1**), e à implantação de normas e/ou regulamentos de betão e do aço, aplicados no betão armado. Será importante referir, que na década de 70, constatou-se uma mudança total no dimensionamento das estruturas, devendo-se ao desenvolvimento dos métodos de cálculo automático (Costa, 2012).

**Quadro 1.1** - Evolução da regulamentação estrutural em Portugal (adaptado de Pipa, 2006).

| Regulamentos/Normas   | Observações   |
|---|---|
| <b>RSEP-61/71</b><br>Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes                  | Reúne num documento único as disposições sobre as solicitações a considerar no dimensionamento das estruturas de edifícios e pontes.  |
| <b>REBA-67/76</b><br>Regulamento de Estruturas de Betão Armado                          | Contém regras gerais a aplicar no projeto e construção de estruturas de betão armado, e em especial a edifícios.<br>É introduzido o conceito de verificação da segurança em relação a estados limites, em substituição do critério tradicional, baseado em de tensões de segurança. |
| <b>RSA-83</b><br>Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes | Atualiza a regulamentação portuguesa relativa a estruturas de edifícios e pontes, harmonizando-a com as modernas tendências internacionais.   |
| <b>REBAP-85</b><br>Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado            | Revoga o REBA-67, compatibilizando o projeto de estruturas de betão com a filosofia de segurança consignada pelo RSA-83.  |
| <b>Eurocódigos:</b><br>Foram publicadas entre 1998 e 2002, 17 Normas Portuguesas (NP).  | Os Eurocódigos Estruturais são documentos de referência, destinando-se a comprovar a conformidade dos edifícios e das obras de engenharia civil com requisitos essenciais estabelecidos na DPC, designadamente resistência mecânica e estabilidade e segurança em caso de incêndio. |

De facto, o surgimento do betão armado revolucionou os processos construtivos dos edifícios, devendo-se essencialmente à sua característica moldável, a qual permite realizar qualquer forma que a fantasia imagine (Appleton, 2003). Porém, devido à natural degradação do betão, assim como à ação dum meio ambiente progressivamente mais agressivo (Cóias & Ribeiro, 1994), é cada vez mais consensual a implantação de trabalhos de reforço, de inspeção (de acordo com o Decreto-Lei n.º 349-C/83 de 30 de Julho, a periodicidade das inspeções é variável de 1 a 10 anos, consoante o tipo de estrutura), de manutenção e de reparação nestas tipologias de estruturas (Vieira, 2012).

## 1.2.2 DEGRADAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO RECENTE

A dinâmica de construção, que se registou nas últimas décadas, fez com que uma parte muito significativa do parque edificado português torna-se relativamente jovem, onde a maioria dos edifícios

possuem estrutura de betão armado. Contudo, como consequência destas construções em larga escala, originou-se um decréscimo na qualidade construtiva e um agravar de situações patológicas nas construções referidas (Costa, 2012 citando Sampaio *et al.*, 1992).

Na verdade, e pela análise dos valores do recenseamento elaborado em 2011 (INE, 2012), verifica-se um aumento de 3,02% de edifícios recentes que carecem de trabalhos de reparação, em comparação com valores recolhidos no ano de 2001. Tal facto evidencia-se mais nas grandes metrópoles do país, onde na cidade de Lisboa, cerca de 21% dos edificadas que necessitam de intervenção, encontram-se associados a edifícios com idade inferior a trinta anos (idade semelhante ao edifício em estudo).

A presente situação deve-se à perda de desempenho das construções, traduzida na incapacidade dos edifícios acolherem os usos para os quais foram projetados ou na existência de problemas, avarias ou falhas (Madureira, 2011 citando Gaspar, 2009). Assim sendo, será fulcral a implementação de processos intervencionais na generalidade dos edifícios, incluindo os edifícios recentes, como tentativa de recuperar a sustentabilidade dos mesmos.

### **1.2.3 VIDA ÚTIL (*SERVICE LIFE*)**

A vida útil é o período de tempo, após a construção, no qual o edifício ou os seus elementos igualam ou excedem as exigências mínimas de desempenho (Flores-Colen & Brito, 2003 citando ISO/DIS, 1998). Segundo Haapio & Viitaniemi (2008), uma construção encontra-se no seu período de vida útil, enquanto for capaz de responder às necessidades objetivas e subjetivas do utilizador, dentro dos limites considerados aceitáveis de custo e sem prejuízos para terceiros.

Existem vários estudos no sentido de aumentar a vida útil dos novos edifícios, prolongar os intervalos de manutenção e melhorar as condições em serviço dos edifícios existentes (Flores-Colen & Brito, 2003 citando KUS, 2002). Em igualdade de circunstâncias, têm-se desenvolvido métodos de previsão da vida útil, os quais necessitam de definir, inequivocamente o fim da vida útil (Gaspar & Brito, 2009).

O fim da vida útil de uma construção define-se como o ponto no tempo em que esta deixa de poder assegurar as atividades que nela se desenvolvem, por obsolescência funcional, falta de rentabilidade económica ou degradação física das suas camadas hierarquicamente mais determinantes (Silva, 2009 citando Gaspar, 2002). Porém, o fim da vida útil é influenciado pelos critérios de segurança, funcionalidade e aparência, onde a segurança é um critério indispensável, possuindo por isso um nível de exigência superior ao dos outros critérios (Chai, 2011 citando Moser, 1999).

Segundo Flores-Colen (2008) o desempenho em serviço dos elementos do edifício pode ser afetado pela obsolescência, para além da degradação física. Assim sendo, a obsolescência é definida como a perda de capacidade que um elemento tem em satisfazer as mudanças de desempenho requeridas (Madureira, 2011). Contudo, o desempenho global de um edifício encontra-se influenciado pelo modo como os seus respetivos constituintes se relacionam entre si, com os utilizadores e com os ambientes interno e externo (Bragança & Mateus, 2011). Como tal, para que um edifício se apresente com um bom nível de satisfação será necessário que todos os elementos (subsistema, componentes, produtos e materiais) sejam mantidos nas melhores condições de desempenho (Flores-Colen, 2008).

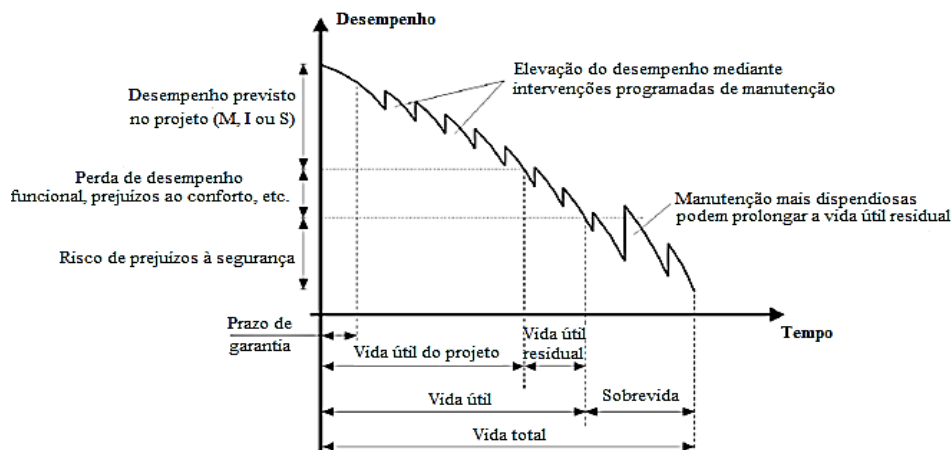
Nos últimos anos, têm surgido a nível internacional inúmeras normas e regulamentos com o intuito de estabelecer metodologias que permitam avaliar a durabilidade das edificações (Silva *et al.*, 2011), a fim de tornar os investimentos mais rentáveis, permitindo uma correta seleção do uso e manutenção das mesmas (Chai, 2011 citando Masters *et al.*, 1987).

#### 1.2.4 INFLUÊNCIA DA INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E DIAGNÓSTICO NO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS

O processo de envelhecimento dos componentes dos edifícios é inevitável. No entanto, a taxa associada a processo de degradação pode ser regularizada através da execução de ações periódicas de intervenção (Flores-Colen, 2008), na fase de utilização dos edificadados. Tais intervenções encontram-se relacionadas às atividades de manutenção e de inspeção em edifícios, assim como aos processos de diagnóstico de anomalias, presenciadas nos mesmos.

Na realidade, quando os edifícios são alvo de atividades de intervenção regulares (manutenção, inspeção e diagnóstico de anomalias), prolonga-se, de uma forma evidente, a durabilidade dos elementos construtivos intervencionados, proporcionando um aumento no período de vida espectável dos edificadados em questão (**Fig. 1.2**), e por consequência previne-se roturas e problemas associados.

Segundo ISO 15686-1 (2000a), o conceito de manutenção é definido como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas de modo a que o edifício e seus elementos desempenhem, durante a vida útil, as funções para as quais foram concebidos” (Flores-Colen, 2008). Estas ações são realizadas no sentido de antecipar ou corrigir a rotura dos elementos, passando a designar-se, respetivamente, por manutenção pró-ativa ou reativa (Flores-Colen, 2003).



**Figura 1.2** - Desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo (Flores-Colen, 2008 citando ABNT, 2004).

Cada estratégia de manutenção pode englobar vários tipos de intervenção, como sejam: limpezas, inspeções, reparações ou substituições locais e tratamentos de proteção de superfície (Flores-Colen & Brito, 2003 citando Flores-Colen, 2002). Porém, as intervenções mais ligeiras incluem as ações correntes de manutenção e reparações ocasionais, onde em circunstâncias de níveis de degradação superiores recorre-se à execução de intervenções mais profundas, que prolongam, significativamente, o ciclo de vida do edifício / elemento (reabilitação, renovação, reconstrução) (Flores-Colen, 2008).

A finalidade das inspeções periódicas consiste em averiguar a necessidade de intervenção das ocorrências anómalas, examinando as eventuais disfuncionalidades e o envelhecimento real de todos os elementos (Flores-Colen & Brito, 2012 citando Flores-Colen, 2008). Como tal, a inspeção tem como finalidade a recolha de informação relativa ao estado de degradação do edifício, de forma a impedir a evolução das anomalias detetadas, pela adoção de medidas de atuação adequadas a cada anomalia (Cordeiro, 2011 citando Sousa, 2003). De facto, a inspeção é a fase de ligação entre a utilização e a manutenção (Leite, 2009), definindo o planeamento das operações de manutenção em edifícios (determinando onde, como e quando realizar operações de manutenção).

Porém, em circunstâncias de manifestações de anomalias, será crucial compreender as proveniências das ocorrências antes da execução de atividades de reparação. O conceito de diagnóstico encontra-se associado ao conjunto de procedimentos destinados a garantir o justo conhecimento acerca de um edifício ou estrutura, incluindo a avaliação do seu estado de conservação e segurança e a determinação das causas das anomalias observadas (Ferreira, 2010 citando Appleton, 2002).

Assim sendo, poder-se-á concluir, que o estabelecimento de um plano de diagnóstico proporciona, a longo prazo, um leque de vantagens para os atuais e futuros proprietários, visto que os mesmos conseguirão obter conhecimento das causas/origens, como também dos efeitos das anomalias, podendo optar pelas medidas de estratégia de intervenção mais ajustadas para cada situação anómala (simplificando as decisões de estratégia de intervenção e otimizando os custos associados).

### **1.3 Objetivos e metodologia da dissertação**

Com a recente mudança de comportamentos de construção, a necessidade de inspecionar e diagnosticar as anomalias existentes em edifícios correntes levou à criação de procedimentos normalizados que permitam reduzir a subjetividade geralmente associada a estas tarefas (Brito, 2009).

De facto, o processo de diagnóstico é considerado a tarefa mais complexa e imprecisa de todo o ciclo de vida de um edifício, apesar dos avanços científicos e tecnológicos que auxiliam as suas várias fases (Silvestre, 2005). Tal circunstância, em conjunto com a complexidade no estabelecimento de relações biunívocas entre os efeitos e as anomalias, a complexidade dos elementos construtivos, e a quase impossibilidade em reconstituir a fase de execução, dificultam significativamente a obtenção de um coerente diagnóstico das ocorrências anómalas, em edifícios.

Foi na defesa desta abordagem que o presente trabalho foi construído, acreditando que só o conhecimento aprofundado das características dos materiais e da tecnologia construtiva subjacentes aos edifícios recentes e a implementação de metodologias rigorosas de observação, registo e análise das anomalias permitem a reparação destas e a eliminação das respetivas causas prováveis da sua ocorrência, bem como a prevenção de idênticos processos patológicos.

Porém, a dificuldade principal num processo de análise de fenómenos patológicos encontra-se associada à quantidade elevada de parâmetros que é possível reunir, e por consequência analisar, onde a sistematização de informação recolhida é um factor chave na obtenção de um diagnóstico preciso e coerente de ocorrências.

Como tal, o principal objetivo desta dissertação consiste em apresentar e analisar os trabalhos de inspeção e diagnóstico realizados às diversas circunstâncias de anomalias (de carácter construtivo e funcional) presenciadas num edifício recente, de doze andares, em Lisboa (descrito em § 4.2). Para tal, desenvolveu-se um sistema de inspeção e diagnóstico, em edifícios recentes (SIDER) baseado na identificação, registo, classificação das anomalias evidenciadas, assim como das suas respetivas causas e técnicas de diagnóstico associadas, tendo como modelo o edifício em estudo.

Na verdade, desenvolver as atividades de inspeção e de diagnóstico em grandes superfícies, como é o caso de um edifício recente (constituído por um conjunto enorme de materiais, tecnologias e processos), torna-se num método bastante subjetivo, envolvendo um aumento significativo na complexidade, discrepância e hesitação das fases de recolha de informação e de obtenção de diagnósticos. Como tal, a metodologia que foi aplicada, no caso de estudo, teve como particularidades fundamentais a objetividade, a sistematização e a organização do estabelecimento e análise das relações entre as anomalias, causas, efeitos, materiais e técnicas de diagnóstico. A estrutura do sistema criado encontra-se em §4.3, do presente trabalho (**Fig. 4.24**).

Assim sendo, poder-se-á dividir os objetivos do presente trabalho em duas etapas (**Fig. 1.3**). Na primeira etapa pretende-se analisar/investigar as anomalias mais comuns nos edificadas contemporâneos, procurando compreender as suas respetivas causas, através do levantamento e aprofundamento de métodos/sistemas auxiliares de inspeção e de técnicas inovadoras de diagnóstico, cuja aplicação seja apropriada aos edifícios recentes. Após o entendimento sobre a patologia na construção contemporânea, assim como as diretrizes de inspeção e diagnóstico mais adequadas a cada ocorrência anómala, na segunda etapa, ir-se-á analisar as anomalias do edifício em estudo, tendo como base a metodologia aplicada no SIDER. Como tal as principais etapas a concretizar no sistema de inspeção e diagnóstico proposto e aplicado no edifício em estudo encontram-se associadas à:

1. Recolha de informação referente ao edifício em estudo:
  - a. Recolha de documentos de projeto, de especialidades e de alteração;
  - b. Inquérito a utentes;
  - c. Levantamento e caracterização da construção e da envolvente.
2. Realização de inspeção-geral ao edifício e às situações anómalas evidenciadas:
  - a. Através do levantamento fotográfico e videográfico;
  - b. Realização de sondagens (furos) em paredes exteriores do edifício;
  - c. Mapeamento de anomalias, em cada piso do edifício.
3. Classificação e identificação das anomalias a analisar:
  - a. Sistema de identificação e caracterização qualificativa das ocorrências;
  - b. Classificação das anomalias tendo como base a urgência de intervenção/reparação.
4. Realização de meios/técnicas de diagnóstico, às anomalias analisadas:
  - a. Seleção de meios de diagnóstico a utilizar, consoante as particularidades das anomalias, assim como a localização das mesmas;
  - b. Utilização de meios simples (inspeção visual) e de técnicas de diagnóstico complexas;
  - c. Mapeamento das técnicas de diagnóstico realizadas, em cada piso do edifício.
  - d. Registo, análise e correlação de resultados.
5. Obtenção de um diagnóstico das situações anómalas:

- a. Atribuição de níveis de correspondência entre as causas consideradas e as anomalias evidenciadas, tendo como base o sistema de identificação de anomalias;
  - b. Elaboração de matrizes de correlação entre causas e anomalias.
6. Elaboração de fichas de anomalias avaliadas;
7. Validação do sistema aplicado, através do tratamento estatístico de resultados:
- a. Frequência de observação de anomalias;
  - b. Frequência de utilização de técnicas de diagnóstico;
  - c. Frequência de associação entre causas e ocorrências anómalas.

Em suma, pretende-se com aplicação da metodologia do sistema proposto (SIDER), simplificar e objetivar as atividades de inspeção e diagnóstico na generalidade dos componentes construtivos presentes em edifícios contemporâneos, permitindo conhecer as frequências de observação das situações anómalas e de utilização de técnicas de diagnóstico (posteriormente realizadas), assim como compreender as possíveis causas associadas aos desencadeamentos de anomalias consideradas. Como tal, ambiciona-se a concretização de um modelo que se adapte a edificações reais, disponibilizando informações e resultados sistematizados, práticos e facilmente inteligíveis.

## 1.4 Organização da dissertação

O presente trabalho encontra-se organizado em seis capítulos, dividido em duas etapas, conforme a **Figura 1.3**.

O capítulo 1 constitui a introdução da dissertação, no qual se fazem algumas considerações iniciais acerca do âmbito da mesma, referindo a importância da aplicação de sistemas de inspeção e diagnóstico face à obtenção da sustentabilidade dos edifícios contemporâneos. Neste capítulo, descreve-se, ainda os objetivos e a metodologia simplificada do sistema de inspeção e diagnóstico, proposto no trabalho.

O capítulo 2 é composto pela identificação, descrição e classificação das distintas anomalias evidenciadas na generalidade dos edifícios recentes, assim como as respetivas causas associadas a tais ocorrências, tendo como base a consulta da literatura da especialidade associada aos diferentes tipos de elementos construtivos, como também os respetivos tipos de revestimentos contemplados nos mesmos.

No 3º capítulo, foi realizado um levantamento do estado da arte relativamente à concretização de trabalhos de inspeção e diagnóstico em edifícios recentes. Como tal, primeiramente apresenta-se um conjunto restrito de sistemas de inspeção e diagnóstico utilizados e adotados em diversos componentes construtivos de edifícios, assim como de métodos de identificação e de diagnóstico de anomalias na construção. Porém serão abordados, igualmente, metodologias de realização de diagnóstico de anomalias, assim como a apresentação das técnicas de diagnóstico utilizadas na generalidade dos edifícios recentes (inspeção visual, ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais), descrevendo e analisando, minuciosamente, as técnicas de diagnóstico utilizadas no edifício em estudo.

O capítulo 4 caracteriza-se pela apresentação e descrição dos procedimentos realizados durante as sucessivas inspeções e consequentes diagnósticos das diversas situações anómalas, presenciadas no edifício em estudo (tendo como base a metodologia do SIDER). Como tal, para além da descrição do

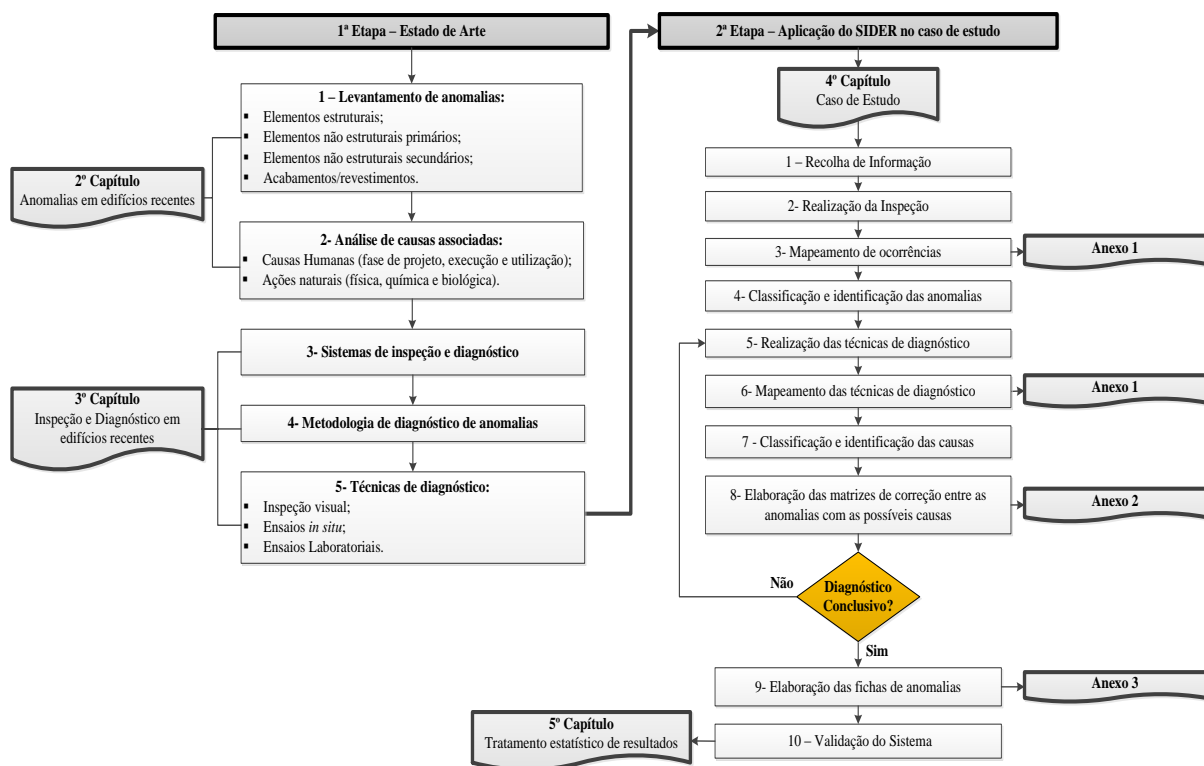
edifício, estabeleceu-se a identificação, a classificação e a quantificação das anomalias evidenciadas e das possíveis causas que potenciam o seu desenvolvimento, assim como a identificação das técnicas de diagnóstico realizadas, nos cinco grupos de pisos considerados.

Em complemento, no 5º capítulo apresenta-se o tratamento estatístico completo dos dados provindos dos trabalhos de inspeção e diagnóstico, realizados no edifício em estudo, do qual foi possível retirar algumas conclusões de interesse sobre os fenómenos anómalos e as suas possíveis causas, assim como as técnicas de diagnóstico realizadas.

O capítulo 6 inclui as conclusões do trabalho desenvolvido e a análise dos objetivos iniciais e das metas atingidas, resumindo-se as características principais do trabalho realizado e propondo-se domínios de investigação a desenvolver no futuro.

Por sua vez, nas referências bibliográficas são indicados todos os documentos que serviram de referência à elaboração da presente dissertação.

Nos anexos apresentam-se dados relevantes para a elaboração do presente trabalho que não foram inseridos no corpo de texto do mesmo. Como tal, no **Anexo 1.**, apresenta-se o mapeamento das anomalias evidenciadas e das técnicas de diagnóstico realizadas, através da divisão dos pisos por zonas (descrito em §4.3.1); no **Anexo 2.**, apresenta-se as matrizes de correlação entre as anomalias e as possíveis causas (descrito em §4.3.4.2), para os cinco grupos de pisos considerados (**Anexo 2.I**, **Anexo 2.II**, **Anexo 2.III**, **Anexo 2.IV** e **Anexo 2.V**); por fim, no **Anexo 3.**, encontram-se as fichas de anomalias avaliadas (descrito em §4.3.4.3), apresentadas no 4º capítulo.



**Figura 1.3** - Fluxograma geral com a metodologia seguida, dividida pelos capítulos principais (excluindo o primeiro capítulo, referente à introdução e o sexto capítulo, referente às conclusões).



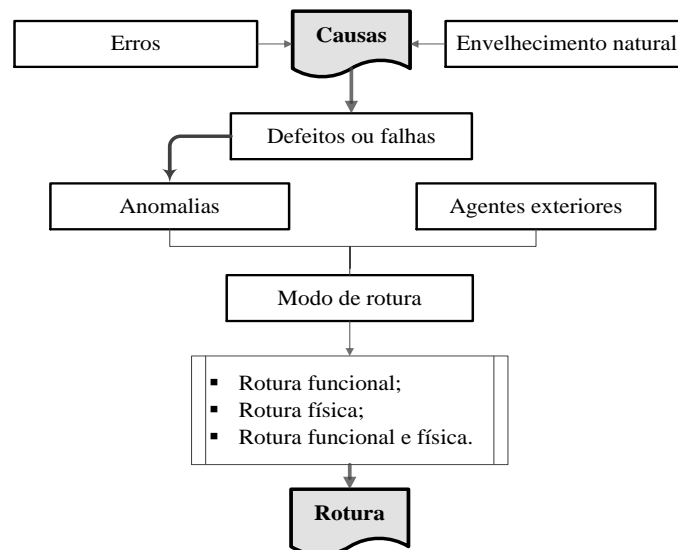
## 2 Anomalias em Edifícios Recentes

### 2.1 Introdução

Uma área da construção civil, que tem vindo a desenvolver-se, significativamente, ao longo dos tempos é a Patologia. Etimologicamente, a palavra patologia tem origem em duas palavras gregas, respetivamente, *pathos* (doença) e *logos* (ciência) (Ferreira, 2010 citando Calejo, 2001), encontrando-se associada à ciência que compreende as anomalias e as suas respetivas causas/origens que poderão surgir num edificado, após a sua concretização.

Durante a execução de qualquer obra, ou durante a vida útil da mesma, é frequente observarem-se fenómenos anómalos que podem condicionar o desempenho estético ou funcional dos materiais constituintes (Garcia, 2006). Na realidade, essas mesmas anomalias podem ter implicações na funcionalidade do edifício ou na segurança estrutural (Ribeiro & Córias, 2003).

O conceito de anomalia, no âmbito da patologia da construção, encontra-se associado a uma disfunção, ou seja, uma não satisfação das exigências funcionais inicialmente estabelecidas para um dado elemento ou componente construtivo, como consequência de determinada causa (Ferreira, 2010 citando Lopes, 2005). De facto, a ocorrência de uma dada anomalia em edifícios em serviço, poderá, em circunstâncias extremas, provocar a rotura dos mesmos, isto é, em dadas condições evidenciar-se a incapacidade do edifício ou dos seus elementos de desempenharem os requisitos especificados no projeto (Flores-Colen, 2008 citando Wardhana & Hadipiono, 2003). Na **Figura 2.1**, poder-se-á observar o processo de deterioração em edifícios e seus elementos.



**Figura 2.1** - Processo de deterioração de edifícios e seus respetivos elementos (Flores-Colen, 2008 citando CIB, 1993b).

De uma maneira geral, tal processo (**Fig. 2.1**) caracteriza-se pelas causas para a degradação (que podem ser o envelhecimento natural ou erros associados às diferentes fases do processo construtivo que originam defeitos), pelos agentes exteriores de degradação e pelos sintomas deste processo (anomalias), os quais podem progredir até à rotura (funcional e/ou física), afetando o desempenho

(Flores-Colen, 2008). Porém, em circunstâncias mais complexas, considera-se que uma ocorrência anômala resulta de um conjunto de manifestações associadas a uma determinada cadeia de relações causa-efeito que lhe está subjacente (Sousa, 2004).

Tendo em consideração o incremento significativo do surgimento de anomalias em edifícios, principalmente em edificadados recentes, o estudo da patologia na construção tem-se evidenciado cada vez mais imprescindível, no que diz respeito ao conhecimento da (s) causa (s) que se encontram associadas às ocorrências anômalas. Na realidade, tem-se constatado que as anomalias provindas de erros ou omissões no projeto e na fase de construção ocorrem, com maior incidência, em obras recentes (Ribeiro & Cóias, 2003).

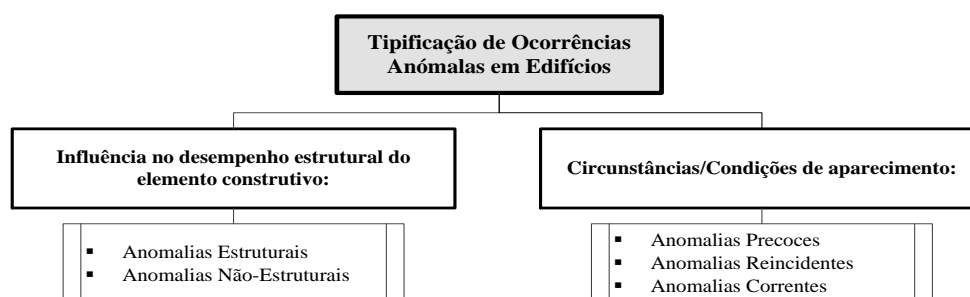
Assim sendo, o presente capítulo tem como principal finalidade apresentar as anomalias mais frequentes nos edificadados recentes, sistematizando segundo os diversos e distintos elementos construtivos, como também os respetivos tipos de revestimentos contemplados nos mesmos. Em igualdade de circunstâncias, ir-se-á identificar as causas associadas ao aparecimento das situações anômalas, tendo em conta sua tipologia (origem humana e não humana).

## 2.2 Classificação e tipificação de anomalias

De acordo com a comissão técnica 104-DCC, do RILEM, existe cinco formas distintas de classificar as anomalias dos edifícios recentes, tendo como base os seguintes critérios (Cóias, 2006):

- Grau de deterioração;
- Local da construção onde as ocorrências anômalas se manifestam;
- Origem de deterioração (fase do projeto e de conceção, de execução ou de utilização);
- Período de vida da construção que a anomalia surge;
- Mecanismo de deterioração.

No que diz respeito à tipificação de uma dada anomalia poder-se-á considerar o modo como esta influência o desempenho estrutural de um dado elemento construtivo, como também as circunstâncias do aparecimento da mesma (**Fig. 2.2**).



**Figura 2.2** - Critério de tipificação de ocorrências anômalas em edificadados (adaptado de Flores-Colen & Brito, 2003; Lopes, 2005; Madureira, 2011).

A forma como a anomalia afecta o desempenho estrutural de um dado elemento construtivo é bastante crucial no que diz respeito à sua identificação, caracterização e até à escolha do meio de intervenção a aplicar na mesma. As anomalias de índole estrutural têm especial relevância na medida em que denunciam um comportamento deficiente da estrutura ou seus componentes, pelo que a sua

deteção atempada é fundamental para a tomada de decisão quanto à implementação de medidas corretivas urgentes (Ribeiro & Córias, 2003). Segundo Aguiar *et al.* (2006), nas situações de anomalias estruturais, torna-se bastante complexo estabelecer a enumeração completa e a respetiva hierarquização da conjugação das diversas causas associadas à referida tipologia da ocorrência evidenciada. Contudo, no que se refere a anomalias de caráter não estrutural, a segurança da estrutura de elementos construtivos não se encontra comprometida, mas sim as exigências funcionais dos mesmos. Como tal esta tipologia de anomalias acaba por influenciar, de uma forma menos satisfatória, a utilização normal dos respetivos componentes construtivos, durante o seu respetivo período de vida útil. No entanto, caso não sejam implementadas, atempadamente, medidas corretivas, o desempenho estrutural poderá vir a ser seriamente afetado (Ribeiro & Córias, 2003).

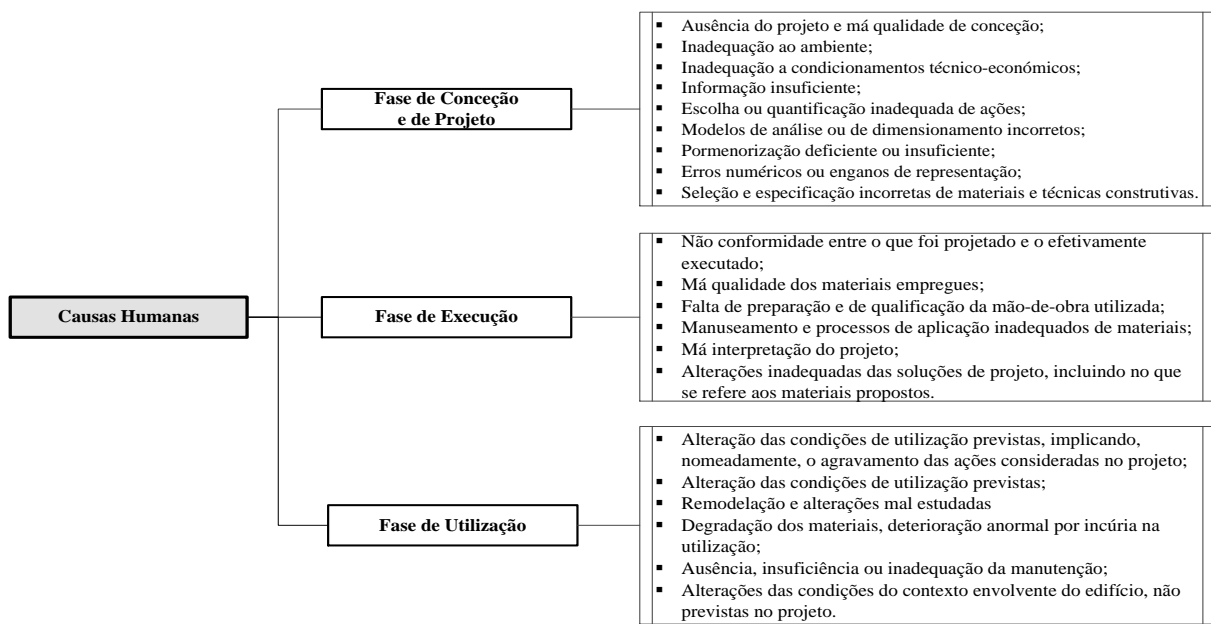
Relativamente às condições de aparecimento das situações anómalas, poder-se-á classificar de três formas distintas: anomalias precoces, anomalias reincidentes, anomalias correntes (Lopes, 2005). As anomalias precoces são caracterizadas pelo seu surgimento demasiado precoce nos edifícios, muito antes do período estimado face às características previsíveis dos materiais e elementos da construção (Appleton, 1994). Como tal, na sua generalidade, esta tipificação de anomalias não é derivada do envelhecimento expectável e “legítimo” dos materiais aplicados (Appleton, 1994), encontrando-se, na sua generalidade, associadas a deficiências ao nível da conceção e projeto e da fase de execução de edifícios recém-construídos.

No que diz respeito às anomalias reincidentes, esta tipificação de ocorrências anómalas encontra-se caracterizada pelo seu reaparecimento constante, após um deficiente meio de intervenção de reparação (Ferreira, 2010). Tal facto surge, essencialmente, devido à inexistência ou à inadequação das técnicas de diagnóstico utilizadas. Por fim, todas as anomalias que não se inserem nas tipificações mencionadas anteriormente são consideradas anomalias correntes (Lopes, 2005).

## 2.3 Causas das anomalias

Na sua generalidade, as ocorrências anómalas podem apresentar diversos aspetos, encontrando-se conjugadas a vários fatores adversos, conjugação essa que pode dar-se simultaneamente no tempo ou surgir na sequência da acumulação de efeitos, provocando ou acentuando o processo de degradação (Aguiar *et al.*, 2006). Como tal, poder-se-á constatar que não persiste uma metodologia, procedimento ou até mesmo uma conduta corrente para se determinar e compreender as origens/causas de uma dada anomalia, tendo a perceção que cada ocorrência é uma caso particular, devendo a mesma ser analisada como tal.

No que diz respeito à classificação das causas/origens das anomalias da construção de edifícios, poder-se-á realizar da seguinte forma: causas de anomalias com origem humanas e causas de anomalias não humanas. Segundo Aguiar *et al.* (2006), o factor humano pode ser dos mais importantes, mesmo o primordial, no aparecimento e no desenvolvimento de anomalias na construção. Como tal, as ocorrências anómalas provindas de erros humanos são caracterizados pela sua imensa diversidade, encontrando-se inseridas nas três fases do processo de construção de um dado empreendimento (**Fig. 2.3**).



**Figura 2.3** - Quantificação das causas de anomalias em edifícios habitacionais de origem humana (Aguiar *et al.*, 2006).

Para além das causas com origem humana, as anomalias poderão ocorrer devido a outra natureza de origem, que poder-se-á classificar em ações naturais, em desastres naturais e em desastres devidos a causas humanas imprevisíveis. Relativamente às ações naturais, poderão ser caracterizadas como causas correntes, vulgares, onde o seu grau de incidência depende das condições a que os edificados se encontram sujeitos. Como tal, as ações naturais poderão ser divididas em três distintos grupos (Físicas, Químicas e Biológicas), como poder-se-á observar na **Figura. 2.4**.

No que diz respeito aos desastres naturais são ações que têm origem em causas naturais (sismo, ciclone, avalanche, trovoadas, erupção vulcânica, tsunami, etc.) mas com um maior grau de intensidade (comparativamente às ações naturais). Estes tipos de acontecimentos são caracterizados pela sua rara ocorrência, contudo quando se manifestam as suas respetivas consequências e efeitos são bastante graves.

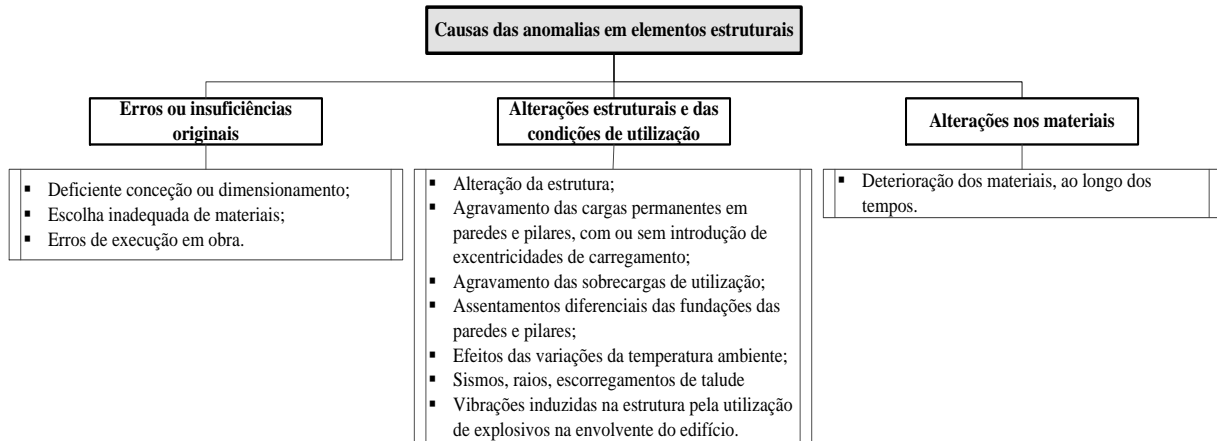


**Figura 2.4** - Classificação das causas naturais, que poderão suscitar ocorrências anómalas (Aguiar *et al.*, 2006).

Por fim os desastres imprevisíveis, provindos de causas humanas, encontram-se associados à responsabilidade humana (fogo, explosão, choque, inundação, etc.), ocorrendo a hipótese de diminuir os riscos de acontecimento associado, através da implementação de medidas cautelares.

## 2.4 Anomalias estruturais

As ocorrências anómalas de carácter estrutural poderão estar associadas a eventuais alterações das condições de utilização, à deterioração e à inadequação de materiais aplicados, assim como à deficiente conceção e à desajustada utilização de técnicas construtivas (**Fig. 2.5**).



**Figura 2.5** - Representação das causas que suscitam o aparecimento de anomalias em elementos estruturais (Aguiar *et al.*, 2006).

Importará referir, que as alterações estruturais e das condições de utilização em edifícios encontram-se relacionadas com todas as ações, que intencional ou acidentalmente, levam ao acréscimo de esforços por parte da estrutura principal dos edifícios, e como tal, é recomendável a realização de um reforço da estrutura original dos mesmos.

### 2.4.1 FUNDAÇÕES

No que diz respeito às situações anómalas associadas às fundações e/ou infraestruturas abaixo do nível do solo são caracterizadas, essencialmente, por movimentos nos elementos de suporte (Aguiar *et al.*, 2006). Tais movimentos poderão ser providenciados da estrutura do edifício sobre o terreno de fundação, como também de alterações nas circunstâncias da envolvente do edifício e no terreno circundante de fundação (**Fig. 2.6**).



**Figura 2.6** - Representação das principais causas para o surgimento de anomalias em fundações e em infraestruturas (Aguiar *et al.*, 2006).

As consequências destas movimentações, no comportamento estrutural do edifício encontram-se influenciadas, fundamentalmente, pela capacidade de deformação da estrutura, onde se poderá constatar que os esforços desenvolvidos são proporcionais à rigidez dos elementos estruturais envolvidos (Aguiar *et al.*, 2006). De facto, os edificadados recentes são mais sensíveis aos assentamentos diferenciais, do que aos movimentos horizontais ou aos assentamentos uniformes de fundações, em que dada circunstância manifesta-se, essencialmente, através da fendilhação a 45° em paredes. Tais ocorrências deverão ser inspecionadas, periodicamente, a fim de se verificar a sua evolução, tendo como base os limites admissíveis (**Quadro 2.1**).

**Quadro 2.1** - Valores admissíveis para assentamentos diferenciais de fundações (Aguiar *et al.*, 2006).

| <b>Assentamentos Diferenciais entre pilares espaçados de L (<math>\Delta</math>)</b>   |                       |
|--|-----------------------|
| Designação   | Tolerância admissível |
| Painéis constituídos por vidro, alvenaria ou outros materiais frágeis, entre elementos | L/360                 |
| Painéis constituídos por materiais bastante frágeis entre elementos estruturais        | L/240                 |
| Estruturas de aço ou de betão armado   | L/150 a L/180         |
| Estruturas de madeira  | L/100                 |
| <b>Distorção angular máxima admissível</b>   |                       |
| Designação   | Tolerância admissível |
| Paredes de altura elevada e contínuas de alvenaria de tijolo                           | 0,005 a 0,001         |
| Paredes de alvenaria de tijolo em pequenas edificações                                 | 0,003                 |
| Painéis de tijolo entre pilares  | 0,001                 |
| Estruturas de betão armado   | 0,00025 a 0,004       |
| Paredes de betão armado  | 0,003                 |
| Estruturas de aço hiperstáticas  | 0,002                 |
| Estruturas de aço isostáticas  | 0,005                 |

## 2.4.2 PAREDES DE ALVENARIA

A maioria das ocorrências anómalas de carácter estrutural, em paredes de alvenaria, encontra-se relacionada às manifestações de fendilhações de diversas proveniências (**Quadro 2.2**). Porém, o desencadeamento de esforços elevados de flexão, corte ou de tração é a causa mais associada a esta tipologia de ocorrências, tendo em conta que as paredes de alvenaria encontram-se vocacionadas para funcionar à compressão (Aguiar *et al.*, 2006).

**Quadro 2.2** – Representação das causas e características principais de fendilhações em paredes de alvenaria (adaptado de Aguiar *et al.*, 2006).

| <b>Causas</b>                           | <b>Observações</b>   |
|---|--|
| Assentamentos diferenciais de fundações | Fissurações inclinadas, onde a orientação identifica os locais de cedência.  |
| Aberturas em paredes                    | Devido à acumulação de esforços existente em locais próximos de aberturas.   |
| Sismos e ações de corte                 | Surgimentos de fendilhações cruzadas a 45°.  |
| Variações térmicas                      | Poderá causar deslocamentos horizontais, rotações e fendilhações verticais e horizontais nos locais de ligação a paredes ortogonais. |
| Elevadas tensões de compressão          | Aumento inesperado de cargas sobre a parede de alvenaria, levando à diminuição da sua resistência.                                   |

## 2.4.3 ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

Segundo Aguiar *et al.* (2006), as situações anómalas em estruturas de betão armado manifestam-se, essencialmente na fase de utilização, pela ocorrência de:

- Fendilhação com diversa orientação;
- Deformações excessivas, normalmente em pavimentos;

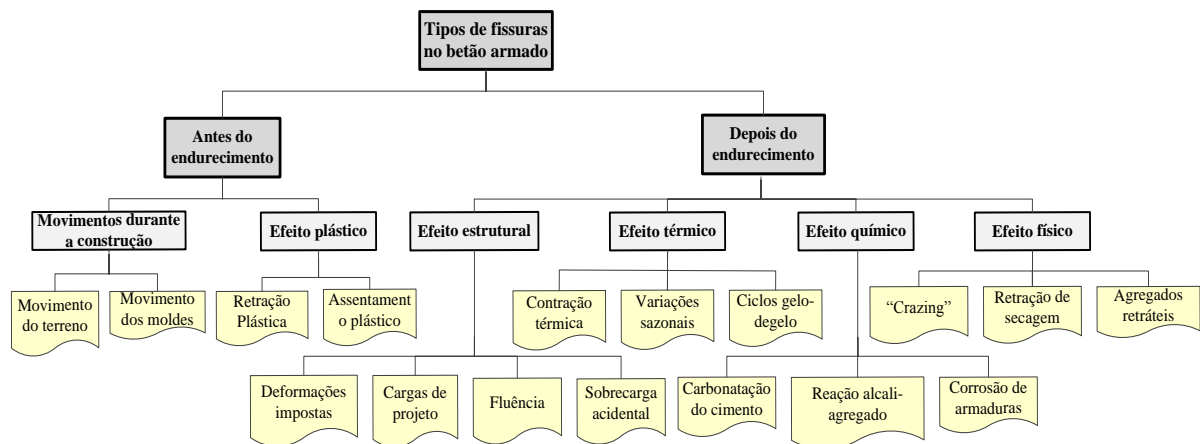
- Corrosão das armaduras ou desagregação nas superfícies por ataque químico ou físico.

### 2.4.3.1 FENDILHAÇÃO

As fendilhações em estruturas de betão armado encontram-se associadas a fenómenos ocorridos na fase anterior e/ou posterior do endurecimento das mesmas (**Fig. 2.7**).

As fendas de retracção decorrem do facto de, numa determinada peça ou zona, a retracção ser impedida de se processar livremente, devido a restrições internas associadas ao próprio betão armado ou externas pela ligação a outros elementos, em contraste com as fendas de origem térmica que são associadas à livre dilatação (ou contração) dos elementos estruturais por variação de temperatura (Aguiar *et al.*, 2006). Esta última tipologia de fendilhação caracteriza-se por possuir uma incidência superior em locais mais expostos ao ambiente exterior como também em zonas com grande exposição solar.

A fendilhação com origem nos esforços aplicados em elementos de betão armado apresenta, em regra, configurações associáveis ao funcionamento estrutural, sendo por essa razão possível identificar o tipo de esforço que a origina. Será importante referir que de acordo com NP EN 1992-1-1:2004, em ambientes pouco moderadamente agressivos, a largura admissível para as fissuras varia entre 0,2 e 0,4 mm.



**Figura 2.7** - Representação das diversas causas possíveis de fissurações em betão armado (Cóias, 2006).

Um outro exemplo de fendilhação em elementos de betão armado é a fissuração devida à corrosão do aço. Tal circunstância é agravada, na maioria das vezes, por recobrimentos bastante reduzidos (principalmente nas armaduras transversais). O efeito da corrosão do aço, que consiste, essencialmente, na alteração do ferro em óxido de ferro (ferrugem) implica uma expansão das armaduras (aumento de volume cerca de 8 a 10 vezes), originando tensões muito importantes no betão em torno dos varões, o que provoca a fendilhação do betão que o envolve (Aguiar *et al.*, 2006).

Por fim, a fendilhação do betão armado poderá estar associada à ocorrência de reações expansivas de alguns dos seus constituintes que, ao reagirem com a água, formam produtos com grande aumento de volume que podem provocar tensões internas superiores à resistência do betão (Aguiar *et al.*, 2006). As reações entre os alcalis e a sílica dos agregados, como também as associações entre os aluminatos do cimento e os sulfatos de origem interna e externa, constituem as reações expansivas ocorridas em

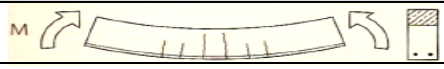
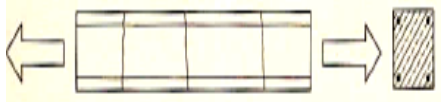

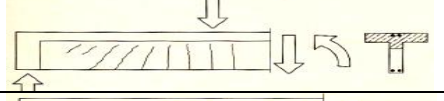

elementos de betão armado. No **Quadro 2.3** poder-se-á observar as principais características e causas associadas aos diversos tipos de fendilhação em elementos de betão armado.

### 2.4.3.2 DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

Os elementos de betão armado mais sujeitos a deformações excessivas são as lajes, encontrando-se estas anomalias associadas ao funcionamento por flexão. Contudo, na maioria das circunstâncias, os efeitos secundários destas anomalias surgem em elementos não estruturais, que possuem resistências de deformação inferiores, como é o caso, por exemplo, das paredes de alvenaria de tijolo.

Como tal, as fissurações, provenientes de deformações excessivas em elementos de betão armado, poderão ocorrer na base das paredes, sobretudo nas zonas próximas do meio vão dos pavimentos, ou ainda, dada a entrada em carga da alvenaria, na própria parede, dispostas a 45° com orientações contrárias entre os extremos apoiados (Aguiar *et al.*, 2006). Porém, os panos parciais ou com aberturas (sem preenchimento de malha estrutural), também poderão evidenciar fendilhação, embora seja caracterizada pela complexidade e condicionada pelos locais de concentração de tensões (cantos de aberturas).

**Quadro 2.3** – Caracterização de vários tipos de fendilhação em elementos de betão armado (Aguiar *et al.*, 2006; Cóias, 2006).

| Identificação                         |  | Causas Prováveis/Observações   |
|---------------------------------------|--|--|
| Fendas de Retração                    | Por assentamento plástico  | Ocorre devido à migração do ar e da água para a superfície do betão, devido à ação da gravidade.   |
|                                       | Por retracção plástica   | Ocorre quando a velocidade de secagem de água na superfície é superior à velocidade com que a água se difunde no interior do betão.  |
| Fendas de origem térmica              |  | Surgimento da anomalia a curto prazo, dias ou semanas após a concretização do elemento estrutural.   |
| Fendilhação por corrosão de armaduras |  | Anomalias com distribuição definida (posição dos varões), associada à cor acastanhada.<br>Primeiramente surgem nos cantos dos elementos estruturais, aumentando progressivamente a fendilhação longitudinal. |
| Fendilhação por reações químicas      |  | Fendas sem orientação preferencial e com um aspeto rendilhado.   |
| Fendilhação de Esforço Transverso     |  | Fissuração inclinada em relação ao eixo da peça, ocorrendo em faces laterais e a meia altura dos elementos, junto aos apoios e em locais próximos da aplicação de cargas concentradas.                       |
| Identificação                         | Causas Prováveis/Observações   | Representação  |
| Fendilhação por flexão pura           | A direção das fissuras é perpendicular às armaduras.   |    |
| Fendilhação de tração pura            | Fendas com desenvolvimento paralelo às cargas, apresentando-se com um espaçamento regular.<br>Surgimento em locais com elevadas cargas concentradas. |    |
| Fendilhação por torção                | Fissuração inclinada em relação ao eixo da peça, ocorrendo na totalidade das faces dos elementos, apresentando um padrão helicoidal.                 |    |
| Fendilhação por corte                 | Ocorre devido à aplicação de forças horizontais, relacionadas com elementos inclinados (coberturas).   |    |
| Perda de aderência                    | As fissuras formam-se nas zonas de amarração das armaduras.  |    |

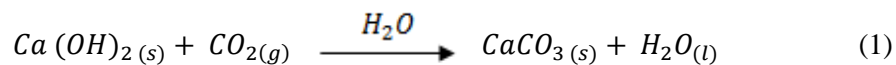
### 2.4.3.3 CORROSÃO DE ARMADURAS

O processo de corrosão de armaduras, em peças de betão armado, inicia-se quando ocorre a despassivação das armaduras<sup>1</sup>. Poderá estar associado ao fenómeno de carbonatação, ou ao ataque de iões de cloreto nas armaduras.

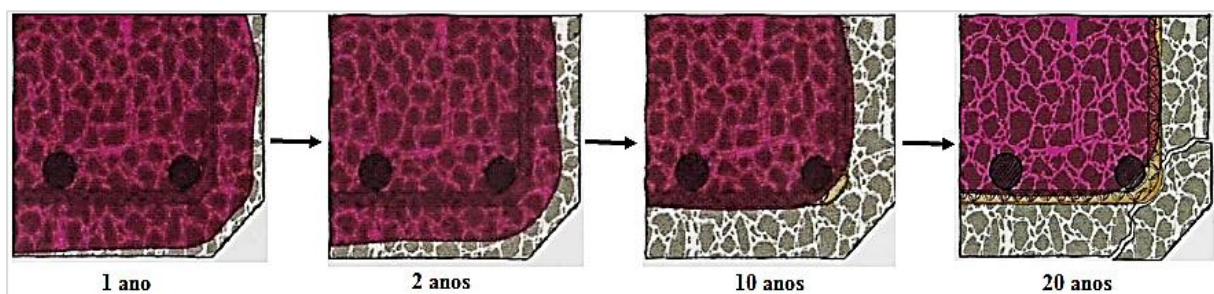
Na realidade, existem algumas particularidades na composição do betão que proporcionam um excelente meio de proteção para as suas respetivas armaduras, destacando-se os seguintes factos:

- A camada de betão de recobrimento, que constitui um impedimento à penetração de agentes externos ameaçadores às armaduras;
- A elevada alcalinidade (valor de pH entre os 12 e 13) proporcionada através dos compostos presentes no betão, tais como os hidróxidos de cálcio, sódio e potássio, faz com que o ambiente em volta das armaduras se mantenha passivo.

O processo de carbonatação do betão é algo inerente a qualquer estrutura de betão armado que esteja inserida num ambiente contendo dióxido de carbono, proporcionando-se um fenómeno que cuja ocorrência pode ser controlada e minimizada, mas que será sempre dificilmente evitada (Amaro, 2011). Segundo Cóias (2006), o desenvolvimento do processo de carbonatação, em elementos de betão armado, consiste na reação do dióxido de carbono com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), composto constituinte do betão, levará à criação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), tal como mostra a seguinte Expressão (1):



De facto, o efeito da carbonatação em elementos de betão armado encontra-se diretamente relacionado com a deterioração progressiva dos mesmos (**Fig. 2.8**), no entanto, tal fenómeno proporciona, igualmente, o aumento da resistência mecânica do betão, visto que o volume do cristal de  $\text{CaCO}_3$  é cerca de 12% maior do que o do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



**Figura 2.8** - Representação da evolução da perda da alcalinidade do betão armado, da superfície para o interior, através do processo de carbonatação. A zona alcalina da seção (a cor-de-rosa) vai diminuindo, deixando os varões em risco de corrosão. Os tempos indicados variam, essencialmente, com a porosidade do betão (Cóias, 2006).

Por sua vez, a corrosão de armaduras provocada por ataque de cloretos é um processo significativamente mais gravoso que a corrosão provocada pela carbonatação do betão, uma vez que a

<sup>1</sup> A passivação das armaduras ocorre aquando da existência de uma película protetora de óxidos e hidróxidos ferrosos na superfície do aço, o qual inibe o processo de corrosão (Aguilar *et al.*, 2006).

ocorre com velocidades consideravelmente superiores (Amaro, 2011 citando Nsambu, 2007). Segundo Appleton & Costa (1999), chega mesmo a existir uma relação equivalente entre o período de vida útil da estrutura de betão armado e o período de iniciação do processo de corrosão de cloretos, devendo-se, essencialmente à velocidade extremamente elevada de corrosão.

Relativamente ao processo de corrosão das armaduras ocorrido pela impregnação de iões de cloretos em elementos de betão armado, poder-se-á dividir em três reações químicas, sendo elas as seguintes (Amaro, 2011):

1. **Dissolução do Ferro:**  $Fe + 3Cl^- \rightarrow FeCl_3^- + 2e^-$
2. **Redução do Oxigénio:**  $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$
3. **Formação de Hidróxido de Ferro:**  $FeCl_3^- + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 + 3Cl^-$

Inicialmente, os iões cloretos reagem com os iões de Ferro ( $Fe$ ), presentes na camada de passivação das armaduras, formando assim os Cloretos de Ferro ( $FeCl_3^-$ ). Este composto, conjuntamente com o hidróxido (formado através da redução de oxigénio) dará origem ao último composto do processo de corrosão das armaduras, o Hidróxido de Ferro ( $Fe(OH)_2$ ). Para além da libertação de iões cloretos e de iões hidróxidos, ocorre uma significativa redução de alcalinidade do meio interior do betão armado (semelhante ao que se sucedia no mecanismo de carbonatação do betão armado).

Segundo Appleton & Costa (1999) a qualidade do betão, as condições de exposição, assim como o tempo de exposição dos elementos de betão, influenciam a evolução dos valores do coeficiente de difusão de cloretos. De facto, as estruturas de betão armado localizadas em meios próximos de ambientes marítimos encontram-se em situações mais oportunas de sofrer corrosão de armaduras provindo do ataque de cloretos. Porém os iões cloreto poderão encontrar-se no ligante aplicado no betão armado, devido à utilização de areias inadequadas no mesmo. No entanto, a medida de recobrimento e o estado de conservação superficial dos elementos construtivos de betão armado, influenciam a progressão da penetração dos cloretos nos elementos em questão. No que diz respeito à medida de recobrimento, este agente não dificulta a penetração dos cloretos no betão armado, apenas prolonga o período inicial de entrada dos cloretos no betão, e como tal, não se poderá sustentar a ideia que com a utilização de medidas de recobrimentos elevadas, aumenta-se a resistência de penetração de cloretos em peças de betão.

Em contrapartida, a existência de abertura de fendas na superfície do betão tem particular influência no ingresso dos mesmos, numa perspetiva a curto prazo, tendendo para diminuir ao longo do tempo (Amaro, 2011). Segundo NP EN 1992-1-1:2004, em circunstâncias de fissuras com largura entre os 0,20 a 0,40 mm, a influência é bastante reduzida, a curto prazo, no que diz respeito ao aumento de velocidade de propagação da corrosão das armaduras.

Por fim, a principal advertência, resultante das reações de corrosão de armaduras (mencionadas anteriormente), é a formação de produtos de oxidação (ferrugem) que, em virtude do seu maior volume relativamente aos elementos que lhe deram origem, podem provocar a fendilhação, e posteriormente a delaminação do betão do betão de recobrimento (Aguar *et al.*, 2006).

## 2.4.4 PAVIMENTOS

A generalidade das anomalias das estruturas de pavimentos utilizados nos edifícios recentes (lajes maciças e lajes nervuradas de betão armado) encontra-se relacionada com os efeitos de deformações, de delaminação do betão, assim como da corrosão e deformação de armaduras (**Quadro 2.4**).

**Quadro 2.4** – Síntese das anomalias e das respetivas causas associadas às lajes maciças e nervuradas de betão armado (Aguiar *et al.*, 2006).

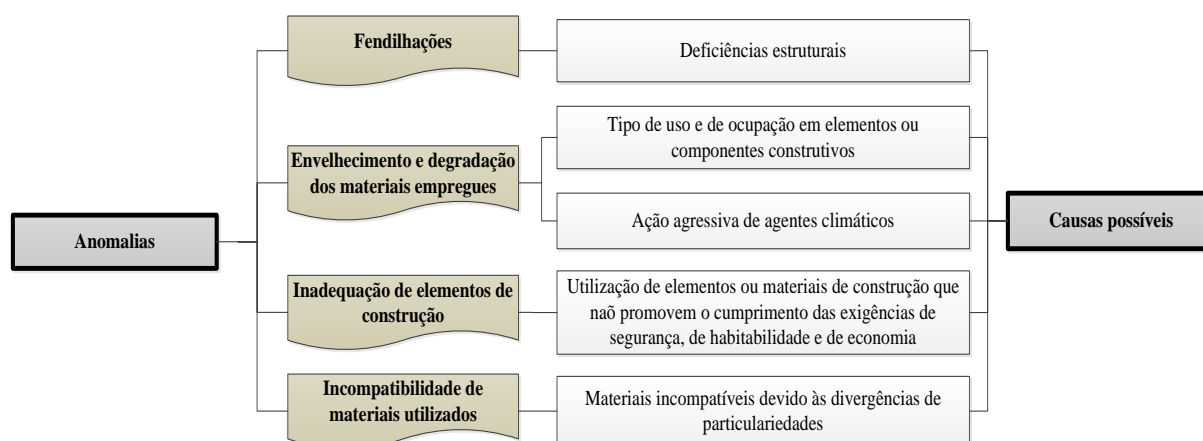
| Designação das Anomalias              | Caracterização dos efeitos  |
|---------------------------------------|---|
| Deformação Acentuada                  | Fendas de compressão em paredes divisórias do piso inferior.  |
|                                       | Fendas na face inferior, ao nível do revestimento do teto ou da própria laje.                             |
|                                       | Fendilhação em paredes divisórias assentes sobre o pavimento.   |
|                                       | Fendas na face superior em laje de betão armado, transversalmente às paredes divisórias do piso inferior. |
| Destacamento do betão de recobrimento | Diminuição de seção dos elementos de betão armado.  |
| Corrosão e deformação das armaduras   | Manchas acastanhadas  |

Relativamente aos efeitos da deformação acentuada poderão ocorrer devido a erros concretizados na fase de projeto e de execução, assim como de possíveis alterações das condições de utilização, primeiramente estipuladas. Porém, os destacamentos de betão de recobrimento e as deformações de armaduras poderão estar relacionados com a deterioração dos materiais, face à ação do fogo.

## 2.5 Anomalias não estruturais

As anomalias de carácter não estrutural são aquelas em que não está em causa a segurança atual da estrutura ou dos seus componentes, mas sim outras exigências funcionais que comprometem a sua normal utilização durante o restante período de vida útil (Ferreira, 2010). Relacionam-se com a parte atingida, as funções que são afetadas, bem como a natureza dos materiais e técnicas de construção utilizadas, origem causas e períodos de ocorrência (Gonçalves, 2004).

Estas anomalias ocorrem sob formas bastante diversificadas (**Fig. 2.9**), devendo-se, essencialmente, ao facto da multiplicidade de materiais e revestimentos que os compõem.



**Figura 2.9** - Representação das anomalias e situações mais relevantes na generalidade dos edifícios recentes (Aguiar *et al.*, 2006).

Não obstante a este facto, a maioria das anomalias que se detetam nos edifícios tem origem direta ou indireta na presença da água e no conseqüente humedecimento dos materiais, acompanhado pela modificação indesejável de propriedades físicas, ou são por elas potenciadas (Aguiar *et al.*, 2006).

Posto isto, ir-se-á organizar as anomalias dos ditos elementos não estruturais em elementos primários (paredes, pavimentos e coberturas), em elementos secundários (caixilhos de alumínio, vãos envidraçados e outros) e por revestimentos e acabamentos dos mais diversos elementos construtivos existentes nesta tipologia construtiva.

## **2.5.1 ELEMENTOS PRIMÁRIOS**

No presente subcapítulo ir-se-á admitir que os elementos primários são todos os elementos de construção pesados ou leves, sem qualquer função estrutural, desprovidos de revestimentos ou de outro tipo de acabamentos superficiais.

### **2.5.1.1 PAREDES DE ALVENARIA**

As alvenarias têm sido e são ainda a solução construtiva mais utilizada para a construção do elemento parede, cuja principal função é separar o espaço exterior do interior e ainda compartimentar e definir os espaços interiores (Gonçalves *et al.*, 2008 citando Sousa, 2002). No entanto, as paredes de alvenaria de edifícios, em particular as que não apresentam função estrutural, são muitas vezes esquecidas na atividade de projeto e na fase de execução o que tem contribuído para o aparecimento assíduo de diversos fenómenos patológicos (Gonçalves *et al.*, 2008). Segundo Aguiar *et al.* (2006), em paredes de edifícios poder-se-á observar as seguintes anomalias não estruturais:

- Anomalias devido à ação da humidade;
- Fendilhação (limitada, às paredes sem função estrutural);
- Envelhecimento e degradação dos materiais, não imputável à humidade.

Porém, segundo Pereira (2005), os problemas visualizados nas paredes, por vezes, não passam de meros efeitos, relacionados direta ou indiretamente com as alvenarias.

#### **2.5.1.1.1 PRESENÇA DE HUMIDADE**

Segundo Aguiar *et al.* (2006), a humidade constitui a principal causa, direta ou indireta, de anomalias construtivas em edifícios habitacionais. Como tal, os diferentes fenómenos de humidade poderão ser evidenciados na generalidade de elementos construtivos dos edifícios, contudo é nas paredes de alvenaria que mais se evidencia tais ocorrências, as quais serão analisadas seguidamente.

Assim sendo, a humidade pode-se manifestar, essencialmente, de seis formas: humidade de construção, humidade do terreno, humidade de precipitação, humidade de condensação, humidade devida à higroscopicidade dos materiais, humidade devida a causas fortuitas.

##### **2.5.1.1.1.1 HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO**

A maioria dos materiais empregues atualmente na construção de edifícios ou em ações de reparação necessita de água para a sua confeção, como por exemplo as argamassas e os betões, ou para a sua

colocação, como é o caso dos tijolos na execução de alvenarias (Henriques, 1994). Acrescentando a tal facto, os edifícios que se encontram na fase de construção poderão ser humedecidos através da precipitação. Nestes casos, se não houver um período aceitável de secagem dos materiais, surgirão anomalias nos mesmos, provenientes da evaporação da água existente.

Posto isto, as consequências diretas da manifestação desta tipologia de humidade são o destacamento e expansão de alguns materiais, em virtude da diminuição da temperatura superficial, como também a ocorrência de manchas de humidade e de condensações, devido à influência que o humedecimento dos materiais tem sobre o valor da condutibilidade térmica dos mesmos (Henriques, 1994).

#### **2.5.1.1.1.2 HUMIDADE DO TERRENO**

A humidade do terreno pode afetar todos os elementos em contacto com ele, bem como outros elementos adjacentes (Aguiar *et al.*, 2006). É o caso das paredes situadas em pisos térreos, ou em caves de edificações, onde a águas superficiais ou freáticas tendem a ser absorvidas e ascendidas pelo fenómeno de capilaridade nos referidos elementos construtivos.

Assim sendo, devido à ascensão da água por capilaridade, quer os sais existentes no terreno, quer os sais constituintes dos materiais de construção são dissolvidos e transportados até aos níveis superiores das paredes. Por consequência da evaporação da água e da cristalização dos referidos sais nas superfícies das paredes, suscita-se uma progressiva colmatação dos poros, reduzindo a permeabilidade ao vapor de água dos materiais (Henriques, 1994). Como tal, os sais depositados nas superfícies propiciam a ocorrência de fenómenos de higroscopicidade onde poder-se-á originar a formação de eflorescências, de criptoflorescências ou de salitre.

Segundo Aguiar *et al.* (2006), para além das manchas de humidade que poderão surgir em locais de paredes junto ao solo, podem associar-se diversos fenómenos patológicos, tais como:

- Deterioração de materiais sensíveis à humidade;
- Destacamento de revestimentos;
- Desgaste dos materiais superficiais, devido aos intermitentes ciclos de humedecimento e secagem.

#### **2.5.1.1.1.3 HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO**

A humidade de precipitação afecta as paredes exteriores e, mais particularmente, as que ficam direccionadas entre Sul e Poente, com predominância para a orientação Sudoeste, visto que são as mais expostas à chuva incidente acompanhada de vento forte (Aguiar *et al.*, 2006). No entanto, a chuva, por si só, não constitui uma ação especialmente gravosa para as paredes de edifícios, desde que a componente vento não lhe esteja associada (Henriques, 1994). De facto quanto mais a trajetória da chuva se aproximar da horizontal, maior será a probabilidade do humedecimento dos materiais e consequentemente a diminuição da resistência térmica dos mesmos (Henriques, 1994).

A consequente infiltração de água é bastante influenciada pelas características da parede (características construtivas, presença de fendilhações pré-existentes, idade do elemento construtivo), como também pela ação e incidência dos agentes externos. Contudo, para além dos locais mais

propícios à penetração da chuva para o interior (envolvente de caixilhos de janelas e de vãos de portas exteriores e locais de remates em coberturas), destacam-se outros locais (Aguiar *et al.*, 2006):

- Junta de argamassa de assentamento dos tijolos de alvenarias;
- Áreas desagregadas ou destacadas de revestimentos exteriores;
- Ocorrência de fendas em paredes e aplicação de revestimentos impermeáveis;
- Caixa-de-ar de paredes duplas obstruídas com argamassa, ou sem drenagem suficiente e eficiente;
- Peitoris e cornijas fendilhados ou sem pendente adequada na sua face superior;
- Platibandas desprovidas de revestimentos de tardoz e de capeamento estanque.

Tal como já mencionado anteriormente, devido ao humedecimento dos materiais (através do contacto com a água da chuva), ocorre um acréscimo do teor de água dos mesmos, proporcionando o aumento da respetiva condutibilidade térmica e a conseqüente ocorrência de condensações nos mesmos (Henriques, 1994). Porém, o efeito de secagem acentuada em paredes, devido à ação do vento, poderá originar a ocorrência de condensações, já que se evidencia uma diminuição da temperatura superficial nas mesmas.

Posto isto, as anomalias associadas à ação da água da chuva manifestam-se através do aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, onde em locais da ocorrência de humedecimento, é frequente o aparecimento de bolores, eflorações e de criptoflorações em paredes (Henriques, 1994).

#### 2.5.1.1.1.4 HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

A temperatura e a humidade do ar encontram-se entre as variáveis ambientais que mais visivelmente afetam o conforto, sendo a forma como se associam que torna relevante a sua importância para definir o nível de conforto (Rodrigues *et al.*, 2006). De facto, a quantidade máxima do vapor de água que o ar pode conter, designado limite de saturação, é limitada, variando na razão direta da temperatura (Henriques, 1994).

Segundo Aguilar *et al.* (2006) a humidade de condensação provém do vapor de água existente no ar ambiente interior dos edifícios, que se condensa nos elementos de construção confinantes com temperatura igual ou inferior ao ponto de orvalho<sup>2</sup> correspondente à concentração do vapor de água. As manifestações de condensações quer em paredes, quer noutros elementos construtivos, poderão ocorrer nas superfícies dos componentes construtivos (condensações superficiais) ou no interior dos mesmos (condensações internas).

Essencialmente, as condensações superficiais em paredes decorrem do facto da temperatura superficial das mesmas ser menor do que a temperatura do ar ambiente, proporcionando o aumento da humidade relativa da camada de ar que contacta com estes elementos construtivos, podendo provocar condensações (Henriques, 1994). Tal arrefecimento ocorre numa forma localizada junto a paramentos das paredes exteriores, em particular nas zonas de pontes térmicas como é o caso da generalidade dos

---

<sup>2</sup> A temperatura ponto de orvalho é a temperatura abaixo da qual se verifica a condensação do vapor de água contido no ar, ou seja, é a temperatura que, para uma determinada quantidade de vapor de água do ar, corresponde a 100% de humidade relativa (Alves, 2008). Neste ponto, a água passa do estado gasoso para o estado líquido (Garcez, 2009).

elementos estruturais, onde por consequência, em condições de Inverno, as faces interiores das paredes exteriores encontram-se, em geral, a uma temperatura inferior à do ar ambiente (Henriques, 1994).

Assim sendo, a ocorrência de condensações superficiais em paredes, dependerá dos seguintes fatores (Henriques, 1994):

- Condições de ocupação, que dependem da produção de vapor nas edificações;
- Ventilações nos locais;
- Isolamento térmico das paredes (que contactem com espaços mais frios);
- Temperatura ambiente interior.

Na realidade a ocupação dos edifícios faz acelerar ainda mais a humidade do ar ambiente, devido à produção elevada de vapor de água originada através das respirações e perspiração dos utentes, de atividades de duches, de lavagem e secagem de roupa, entre outras atividades (adaptado de Aguiar *et al.*, 2006). Como tal, torna-se essencial proceder a uma correta ventilação dos espaços por forma a conduzir para o exterior o excesso de vapor de água produzido (Henriques, 1994).

O isolamento térmico das paredes desempenha um papel crucial na prevenção dos riscos de ocorrência de condensações, sendo esse risco menor quanto maior for o isolamento térmico do elemento considerado (Henriques, 1994). No entanto apenas com a conjugação de favoráveis condições de ventilação (renovação de ar interior) com o estabelecimento de isolamento térmico em elementos construtivos correntes e em locais de pontes térmicas, conseguir-se-á evitar a ocorrência as condensações.

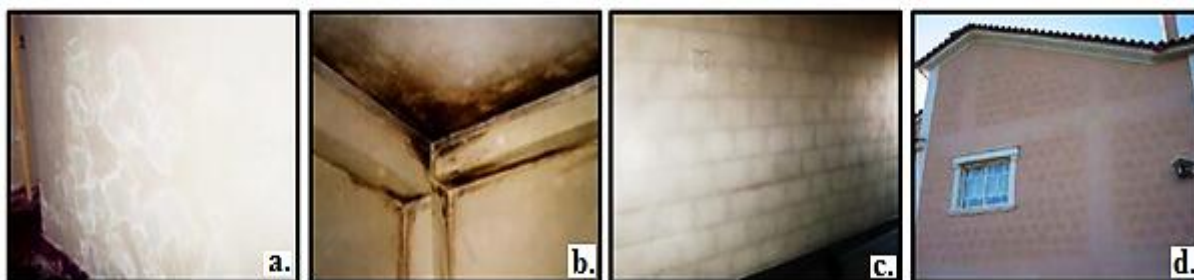
No que diz respeito às condensações no interior das paredes, ocorrem sempre que num dado ponto, a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura desse ponto (Henriques, 1994). Nestas circunstâncias, as consequências em paredes de alvenaria, mais precisamente nos materiais que as compõem, caracterizam-se pela alteração das propriedades físicas e, em situações extremas, pela degradação dos materiais. A principal propriedade física dos materiais constituintes das paredes que, ao ser alterada pela humidade, afecta as características funcionais desses elementos, é a condutibilidade térmica (Aguiar *et al.*, 2006), podendo, por consequência da ocorrência do mesmo, causar condensações superficiais (Henriques, 1994). De facto, quando os materiais encontram-se humedecidos persiste um aumento significativo da condutibilidade térmica dos mesmos, devendo-se ao facto que a condutibilidade térmica da água ser cerca de 23 vezes superior à do ar (Aguiar *et al.*, 2006).

As condensações superficiais e internas podem ter carácter persistente ou temporário, onde as mais significativas manifestações patológicas, associadas à humidade de condensação, são as seguintes (Aguiar *et al.*, 2006; Henriques, 1994):

- No caso das condensações superficiais poderão surgir manchas generalizadas ou localizadas, de humidade ou de bolores, acompanhados pela existência de teores de água decrescentes ao longo da espessura das paredes, a um dado nível, do interior para o exterior, assim como fenómenos de termoforese e ocorrências de espectros fantasmas em paredes de edifícios;
- A generalidade dos distúrbios associados às condensações internas não são visíveis, porém poderão reduzir as características de isolamento térmico de paredes exteriores e de coberturas (devido à diminuição da resistência térmica), provocar o apodrecimento de materiais orgânicos,

assim como o destacamento de materiais. As características de permeabilidade ao vapor de água dos materiais também poderão ser alteradas, modificando as variações da pressão parcial ao longo da parede.

Contudo, será importante destacar as três anomalias provenientes do fenómeno de humidade de condensação: criação de manchas de bolores em locais de pontes térmicas (**Fig. 2.10b**), surgimento de manchas escuras em paramentos exteriores de parede devido a fenómenos de termoforese (**Fig. 2.10d**) e aparecimento de espectros de juntas em superfícies interiores de paredes exteriores (**Fig. 2.10c**).



**Figura 2.10** - Representação de manifestações de humidade devido a fenómenos de higroscopicidade e de condensação em paredes: a. Eflorescências numa parede revestida a estuque (Pereira, 2008 citando Veiga, 2004); b. Aparecimento de manchas de bolores em locais de pontes térmicas (Abreu, 2003); c. Aparecimento de espectro de juntas em paramento interior de uma parede exterior; d. Efeito Termoforese em paredes exteriores (Alves, 2008).

Segundo a norma EN-ISO 10211, uma ponte térmica é toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos (Oliveira, 2007).

Dando como exemplo prático a interface entre elementos de betão armado e elementos de alvenaria de tijolo, devido à existência de diferentes condutibilidades térmicas (os elementos de tijolo possuem um coeficiente de condutibilidade inferior ao betão armado), originará divergências significativas nos valores de resistência térmica dos mesmos, proporcionando a diminuição da temperatura superficial, em locais com resistência térmica reduzida (elementos de betão armado), assim como a formação de manchas de humidade e de bolores nesses mesmos locais.

Outro tipo de anomalias de humidade de condensação, igualmente evidenciadas em locais de pontes térmicas é o fenómeno de espectro de juntas ou “fantasmas” em paredes. Esta anomalia poderá ser observada em paredes exteriores dos edifícios – efeito termoforese-, assim como em paramentos interiores de paredes exteriores – espectro de juntas interiores. Segundo Aguiar *et al.* (2006), a termoforese é a formação de manchas escuras em zonas de paramentos exteriores devido ao depósito de poeiras e à sua retenção pela humidade de condensação.

Como tal, o fenómeno “fantasmas” em paredes provém da criação de ponte térmica diferenciada entre as juntas de argamassas e os tijolos cerâmicos, devido à divergência da resistência térmica entre os mesmos, provocando zonas com diferentes temperaturas superficiais nas paredes afetadas (temperaturas inferiores nos locais das juntas de argamassa). A magnitude deste fenómeno é maior, quanto maior for a diferença de temperaturas superficiais entre as várias zonas, podendo-se concluir que umas das formas de atenuar estas diferenças de temperatura entre a zona do tijolo cerâmico e a

junta de argamassa é diminuir a espessura desta última (Jorne, 2010). Assim sendo, poder-se-á constatar que a acentuação do fenómeno “fantasmas” é função da espessura das juntas de argamassa.

Por fim, importará referir que a tonalidade das manchas escuras (ver **Fig. 10c**) é mais intensa, quanto mais reduzida for a temperatura superficial (em locais de juntas de argamassa), onde tais fenómenos têm tendência a acentuar-se em paredes orientadas a Norte (devido à reduzida exposição solar das mesmas).

#### 2.5.1.1.1.5 HUMIDADE DEVIDA A FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE

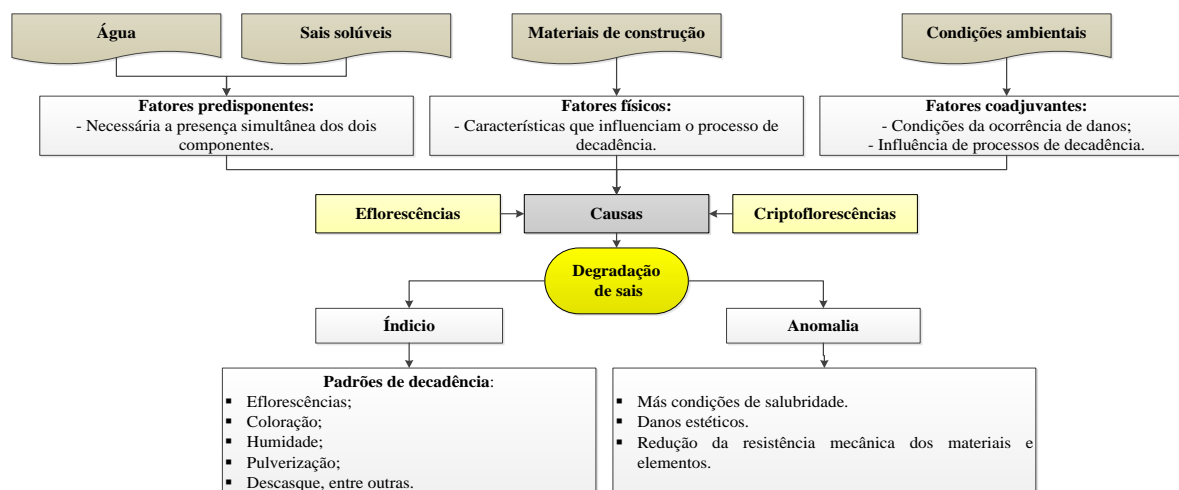
Um largo número de materiais de construção correntes apresenta na sua constituição sais solúveis em água (Henriques, 1994), onde alguns desses sais são higroscópicos. A higroscopicidade é a propriedade que os materiais porosos têm para, quando colocados no estado seco num meio ambiente com uma dada humidade relativa, reterem nos poros uma certa quantidade da humidade existente no ambiente, até se atingir uma situação de equilíbrio, dito equilíbrio higroscópico (Aguiar *et al.*, 2006).

Segundo Henriques (1994), os sais higroscópicos dissolvem-se quando a humidade relativa do ar encontra-se superior à proporção de 65 a 75%, voltando a cristalizar, com um considerável aumento de volume, ao baixar a humidade relativa. Por sua vez, os sais solúveis que são mais associados à ocorrência de manifestações patológicas são os sulfatos, os carbonatos, os cloretos, os nitritos e os nitratos, dos quais os dois primeiros não são higroscópicos (Henriques, 1994).

De facto o principal efeito da ocorrência desta tipologia de humidade reside na manifestação de eflorescências ou criptoflorescências em paredes, onde a cristalização de sais constitui a base para o desencadeamento de tais anomalias. As eflorescências (designado na maioria das vezes “salitre”) são depósitos de sais à superfície de paredes ou qualquer outro elemento causado pela evaporação de água (Tuna, 2011 citando Flores-Colen, 2009; Cardeira, 2010). Tais ocorrências apresentam, geralmente, um aspeto de “algodão em rama” (**Fig. 4.103**) embora possam assumir a forma de uma “fina poeira branca” (**Fig. 2.10a**) sobre a superfície dos revestimentos de paredes, sendo que as áreas e formas de manchas podem ser bastante variáveis (indo desde grandes zonas de tonalidades onduladas a pequenos núcleos isolados de formato irregular, ou apenas pequenas escorrências, em geral a partir das fissuras do paramento) (Pereira, 2008 citando Silveira, Veiga, Brito, 2002). Por sua vez, quando o depósito salino se encontra entre a superfície de revestimento e o suporte, designa-se por criptoflorescências (Flores-Colen, 2008).

A ocorrência de eflorescências e de criptoflorescências está intimamente relacionada com a intervenção de alguns fatores (**Fig. 2.11**), entre os quais se destacam: o conteúdo de sais solúveis do revestimento e suporte, as condições ambientais, a geometria dos poros dos materiais e por último, a presença de água (Jâcome & Martins, 2005; Pereira, 2008). No entanto será importante realçar, que as manchas carbonatadas são facilmente confundíveis com os fenómenos de eflorescências, devido à semelhança significativa das incrustações de cor branca. Tais ocorrências caracterizam-se pela presença de sais de carbonato de cálcio à superfície, resultante do hidróxido de cálcio provenientes do cimento, tornando-se num composto dificilmente removível (Tuna, 2011 citando Flores-Colen *et al.*, 2005; Carballo *et al.*, 2005).

A principal consequência dos fenómenos de eflorescências e de criptoflorescências nos materiais encontra-se relacionado com a presença de humidade (devido aos ciclos de dissolução e de cristalização de sais), provocando a diminuição das condições de habitabilidade ou funcionalidade dos elementos construtivos (Aguiar *et al.*, 2006; Henriques, 1994; Tuna, 2011). No entanto os efeitos das eflorescências são, fundamentalmente, de caráter estético, ao invés dos fenómenos de criptoflorescências, os quais possuem consequências mais gravosas (Tuna, 2011).



**Figura 2.11** - Representação do mecanismo de degradação de sais (adaptado de Tuna, 2011 citando Gonçalves, 2007a).

De facto, o desencadeamento da cristalização de sais sob as camadas de revestimento acaba por provocar a fadiga dos materiais e o progressivo incremento da degradação dos mesmos, sendo que tal processo é proporcional ao grau de saturação e inversamente proporcional à solubilidade do sal (Tuna, 2011 citando Gonçalves & Rodrigues, 2005). Como tal, os principais efeitos são a fendilhação, a formação de crostas, a separação dos materiais da alvenaria em camadas e a perda de coesão ou a pulverulência no reboco ou mesmo nos tijolos cerâmicos (Tuna, 2011 citando Cardeira, 2010).

#### 2.5.1.1.1.6 HUMIDADE DEVIDA A CAUSAS FORTUITAS

As situações mais frequentes de humidade devido a causas fortuitas poderão estar associadas às seguintes circunstâncias (Aguiar *et al.*, 2006; Henriques, 1994):

- Derrames verificados nas instalações de distribuição e drenagem de água, derivados da perda de estanqueidade das canalizações ou de certos componentes (torneiras, válvulas);
- Inundações nos edifícios provocadas por torneiras deixadas abertas por descuido;
- Atividades inadequadas de limpeza/lavagem de pavimentos (recurso a quantidades excessivas de água);
- Infiltrações para compartimentos interiores, em locais próximos da cobertura, proveniente de entupimentos de caleiras ou tubos de queda, de deficiências dos remates da cobertura.

#### 2.5.1.1.2 FENDILHAÇÃO

Segundo Gaspar *et al.* (2006), a manifestação da fissuração pode ser descrita em função da sua localização na parede, da sua orientação, abertura e extensão, e pelo diâmetro e características da

malha, sempre que esta se regista. Contudo são várias as causas que suscitam o aparecimento de tal anomalia. Seguidamente apresentam-se separadamente as características relevantes de cada tipo de fendilhação consoante as condições de origem das mesmas.

#### **2.5.1.1.2.1 FISSURAS CAUSADAS POR MOVIMENTAÇÕES TÉRMICAS**

Devido à variação de temperatura, diária e sazonal, a que os elementos e componentes construtivos estão sujeitos, desenvolve-se uma variação dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contração), a qual provoca movimentos nos mesmos (Pereira, 2005). Porém, em circunstâncias de restrição desta tipologia de movimentos promove-se o aparecimento de fissuras, provenientes da manifestação de tensões que excedem a capacidade resistente à tração dos materiais envolvidos.

As deformações causadas por origem térmica dependem de vários fatores, entre os quais se destacam (Aguiar *et al.*, 2006):

- Gama de variação da temperatura (valores extremos de variação de temperatura);
- Temperatura inicial dos materiais de alvenaria;
- Teor de água inicial dos materiais da alvenaria;
- Efeito de restrição exercida sobre as paredes de alvenaria pelos elementos confinantes.

Contudo, as fissuras de origem térmica poderão surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material (Pereira, 2005). As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de (Pereira, 2005 citando Thomaz, 2003):

- Ligação de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura (descrito em §4.3.4.1.2);
- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais;
- Gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente.

Segundo Pereira (2005), os materiais de alvenaria poderão apresentar fissuração e degradação sob o efeito de choques térmicos, correspondendo às situações em que um componente é submetido a uma variação de temperatura de 38°C, num período de tempo bastante reduzido. Porém os materiais caracterizados com uma elevada condutibilidade térmica e com um baixo módulo de deformação, apresentam um valor de resistência aos choques térmicos, significativamente elevado (ver **Quadro 2.5**).

#### **2.5.1.1.2.2 FISSURAS CAUSADAS POR MOVIMENTAÇÕES HIGROSCÓPICAS**

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção (Pereira, 2005), onde poder-se-á observar a expansão e a contração dos materiais, consoante o aumento e a diminuição do teor de humidade presente nos mesmos.

A intensidade destes movimentos encontra-se sujeita das propriedades dos materiais e do grau de exposição à humidade, da capacidade de acomodação aos movimentos (inversamente proporcionais ao módulo de deformação da alvenaria) e do grau de restrição imposto às movimentações, podendo

desenvolver nas alvenarias tensões de considerável magnitude, levando-a à fissuração (Pereira, 2005 citando Thomaz, 2003) (ver **Quadro 2.6**).

#### **2.5.1.1.2.3 FISSURAÇÃO CAUSADA PELA ATUAÇÃO EXCESSIVA DE CARGAS**

Para além de ser manifesta em paredes de alvenaria (com função estrutural), a solicitação externa excessiva de cargas, poderá provocar a fissuração de elementos ou componentes de paredes de alvenaria sem carácter estrutural (ver **Quadro 2.6**).

#### **2.5.1.1.2.4 FISSURAÇÕES CAUSADAS POR DEFORMAÇÃO EXCESSIVA DA ESTRUTURA DE SUPORTE DAS ALVENARIAS**

As vigas e lajes deformam-se naturalmente sob ação do peso próprio, das demais cargas permanentes e acidentais e mesmo sob efeito da retracção e da deformação lenta do betão (Pereira, 2005 citando Thomaz, 2003).

Segundo a NP EN 1992-1-1:2004, a tolerância, em condições quase-permanentes, para a flecha de vigas, lajes e consolas é de  $L/250$ , onde em situações posteriores de construção, para flechas superiores a  $L/500$  poderá ocorrer danos em elementos adjacentes aos elementos estruturais considerados. No entanto, em circunstâncias de cumprimento dos valores regulamentares das flechas dos elementos estruturais não se evidencia nenhuma alteração na estética, na estabilidade e na resistência dos mesmos, contudo as referidas tolerâncias poderão manifestar-se incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes adjacentes aos componentes de betão armado.

Assim sendo, e tendo em conta a interação de distintos elementos de construção estruturais (pilares, vigas) com paramentos verticais não estruturais (fachadas, divisórias), é frequente ocorrer fissurações em paredes de alvenaria (**Quadro 2.7**), pois tais componentes possuem uma capacidade de deformação bastante inferior aos elementos estruturais de betão armado. Segundo Aguiar *et al.* (2006), tais ocorrências, poderão suscitar deficiências na estética, no isolamento acústico, como também nas condições de estanquidade do ar e da chuva das mesmas.

#### **2.5.1.1.2.5 FISSURAS CAUSADAS POR ASSENTAMENTOS DE APOIO**

Como já referenciado anteriormente em §2.4.1, devido à heterogeneidade e a potenciais cargas externas, evidenciam-se assentamentos/deformações na generalidade dos solos de fundação, originando tensões de grande intensidade na estrutura dos edifícios, podendo, eventualmente, gerar o aparecimento de fissuras. Como tal, o comportamento de um edifício mediante a ocorrência de assentamentos diferenciais depende de interações extremamente complexas entre a sua superestrutura, a estrutura da fundação e o solo de suporte (Pereira, 2005).

Na generalidade, as fissuras provocadas por assentamentos diferenciais são inclinadas, confundindo-se às vezes com as fissuras provocadas por deformação de componentes estruturais (Pereira, 2005). No **Quadro 2.8**, poder-se-á constar as particularidades das principais fendilhações em paredes de alvenaria, provenientes de assentamentos de apoios.

---

#### 2.5.1.1.2.6 FISSURAS CAUSADAS PELA RETRACÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO

##### ARMADO

A retração é um fenómeno que decorre da hidratação do ligante e da secagem do betão e que se traduz numa redução de volume das peças de betão simples ou armado.

Por vezes, as peças de uma estrutura reticulada de betão armado são induzidas por elevadas tensões provenientes da retração do betão. Como já mencionado em §2.4.3.1, nesta tipologia de elementos estruturais, a fissuração oriunda da retração, é caracterizada pela sua diversidade de configuração (forma mapeada), similar às fissurações ocorrentes em argamassas de revestimento, com a mesma proveniência. Porém, as forças horizontais resultantes da retração de vigas superiores poderão produzir nas alvenarias de preenchimento dos vãos dos pórticos, tensões de corte (**Quadro 2.5**), que em circunstâncias elevadas dão origem a fissuras (Pereira, 2005).

O fenómeno de retração também é bastante frequente nas lajes de betão armado, originando fissurações bastante significativas em paredes de alvenaria (**Quadro 2.8**) que encontram-se solidárias às componentes estruturais em questão.

#### 2.5.1.2 PAVIMENTOS

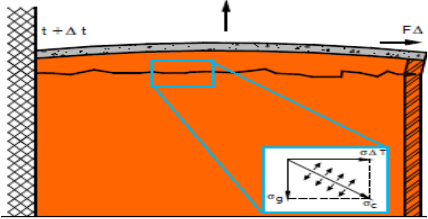
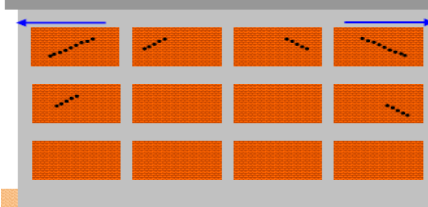
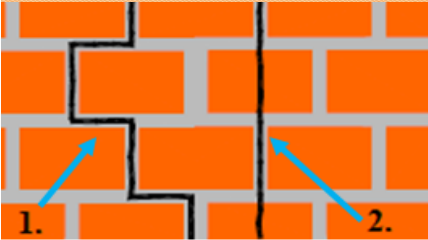
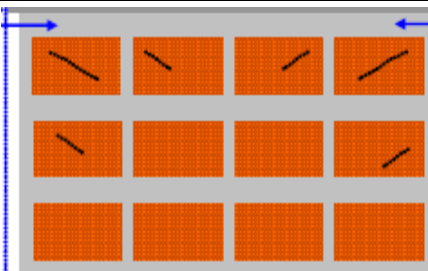
A generalidade dos pavimentos dos edifícios recentes encontra-se, fundamentalmente, sujeita à ação de manifestações de humidade do terreno, de precipitação e de condensação.

A humidade do terreno poderá afetar os pavimentos de caves e de pisos térreos assentes sobre o terreno, quando não são tomadas medidas adequadas para impedir o seu acesso (colocação de materiais permeáveis na composição dos pavimentos, assim como condições desfavoráveis de ventilação em caixa-de-ar sob o pavimento térreo). Por sua vez, as manifestações de humidade de precipitação e de condensação são, igualmente, frequentes em pavimentos (térreos ou elevados), embora a humidade por condensação seja menos assídua, possuindo uma reduzida relevância nestes elementos construtivos (Aguiar *et al.*, 2006). Será importante referir, que a maioria destas ocorrências torna-se visível através do destacamento e deterioração dos respetivos revestimentos dos pavimentos. Tais anomalias serão descritas e analisadas em §2.5.3.2 do presente capítulo.

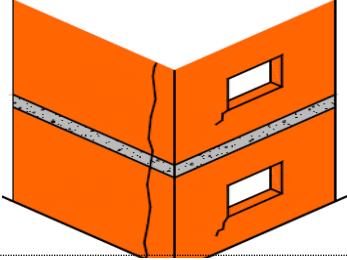
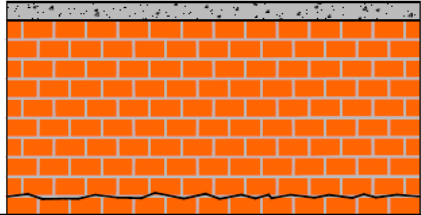
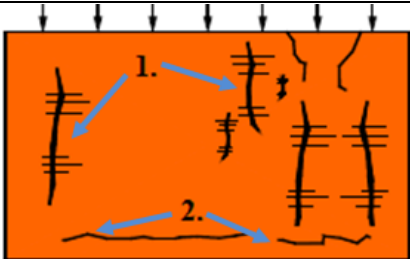
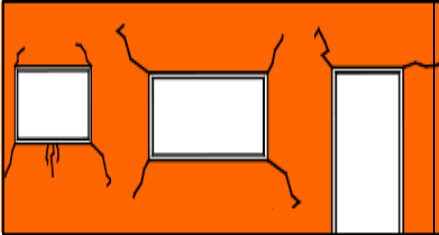
#### 2.5.1.3 COBERTURAS

As coberturas são um dos elementos construtivos mais afetados pela ação dos agentes atmosféricos devido à sua elevada exposição e desempenham um papel fundamental na proteção dos edifícios contra a penetração da humidade e água das chuvas (Garcez, 2009). De facto, as principais anomalias que se poderão observar em elementos de coberturas inclinadas ou planas são associadas a fenómenos de humidade, onde as ocorrências que induzem maior risco são provindas da humidade de precipitação e de condensação (Aguiar *et al.*, 2006). Será relevante referir, que as consequências diretas da ocorrência de anomalias não estruturais em coberturas encontram-se associadas à não satisfação dos requisitos de exigências de segurança não estrutural, de segurança ao incêndio, contra choques acidentais, de intrusão e de eficiência térmica e acústica. Porém, tal como os pavimentos, as anomalias não estruturais em coberturas manifestam-se nos respetivos revestimentos. Tais anomalias serão apresentadas e caracterizadas em §2.5.3.3 do presente capítulo.

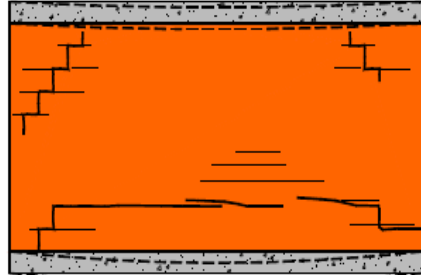
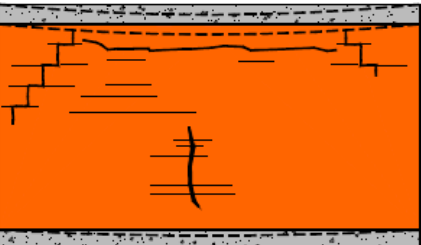
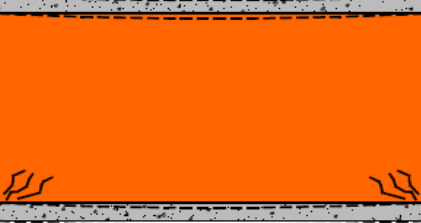
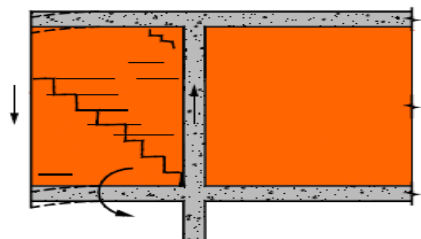
**Quadro 2.5** – Representação das particularidades principais das fissuras provocadas por movimentações térmicas e pela retração de estruturas de betão armado (adaptado de Pereira, 2005).

| Designação   | Localização   | Observações  | Representação   |
|--|---|--|---|
| Fissurações provocadas por movimentações térmicas  | Vinculação das lajes de cobertura com paredes de sustentação.                             | A dilatação plana das lajes e a encurvadura provocada pelo gradiente da temperatura introduzem tensões de tracção e de corte nas paredes das edificações.<br><br>Fissuração bem definida, paralela ao comprimento da laje de cobertura.  |    |
|  | Estruturas de betão armado adjacentes a paredes de alvenaria.                             | Movimentação térmica de estruturas de betão armado (vigas, pilares) pode causar destacamentos entre as alvenarias e o reticulado estrutural, e fissuras de corte nas extremidades das alvenarias.  |    |
|  | Muros e paredes de alvenaria  | Diferença de valores de coeficiente de dilatação térmica entre as juntas de argamassa e os blocos de alvenaria.<br><br>Se resistência à tracção dos componentes de alvenaria for superior à resistência à tracção da argamassa ou à tensão de aderência argamassa/blocos sucede-se fissurações nas juntas de argamassa (1.), caso contrário presencia-se fissurações verticais (2.). |   |
| Fissurações em paredes de alvenaria provocadas pela retração de estruturas de betão armado | Vinculação de elementos de estrutura reticulada de betão armado com paredes de alvenaria. | Surgimento de tensões de corte nas paredes de alvenaria.<br><br>Fissuração inclinada nas extremidades das paredes de alvenaria.  |  |

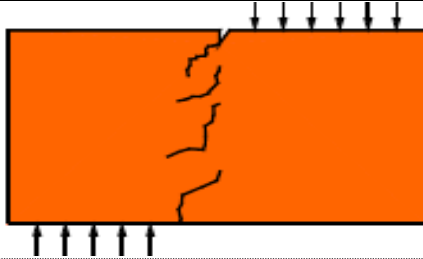
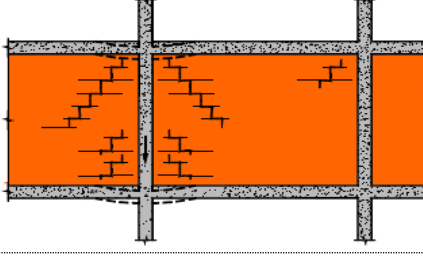
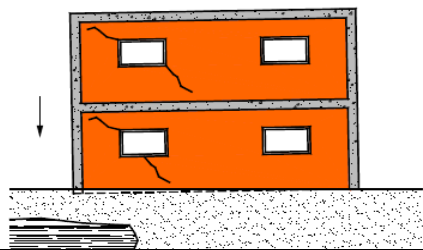
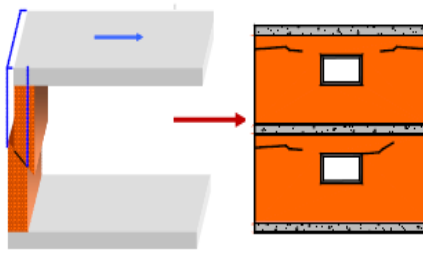
**Quadro 2.6** - Representação das particularidades principais das fissuras provocadas por movimentações higroscópicas e pela atuação excessiva de cargas verticais (adaptado de Pereira, 2005).

| Designação   | Localização  | Observações   | Representação   |
|--|--|---|---|
| Fissurações provocadas por movimentações higroscópicas | Paredes de alvenaria muito longas, onde não foram projetadas juntas de movimentação.       | Ocorrência de fissuras verticais que poderão ocorrer de forma regular no corpo das paredes ou em cunhais dos edifícios.   |    |
|  | Base de paredes.<br>Paredes pouco carregadas.  | Ocorrência de fissurações horizontais em base da alvenaria por movimentações higroscópicas diferenciadas, onde as fiadas inferiores (com um elevado teor de humidade), apresentam uma maior expansão em relação às fiadas superiores.   |    |
| Fissuração causada pela atuação excessiva de cargas    | Em tramos contínuos de alvenarias, solicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas. | Fissuras verticais provenientes da deformação transversal da argamassa sob ação das tensões de compressão, ou da flexão local dos componentes de alvenaria (1.).<br>Fissuras horizontais, provenientes da rutura por compressão dos componentes de alvenaria ou da própria argamassa de assentamento, ou ainda, de solicitações de flexão axial da parede (2.). |   |
|  | Nos painéis de alvenaria onde existem aberturas.   | Ocorrência de fissuras a partir dos vértices de janelas e portas e sob o peitoril de janelas.   |  |

**Quadro 2.7** - Representação das particularidades principais das fissuras causadas por deformação excessiva de estrutura de suporte (adaptado de Pereira, 2005).

| Designação  | Localização  | Observações  | Representação   |
|---|--|--|---|
| Fissurações causadas por deformação excessiva da estrutura de suporte | Para paredes de vedação sem aberturas de portas e janelas. | O componente de apoio deforma-se mais que o componente superior.<br><br>Surgem fissuras inclinadas nos cantos superiores da parede, oriundas do carregamento não uniforme da viga superior sobre o painel. Na parte inferior do painel normalmente surge uma fissura horizontal.<br><br>Nas situações que o comprimento da parede é superior à sua altura, surge o efeito de arco e a fissura horizontal desvia-se em direção aos vértices inferiores do painel. |    |
|   |  | O componente de apoio deforma-se menos que o componente superior, onde a parede comporta-se como viga, resultando fissuras semelhantes àquelas apresentadas para o caso de flexão de vigas de betão armado.  |    |
|   |  | O componente de apoio e o componente superior apresentam deformações aproximadamente iguais. Nessa circunstância a parede é submetida principalmente a tensões de corte, comportando-se o painel de maneira semelhante a vigas de betão deficientemente armadas ao esforço transversal. As fissuras iniciam-se nos vértices inferiores do painel, propagando-se aproximadamente a 45°.   |   |
|   | Regiões em balanço de vigas.                               | Deformação da viga devido à insuficiência de rigidez estrutural.<br><br>Aparecimento de fissuras de corte na alvenaria e/ou o destacamento entre a parede e a estrutura.   |  |

**Quadro 2.8** - Representação das particularidades principais das fissuras provocadas pelo assentamento de apoio e pela retração de lajes de betão armado (adaptado de Pereira, 2005).

| Designação  | Localização  | Observações  | Representação   |
|---|--|--|---|
| Fissurações causadas pelo assentamento de apoio.                                      | Paredes sob fundações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes.   | Surgimento de aberturas geralmente maiores inclinando-se em direção ao ponto onde ocorreu o maior assentamento.<br>Presença de esmagamentos localizados, em forma de escamas, dando indícios das tensões de corte que as provocaram.<br>O tramo mais carregado apresenta maior assentamento. |    |
|   | Edifícios com estrutura reticulada.  | Fissuração por tracção diagonal das paredes de vedação.<br>Inclinação das fissuras na direção do pilar que sofreu maior assentamento.  |    |
|   | Parede elevadas ou sob o solo de fundação heterogéneo.                         | Surgimento de fissuração inclinada a partir dos cunhais de aberturas.  |   |
| Fissuração em paredes de alvenaria provocadas pela retração de lajes de betão armado. | Paredes solidárias a lajes de betão armado.<br>Paredes de andares intermédios. | Ocorrência de fissurações horizontais sob a laje.<br>Ocorrência de fissurações em cantos superiores de caixilhos.  |  |

## 2.5.2 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Designam-se por elementos secundários os elementos de construção mais leves que os elementos primários que, uma vez assentes nestes últimos ou a eles associados, complementam as necessidades de compartimentação e de comunicação do edifício no sentido lato (Aguiar *et al.*, 2006).

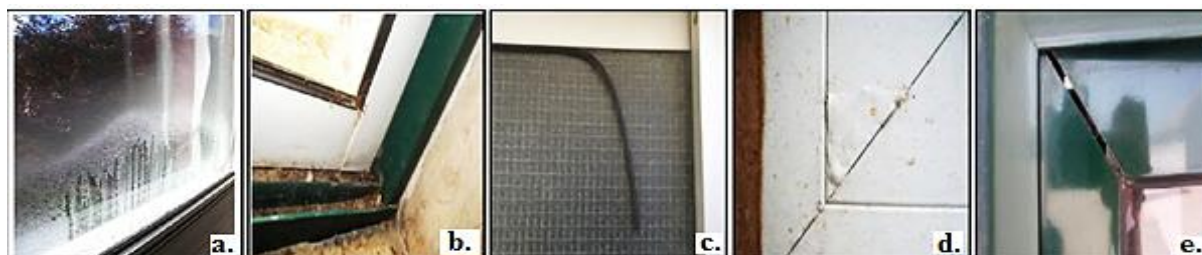
### 2.5.2.1 CAIXILHOS E VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os materiais mais utilizados em caixilhos de portas e de janelas, na generalidade dos edifícios recentes, são o alumínio e o PVC. De facto, estima-se que, em Portugal, a caixilharia de alumínio corresponda a 70% do atual mercado de caixilharias (Santos, 2012 citando Gomes, 2011), em contraste com o material de PVC, representado apenas cerca de 10% do mercado atual (Santos, 2012).

Segundo Torres (2009), o metal não ferroso, alumínio, apresenta um comportamento particularmente bom no que diz respeito à leveza, resistência mecânica e a agentes biológicos, reciclabilidade e durabilidade. Existem dois processos de tratamento de superfície de caixilhos de alumínio, que se designam por anodização (criação de um camada superficial de óxido de alumínio através de um processo eletroquímico) e por termolacagem (proteção do alumínio com uma película de polímero termoendurecível).

O PVC (policloreto de vinilo) é um material sintético que, pelas suas propriedades e excelente relação custo / benefício, tem vindo a adquirir uma importância crescente para a qualidade de vida da sociedade moderna (Santos, 2012). Tal como o material de alumínio, o PVC foi alvo de sucessivas alterações, desde do seu aparecimento na década de 50 na Alemanha, a fim de se extinguir as principais desvantagens (facilidade de degradação e variações dimensionais significativas (presença de um elevado coeficiente de dilatação térmica)) (Santos, 2012 citando HUD, 1999).

De facto existe alguma diversidade de anomalias, nestes elementos secundários em edificadros (**Quadro 2.9**). A manifestação de condensação é bastante frequente, devendo-se essencialmente ao facto de a caixilharia traduzir-se num elemento de fronteira entre o ambiente interior e exterior, como também ao incumprimento de satisfação de exigências térmicas de sistemas de caixilharias existentes (Torres, 2009). As manifestações de condensações poderão surgir nas superfícies externas (**Fig. 2.12a**) e internas dos envidraçados ou no interior de caixa-de-ar de vidros múltiplos, sendo que em situações de vidros simples só se verificam as duas primeiras ocorrências, mencionadas anteriormente (Torres, 2009).



**Figura 2.12** - Representação de alguns exemplos de anomalias em caixilhos de alumínio e de PVC: a. Condensação interior em vidros duplos (Santos, 2012); b. Acumulação de detritos em calhas (Vicente, 2012); c. Descolamento de cordão de estanqueidade mal colocado (Vicente, 2012); d. Empolamento da lacagem (Santos, 2012; Amtec, 2012) e. Deformações de juntas entre caixilhos (Vicente, 2012).

**Quadro 2.9** - Anomalias mais comuns em caixilharias de edifícios recentes e as suas possíveis causas (Santos, 2012; Torres, 2009; Vicente, 2012).

| Anomalias  |   | Causas   |                               |
|--|---|--|-------------------------------|
| Condensações   | Condensações no exterior dos vidros.              | Insuficiente ventilação.<br>Elevada humidade ambiente.<br>Isolamento térmico insuficiente.                         |                               |
|  | Condensações no interior dos vidros múltiplos.    | Deficiência de fabrico.<br>Perda de estanquidade da lâmina de ar.  |                               |
| Descolamentos<br>Desprendimentos<br>Ausências de peças | Descolamento/Ausência de cordões de estanquidade. | Ação química ou biológica.<br>Ausência de preparação da superfície.  |                               |
|  | Desprendimentos de peças.                         | Ação mecânica.   |                               |
|  | Ausência de peças.                                | Material de deficiente qualidade.  |                               |
| Deformações  | Distorções e empenos                              | Variação da temperatura e humidade.  |                               |
|  | Dilatações.                                       | Insuficiência/Má distribuição de fixações na envolvente.   |                               |
|  | Mossas.   | Vidros mal calçados.   |                               |
| Folgas/Frestas   | Folgas entre aro e vão/folha                      | Utilização incorreta.  |                               |
|  | Desnivelamento entre folhas.                      | Deficiências no processo de montagem.  |                               |
|  | Juntas Abertas/Frestas.                           | Desgaste de peças.   |                               |
| Elementos danificados                                  | Vidros Quebrados.                                 | Ação do vento (pressão ou sucção).<br>Deformações das estruturas.<br>Impacto accidental.<br>Calceamento deficiente |                               |
|  |   | Dobradiças danificadas ou ausentes.  | Ausência de manutenção.       |
|  |   | Mecanismos de fecho danificados ou ausentes.   | Deficiente montagem.          |
|  |   | Acumulação de detritos   | Ausência de limpeza corrente. |
|  | Degradação  | Degradação do revestimento/acabamento.   | Utilização incorreta.         |
| Degradação dos materiais dos caixilhos.                |   | Corrosão.<br>Ação atmosférica.   |                               |
| Infiltrações   | Infiltrações de água.                             | Folgas incorretas entre o aro e o vão.   |                               |

Não obstante a tal facto, também é bastante frequente observar-se anomalias em mastiques (**Quadro 2.10**) e em cordões de estanquidade (**Fig. 2.12c**), deposição de detritos, sujidade e colonização biológica em componentes de caixilho (**Fig. 2.12b**) e degradação (**Fig. 2.12d**), desgaste e deformações nos materiais de caixilho, devido aos fatores físico-químicos, fatores de localização e fatores biológicos.

**Quadro 2.10** - Principais causas de deterioração dos mastiques (adaptado de Santos, 2012 citando Martins & Pereira, 2006).

| Agentes de deterioração | Efeitos  |
|-------------------------|--|
| Temperatura             | Efeito de retracção e/ou endurecimento ou desenvolvimento de deformação.   |
| Água                    | Através das ações físicas, químicas ou corrosivas, a água poderá provocar: erosão, dissolução, endurecimento, perda da aderência por corrosão, infiltrações, formação de bolhas, entre outras. |
| Sol                     | Os raios ultravioletas podem provocar degradação química e alteração da cor.   |
| Químicos                | A ação dos gases atmosféricos e/ou dos produtos de limpeza pode provocar transformações químicas.  |
| Microrganismos          | Os microrganismos podem provocar descolorações.  |
| Movimentos de Junta     | Devido às variações dimensionais da junta, desenvolve-se a deformações de tracção ou de compressão que o podem levar à descolagem ou rotura.   |
| Deterioração mecânica   | Deteriorações provocadas pelas aves ou mesmo actos de vandalismo.  |

Outro problema bastante associado aos caixilhos consiste na insuficiência de estanquidade de estagnação de água, devido ao emprego de folgas incorretas entre o aro e o vão, esquadrias erradas (**Fig. 2.12e**) e a conceção imperfeita do sistema de evacuação de águas (Santos, 2012 citando AQC, 2012b). Tal anomalia poderá originar infiltrações indesejáveis para o interior das edificações.

## 2.5.3 REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS

### 2.5.3.1 REVESTIMENTOS DE PAREDES E TETOS

Em paredes e tetos existe uma grande variedade de revestimentos e acabamentos aplicáveis. Como tal, poder-se-á observar situações anómalas distintas e comuns entre os mais diversificados revestimentos empregues nos elementos construtivos em análise. Os revestimentos poderão classificar-se por revestimentos de estanqueidade, revestimentos de impermeabilização, revestimentos de isolamento térmico (pelo exterior) e revestimentos decorativos (Pereira, 2008 citando Lucas, 1990).

#### 2.5.3.1.1 REBOCOS

Segundo Flores-Colen & Brito (2012) as argamassas de revestimento de paredes são designadas por rebocos, que consistem numa mistura de um ou mais ligantes, agregados e eventualmente adições e/ou adjuvantes. Esta tipologia de argamassa é frequentemente utilizada para revestir paredes exteriores ou interiores e tetos, possuindo uma infinidade de variedades de acabamentos. Das anomalias correntes em rebocos (com ou sem pintura) (**Fig. 2.13**) destacam-se as fissurações, as escorrências, os destacamentos, as manchas de humidade, a sujidade, as diferenças de tonalidade e a colonização biológica, em que a tipologia/ incidência destas anomalias poderá variar consoante o sistema de reboco aplicado (Flores-Colen & Brito, 2012) (**Quadro 2.11**). Porém no **Quadro 2.12** encontram-se as causas mais prováveis das anomalias comuns na generalidade dos rebocos.

**Quadro 2.11** – Representação das anomalias mais comuns em rebocos tradicionais e pré-doseados de monocamada (adaptado de Flores-Colen & Brito, 2012).

| Tipo de Rebocos                                 | Situações Anómalas                             |                                      |
|---|--|--------------------------------------|
| Rebocos tradicionais <sup>3</sup>               | Fendilhação                                    | Mapeada e orientada                  |
|   |  | Do suporte                           |
|   | Perda de aderência                             | Descolamento/Destacamento            |
|   |  | Abaulamento                          |
|   |  | Eflorescências e criptoflorescências |
|   | Desenvolvimento de fungos e bolores            |                                      |
|   | Surgimento de “Fantasmas”                      |                                      |
| Manchas de humidade e de sujidade               |  |                                      |
| Rebocos pré-doseados de monocamada <sup>4</sup> | Carbonatação                                   |                                      |
|   | Manchas associadas à heterogeneidade de aspeto |                                      |
|   | Sujidade e arestas partidas                    |                                      |

Tal como mencionado anteriormente, a água é a causa primária de muitas anomalias de elementos ou componentes construtivos em edifícios, em que os rebocos não são exceção a tal facto. Na realidade, a presença de um teor de humidade elevado ao desejado, permite a ocorrência das reações físicas, químicas (aparecimento de eflorescências) e biológicas à superfície ou no seio do revestimento (Flores-Colen, 2008). Contudo, a fendilhação é a anomalia com maior influência no comportamento dos rebocos exteriores, já que afecta a sua capacidade de impermeabilização, prejudica gravemente a aderência e, ao permitir infiltrações de água/outros agentes, com a fixação de microrganismos, reduz a durabilidade do revestimento e da própria parede (Flores-Colen & Brito, 2012 citando Gaspar, 2003; Galvão, 2009; Magalhães, 2002; Gaspar *et al.*, 2006).

<sup>3</sup> Á base de argamassa de cimento e areia, com duas ou três camadas.

<sup>4</sup> Á base de cimento, de areia, de adjuvantes, de adições e de pigmentos.



**Figura 2.13** - Representação de algumas anomalias correntes em rebocos (Flores-Colen, 2008): a. Criptoflorescência, b. “Fantasmas”; c. Formação biológica – Líquenes; d. Fissuração mapeada; e. Deformação ou empolamento.

Outra ocorrência bastante corrente em rebocos é a perda de aderência caracterizada pelo descolamento entre o reboco e suporte, onde em certos casos assiste-se ao destacamento e despreendimento do reboco em relação ao suporte aplicado (Flores-Colen & Brito, 2012).

**Quadro 2.12** – Representação das causas possíveis de anomalias em rebocos (adaptado de Flores-Colen & Brito, 2012).

| Tipo de Anomalias                       | Possíveis causas associadas  |  |
|---|--|--|
| Anomalias associadas à presença da água | Aplicação do reboco antes da secagem adequada do suporte (humidade de construção). |  |
|   | Existência de zonas em contacto com o solo (humidade do terreno).                  |  |
|   | Reboco com elevada permeabilidade á água líquida (humidade de precipitação).       |  |
|   | Existência de sais higroscópicos que fixam à água.                                 |  |
|   | Causas Fortuitas (rotura de canalizações, tubos de queda, entre outras).           |  |
| Fendilhação e Fissuração                | Reboco   | Retração e dilatação.                        |
|   |  | Contrações higrométricas.                    |
|   |  | Gelo/degelo.                                 |
|   |  | Deficiente dosagem na execução de argamassa. |
|   |  | Espessura inadequada do revestimento.        |
|   | Excesso de água na amassadura.   |  |
|   | Suporte  | Deslocamento.                                |
|   |  | Reações com sais existentes.                 |
|   |  | Absorção excessiva.                          |
|   |  | Concentração de tensões junto a vãos.        |
| Corrosão de elementos metálicos         |  |  |
| Eflorescência e Criptoflorescências     | Presença de solúveis no reboco, no suporte ou na água.                             |  |
|   | Presença prolongada de humidade.   |  |
|   | Cal não carbonatada.   |  |
|   | Excesso de água na amassadura.   |  |
| Biodeterioração                         | Presença prolongada de humidade.   |  |
|   | Falta de ventilação/iluminação.  |  |
|   | Acumulação de pó, terra, sujidade e poluentes na superfície rebocada.              |  |
|   | Porosidade elevada do reboco.  |  |
| Sujidade                                | Alta rugosidade e porosidade do reboco.  |  |
|   | Deposição superficial de poeiras, fuligem ou poluentes.                            |  |
| Perda de aderência                      | Presença de humidade ou sais.  |  |
|   | Dilatações e contrações térmicas.  |  |
|   | Movimentos do suporte.   |  |
|   | Composição inadequada da argamassa.  |  |
|   | Impermeabilidade á água (líquida ou em vapor) do suporte.                          |  |
| Perda de coesão/desagregação            | Baixa dureza superficial do reboco.  |  |
|   | Cristalização de sais.   |  |
|   | Ação de organismos e microrganismos.   |  |
|   | Reação química do reboco com os materiais naturais e artificiais.                  |  |
| Erosão                                  | Poluição da envolvente.  |  |
|   | Ação de agentes atmosféricos (chuva, vento, variações de temperatura)              |  |
|   | Ação humana (ação de choques ou de atrito).  |  |

### 2.5.3.1.2 REVESTIMENTO POR PINTURA

Na generalidade dos edifícios recentes, as paredes exteriores e interiores poderão ser pintadas com uma enorme diversidade de tintas, de base aquosa ou de solvente orgânico, obtendo-se acabamentos com cor, textura e brilho variáveis. E como tal, obtém-se um conjunto significativo de anomalias (**Fig. 2.14**), associado à multiplicidade de causas associadas (**Quadro 2.13**), do revestimento em análise.

Segundo Aguiar *et al.* (2006), as principais causas de anomalias nos revestimentos por pintura poderão provir da formulação do sistema e do processo de aplicação deficientes (condições adversas de humidade e de temperatura), assim como devido a outras circunstâncias ocorridas durante o tempo de vida útil (falta de aderência à base, acesso da humidade à base de aplicação, ação de agentes atmosféricos, fendilhação e porosidade excessiva) da tipologia de revestimento em análise. Chaves (2009) chega mesmo afirmar que o sucesso de um revestimento de pintura depende do tipo e da natureza da preparação das superfícies a pintar (inutilização de primário e ausência de trabalhos de limpeza de sujidade), da qualidade e compatibilidades dos produtos escolhidos (aplicação de tinta impermeável ao vapor de água, evitando, desta forma, o ciclo de respiração entre os períodos de humedecimento e de secagem) e ainda das condições ambientais presentes.



**Figura 2.14** - Representação de anomalias em revestimentos de pintura: a. Fissuração (Chaves, 2009); b. Criptoflorescência (Chai, 2011); c. Destacamento (Chai, 2011); d. Colonização biológica (Chai, 2011); e. Empolamento (Chai, 2011).

Não obstante a tal facto, será expressamente necessário compreender a composição do suporte, e por consequência as particularidades do mesmo, a fim de se evitar situações de incompatibilidade física, química e mecânica entre a pintura e a base de aplicação. Como tal, a presença de situações anómalas no suporte (fendilhação, excesso de humidade, eflorescências, erosão, etc.), poderá proporcionar a continuação e/ou agravamento das mesmas ou o surgimento de anomalias particulares no revestimento de pintura utilizado (pulverulência, saponificação, intumescimento).

### 2.5.3.1.3 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Um revestimento cerâmico é um “sistema de revestimento” constituído pelos ladrilhos cerâmicos, pela camada de assentamento e pelo produto de preenchimento das juntas entre os ladrilhos (Sousa, 2008 citando Lucas, 2001). Resultado de tal facto, evidencia-se divergentes situações de anomalias nos dois componentes do referido sistema de revestimento.

De uma forma geral, as anomalias mais correntes dos revestimentos cerâmicos (**Quadro 2.14**) afetam o seu desempenho no campo da segurança na utilização (falta de aderência), da funcionalidade e do aspeto estético (enodoamento, eflorescências, desgaste, alteração de cor e deterioração das juntas) (Sousa, 2008 citando Sá, 2005).

**Quadro 2.13** – Representação das causas possíveis das anomalias em revestimento de pinturas (Aguiar *et al.*, 2006; Cóias, 2006; Chaves, 2009; Simões, 2012; Chai, 2011).

| Tip de Anomalias  | Possíveis causas associadas  |
|---|--|
| Fissuração  | Produto mal formulado.   |
|   | Revestimento duro/quebradiço aplicado sobre substrato sujeito a variações dimensionais.  |
|   | Diferença de elasticidade entre duas camadas de revestimento de tinta.   |
|   | Condições de exposição desfavoráveis (temperaturas elevadas, radiação UV).   |
|   | Movimentos estruturais e/ou movimentação deformação do suporte.  |
| Empolamento   | Aplicação inadequada das camadas (intervalo insuficiente entre mãos).  |
|   | Deficiente preparação da base.   |
|   | Humidade relativa e temperaturas elevadas durante a aplicação e a secagem.   |
| Destacamento  | Bases húmidas e revestimentos impermeáveis.  |
|   | Falta de aderência, nomeadamente, por incompatibilidade com o material da base.  |
|   | Teor de água elevado do suporte.   |
|   | Eflorescências.  |
|   | Deficiente preparação da base.   |
|   | Aplicação de um primário inadequado ou inutilização do mesmo.  |
|   | Presença de partículas não aderentes e sujidades.  |
|   | Condições de aplicação desfavoráveis (humidades e temperaturas elevadas)   |
|   | Tempo insuficiente ou demasiado prolongado entre aplicações subsequentes.  |
| Incompatibilidade física, química e mecânica entre a pintura e a base de aplicação. |  |
| Pulverulência   | Características da tinta, incompatíveis com as condições de exposição do revestimento.   |
|   | Ação dos agentes atmosféricos.   |
|   | Envelhecimento natural do revestimento.  |
|   | Aplicação inadequada (espessura reduzida).   |
|   | Incompatibilidade do produto com a base de aplicação.  |
| Saponificação   | Incidência elevada de raios UV, temperatura, humidade e oxigénio.  |
| Manchas   | Dissolução do ligante.   |
|   | Teor de água elevado do suporte.   |
| Perda/Alteração da cor  | Heterogeneidade do suporte.  |
|   | Ação dos agentes atmosféricos.   |
|   | Ataque químico.  |
| Bolhas ou ampolas   | Utilização de pigmento inadequados à exposição no exterior.  |
|   | Tinta demasiado impermeável ao vapor de água.  |
| Escamação   | Aplicação em condições deficientes ou sobre substrato mal preparado (falta de primário).   |
|   | Tinta demasiado impermeável ao vapor de água.  |
| Eflorescências  | Aplicação em condições deficientes ou sobre substrato mal preparado, humidificado em excesso na altura da pintura ou sem primário promotor de aderência. |
| Perda de brilho   | Humidade ascendente, infiltrações.   |
|   | Envelhecimento natural do revestimento.  |
|   | Base de aplicação excessivamente absorvente.   |
| Desenvolvimento de musgo, fungos e bactérias  | Condições de exposição desfavoráveis (atmosferas poluídas, elevada radiação UV).   |
|   | Permanência de temperatura e humidade elevadas e condições de ventilação e radiação solar insuficientes.   |
|   | Sistemas de pintura com baixo teor em fungicidas.  |
| Intumescimento  | Presença de sais e humidade no suporte.  |
|   | Utilização de pigmentos com elevada capacidade absorvente.   |
|   | Condições de exposição desfavoráveis.  |
|   | Humidade excessiva.  |

O descolamento de ladrilhos é frequentemente verificado no sistema de revestimentos cerâmicos, podendo-se manifestar através da ocorrência de empolamentos (**Fig. 2.15b**) (arqueamento dos ladrilhos cerâmicos por desprendimento de ladrilhos contíguos formando um arco com flecha para o exterior (Sousa, 2008)) ou de destacamentos (**Fig. 2.15a**) (desprendimento dos ladrilhos cerâmicos relativamente ao suporte resultando na sua queda). Segundo vários autores (Just; Franco (2001), Lucas; Abreu (2003) e Lo (2002)), o fenómeno de descolamento de ladrilhos cerâmicos é considerado como o mais gravoso, da totalidade das anomalias do revestimento referido, visto que para além de

colocar em causa a segurança dos utentes, implica uma reparação célere e dispendiosa (Silvestre, 2005). Contudo, para além das circunstâncias anteriores, as manifestações de descolamento de um revestimento cerâmico poderão prejudicar o desempenho do suporte em que se encontra aplicado, devido à facilidade de penetração da água em ambos (Aguiar *et al.*, 2006).

**Quadro 2.14** - Representação das anomalias mais correntes em ladrilhos colados (Aguiar *et al.*, 2006; Sousa, 2008; Silvestre, 2005).

| Anomalias                      | Sintomas  | Possíveis causas associadas  |
|--------------------------------|---|--|
| Eflorescências                 | Manchas esbranquiçadas na superfície dos ladrilhos.                         | Cristalização na superfície dos ladrilhos de sais transportados pela água.   |
| Descolamento                   | Perda de aderência, relativamente ao suporte, com ou sem empolamento.       | Movimentos diferenciais suporte/revestimento.  |
|                                |   | Aderência insuficiente entre as camadas de revestimento.   |
|                                |   | Ausência de juntas elásticas no contorno do revestimento.  |
|                                |   | Deficiência de suporte (deficiência de limpeza, planeza e porosidade).   |
| Fissuração                     | Fissuras que atravessam toda a espessura dos ladrilhos.                     | Fendilhação do suporte.  |
|                                |   | Movimentos diferenciais suporte/revestimento.  |
|                                |   | Contração ou expansão do produto de assentamento.  |
|                                |   | Choque em ladrilhos mal assentes.  |
|                                |   | Rotura por flexão em ladrilhos mal assentes.   |
|                                |   | Choque térmico.  |
| Esmagamento ou lascagem        | Bordos dos ladrilhos esmagados ou lascados                                  | Movimentos diferenciais suporte/revestimento que resultam em compressão nos ladrilhos.                                       |
| Enodoamento prematuro          | Manchas de produtos enodoantes.   | Seleção inadequada dos ladrilhos.  |
| Riscagem ou desgaste prematuro | Riscagem, desgaste ou desaparecimento do vidrado.                           | Textura superficial ou abertura dos poros na superfície dos ladrilhos.   |
| Alteração de cor e brilho      | Alteração localizada da cor inicial dos ladrilhos.                          | Ataque químico.  |
|                                |   | Desgaste nas zonas de maior circulação.  |
| Pequenas crateras à superfície | Crateras à superfície dos ladrilhos, apresentando no fundo um ponto branco. | Expansão (explosiva), por hidratação de partículas de óxido de cálcio (CaO), em presença de vapor de água e de água líquida. |
|                                |   | Seleção inadequada de ladrilhos.   |
| Sujidade superficial           | Acumulação de poeiras, manchas de escorrências de água.                     | Falta de limpeza regular.  |
|                                |   | Textura superficial do ladrilho favorável à retenção de sujidade.  |
| Deficiências de planeza        | Zonas com deficiências de planeza.  | Irregularidades de superfície do suporte que o produto de assentamento não conseguiu disfarçar.                              |
|                                |   | Incumprimento das regras de qualidade sobre planeza geral ou localizada da superfície a revestir.                            |
|                                |   | Empeno dos ladrilhos.  |
| Crescimento biológico          | Aparecimento de manchas de bolor, fungos ou vegetação.                      | Presença elevada de água ou de teor de humidade.   |

Segundo Silvestre (2005), a fendilhação (**Fig. 2.15e**) resulta da ocorrência de tensões de tracção no plano dos ladrilhos superiores às que são suportadas por este constituinte do revestimento, originando fendas ou fissuras que atravessam toda a espessura dos ladrilhos. Tal situação é verificada sempre que a tensão de aderência entre a camada de assentamento e os ladrilhos for alta (Silvestre, 2005). Para além da ocorrência da rotura superficial (fissuração) ou profunda (fendilhação), poder-se-á evidenciar

colonizações biológicas (**Fig. 2.15c**) nestes locais e/ou nas superfícies de ladrilhos, oriundo da deposição de sementes/partículas conjugado com condições de elevado teor de humidade.



**Figura 2.15** - Representação de anomalias em revestimentos cerâmicos: a. Destacamento (Silvestre, 2005); b. Empolamento (Silvestre, 2005); c. Colonização biológica (Silvestre, 2005); d. Eflorescências (Sousa, 2008); e. Fissuração (Silvestre, 2005).

Uma tipologia de anomalia bastante frequente na superfície dos ladrilhos cerâmicos aderentes é a ocorrência de eflorescências. Tal manifestação degrada o sistema de revestimento cerâmico (o material de assentamento, de preenchimento de juntas ou o suporte), devendo-se, essencialmente à cristalização de sais solúveis na superfície dos ladrilhos, evidenciando, frequentemente, as manchas esbranquiçadas inestéticas (**Fig.2.15d**) no mesmo (Sousa, 2008). Aparentemente, o fenómeno de eflorescências em revestimentos cerâmicos possui um carácter estético. Contudo, a permanência prolongada destas ocorrências poderá comprometer a durabilidade do sistema de revestimento cerâmico aderente, devido à perda da resistência do material de assentamento (no caso de conter cimento) ou até mesmo à formação de criptoflorescências que provoquem o descolamento dos ladrilhos (Silvestre, 2005 citando Goldberg, 1998).

Por fim, as manifestações de degradação de juntas (**Quadro 2.15**) são bastantes recorrentes. Segundo Sousa (2008), tais ocorrências influenciam a estanquidade do revestimento cerâmico e a capacidade de absorção de deformações do mesmo, comprometendo o desempenho espectral do referido sistema de revestimento.

**Quadro 2.15** - Representação das anomalias mais correntes no preenchimento de juntas entre ladrilhos (Aguar *et al.*, 2006; Sousa, 2008; Silvestre, 2005).

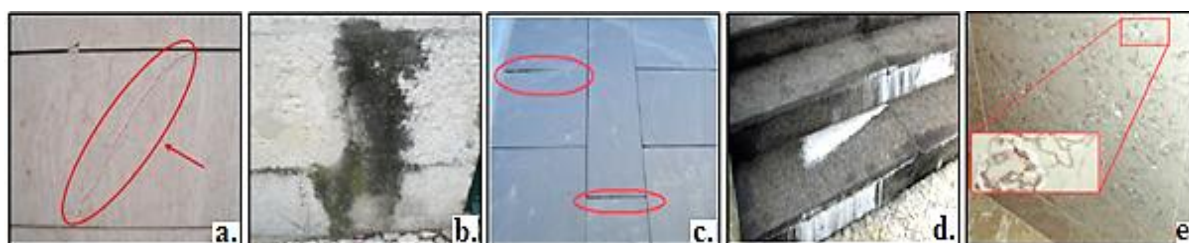
| Anomalias               | Sintomas  | Possíveis causas associadas  |
|-------------------------|---|--|
| Fissuração              | Fissuras no seio do produto, afetando toda a profundidade da junta.                           | Retração de secagem inicial do produto de preenchimento das juntas ou contrações – expansões cíclicas devidas a variações termo-higrométricas.     |
|                         |   | Extensões de rotura, em tracção ou compressão, insuficientes para absorverem os movimentos transmitidos à junta pelo revestimento ou pelo suporte. |
| Descolamento dos bordos | Abertura de uma fissura entre o produto e os bordos do ladrilho.                              | Aderência insuficiente do produto de preenchimento de junta aos bordos dos ladrilhos.  |
|                         |   | Inadequação da granulometria ou na consistência do produto à largura ou profundidade da junta.   |
|                         |   | Relação inadequada largura / profundidade da junta.  |
| Despreendimento         | Descolamento do produto dos bordos dos ladrilhos e no fundo da junta, soltando-se em seguida. | Evolução dos fenómenos que dão origem aos tipos de anomalias precedentemente descritos.  |
|                         |   | Expansão do produto de preenchimento, de base cimentícia, provocada por sulfatos contidos em produtos de limpeza.                                  |
| Enodoamento             | Alteração inestética da cor das juntas devida à fixação de sujidade.                          | Absorção e retenção, pelo produto de preenchimento de juntas, de produtos enodoantes, em forma de pó ou veiculados pela água.                      |

### 2.5.3.1.4 REVESTIMENTOS DE PEDRA

Nos edifícios mais recentes a utilização da pedra como elemento de revestimento em fachadas e em pavimentos, é cada vez mais comum. Este tipo de revestimentos é muitas vezes considerado um revestimento nobre, sendo utilizado como um meio para elevar o nível de acabamento ou de valorização do edifício (Aguiar *et al.*, 2006). Porém, o aumento da utilização de revestimentos pétreos não fomentou o aperfeiçoamento das soluções construtivas ao nível do projeto e de execução (Sousa *et al.*, 2005), proporcionando o aparecimento de diversas anomalias nos mesmos (**Quadro 2.16**).

Segundo Silva (2009), a execução de revestimentos de pedra natural deverá ser realizada tendo em conta fatores que influenciam o seu correto funcionamento durante a sua vida útil, em que a localização do edifício é talvez o factor de maior importância, sendo determinante na escolha do tipo de pedra e do tipo de fixação (fixação direta ao suporte (através de colagem ou selagem) ou fixação indireta ao suporte (através de agrafos e pontos de argamassa, gatos ou através da interposição de uma estrutura intermédia).

Tal como mencionado em §2.5.3.1.3, nos revestimentos pétreos persistem, igualmente, anomalias de carácter estético (eflorescências (**Fig. 2.16d**), manchas localizadas, sujidade superficial, alteração cromática, colonização biológica (**Fig. 2.16b**), graffiti, deficiência de planeza (**Fig. 2.16c**), as quais, aparentemente, não evidenciam perturbações/alterações ao sistema de revestimento em questão. Contudo, a presença prolongada de criptoflorescências poderá provocar empolamentos do revestimento (em condições de fixação direta) (Silva, 2009), onde em casos extremos, tal fenómeno, poderá desencadear o destacamento completo do revestimento pétreo.



**Figura 2.16** - Representação de anomalias em revestimentos pétreos (Silva, 2009): a. Fissuração; b. Colonização biológica; c. Deficiência de planeza; d. Eflorescências; e. Degradação.

Em igualdade de circunstâncias, a deterioração e a perda de colmatação nas juntas são bastante frequentes, na tipologia de revestimento em análise, proporcionando o aparecimento de outras tipologias de anomalias (descolamentos, eflorescências, criptoflorescências, alteração de cor, colonização biológica e fissuração) (Silva, 2009). No entanto, o que propicia a ocorrência da generalidade das anomalias, do referido revestimento, reside na elevada absorção combinada e na reduzida resistência mecânica dos mesmos (Silva *et al.*, 2011 citando Shohet *et al.*, 1999)

Por fim, os efeitos devidos à degradação do material (erosão, alveolização, picadura, escamação (**Fig. 2.16e**), esfoliação, pulverização e esfoliação), conjuntamente com as ocorrências de fracturação e de fissuração evidenciam a perda da integridade do material pétreo. A degradação do material do revestimento, na maioria das ocasiões, é derivada das condições adversas ambientais, em contraste com as situações de fracturação e de fissuração (**Fig. 2.16a**) que são relacionadas com ações mecânicas, com erros provindos da fase de execução e com defeitos do próprio elemento pétreo.

**Quadro 2.16** - Representação das anomalias mais correntes em revestimentos pétreos (Aguiar *et al.*, 2006; Silva, 2009).

| Anomalias                 | Sintomas/Observações  | Possíveis causas associadas  |
|---------------------------|---|--|
| Degradação                | Aumento de rugosidade de superfície.<br>Ocorrência do desgaste superficial do revestimento  | Agentes atmosféricos (precipitação).   |
| Sujidade                  | Deposição de diversos componentes estranhos (sulfatos, ferro e partículas carbonosas).  | Poluição atmosférica.  |
|                           | Formação de crostas.  | Acabamentos rugosos.   |
|                           | Degradações onerosas.   |  |
| Deficiência de planeza    | Em casos de revestimentos com juntas abertas, ocorre infiltração de água, facilitando assim a ocorrência de eflorescências, descolamentos, colonização biológica, criptoflorescências, alteração de cor e fissuração.   | Processo de colagem deficiente e irregular.  |
|                           |   | Formação de criptoflorescências sob a superfície do revestimento.  |
|                           |   | Má execução do processo de fixação indireta.   |
| Deterioração de Juntas    | Perda da funcionalidade das juntas, que consiste no impedimento da infiltração de água e na absorção das deformações do revestimento.   | Material de preenchimento fissurado.<br>Perda do material de colmatação.   |
| Manchas                   | Manchas de humidade.<br>Manchas que evidenciam alterações cromáticas.   | Fachadas expostas à ação da chuva aliada a ventos fortes.  |
|                           |   | Fissuração no revestimento.  |
|                           |   | Propriedades intrínsecas do revestimento (elevada absorção de água).   |
|                           |   | Envelhecimento do revestimento.  |
|                           |   | Reações químicas   |
| Fendilhação e fracturação | Anomalia dependente da intensidade e do período de atuação das causas e das características mecânicas da pedra.<br>A fissuração dá-se a nível superficial, podendo ser fina ou significativa, distribuindo-se por todo o revestimento sem orientação preferencial.<br>A fracturação dá-se em toda a profundidade do revestimento, originando em alguns casos a separação do elemento pétreo causando o seu afastamento. | Cargas excessivas.   |
|                           |   | Oxidação de chumbadouros de ferro.   |
|                           |   | Temperaturas excessivas por ocasião de incêndios.  |
|                           |   | Movimentos de natureza estrutural de paredes e de fundações.   |
|                           |   | Surgimento de choques acidentais ou de vandalismo.   |
|                           |   | Deformações do suporte por flexão, retração, dilatação e assentamento.   |
| Eflorescências            | Escorrimento de manchas esbranquiçadas.   | Inadequada seleção de materiais pétreos com elevada porosidade.  |
|                           |   | Elevado teor de humidade no suporte.   |
| Colonização biológica     | Desenvolvimento de fungos, algas, líquenes e musgos sob ou na superfície da pedra, nas juntas e fendas do revestimento.   | Ocorrência em condições propícias de luz e de humidade.  |
|                           | Surgimento de aspeto inestético, assim como provocação de ataque químico e físico à pedra.  | Microrganismos nutridos através dos sais e das matérias orgânicas que extrai do próprio material de revestimento a que se fixam. |
| Descolamento              | Na interface entre o agente de fixação (argamassa/cimento-cola/adesivo) e a placa pétreo.<br>Na interface entre o suporte (reboco) e o agente de fixação.<br>Por rotura do suporte, do agente de fixação ou da própria placa pétreo.  | Inadequada preparação do suporte (ausência de limpeza) e das placas de pedra natural.  |
|                           |   | Inadequado dimensionamento do sistema de fixação.  |
|                           |   | Ausência de dimensionamento de juntas de dilatação.  |
|                           |   | Inadequada seleção do material de preenchimento de juntas.   |
|                           |   | Inadequado dimensionamento do revestimento face aos coeficientes de dilatação térmica do material pétreo.                        |

### 2.5.3.2 REVESTIMENTOS DE PISOS

Segundo Aguiar *et al.* (2006), as anomalias que se registam em revestimentos de pisos muitas vezes têm origem em deficiências dos pavimentos que os suportam. Como tal, e tendo em conta que em §2.4.4 foram analisadas as anomalias estruturais dos pavimentos, no seguinte **Quadro 2.17** encontram-se as principais situações anómalas dos variados revestimentos aplicados, em pavimentos de edifícios recentes.

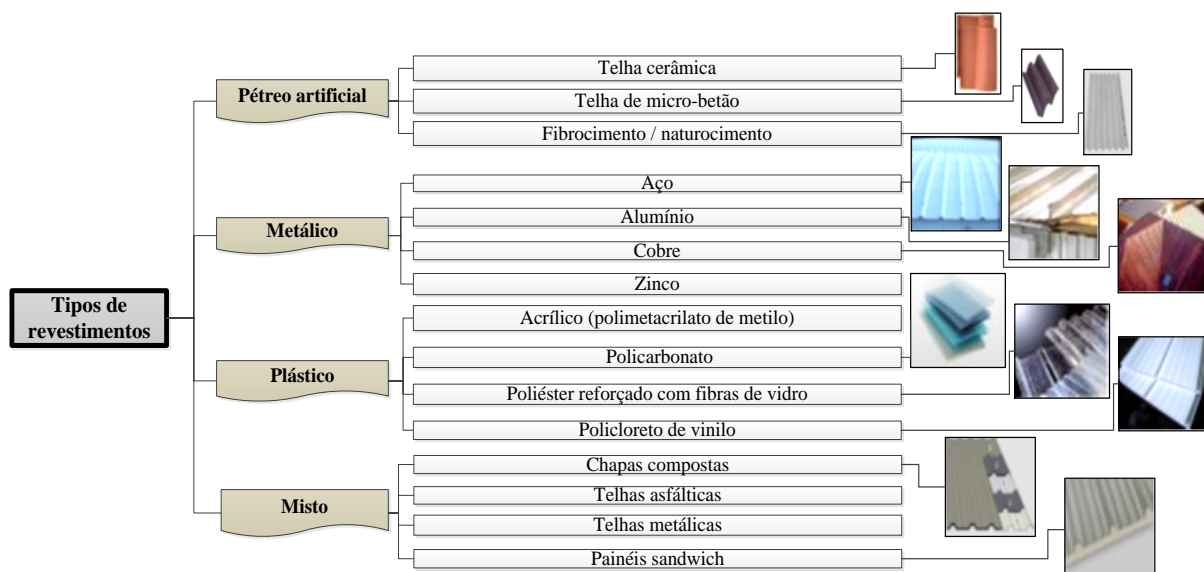
**Quadro 2.17** – Representação das anomalias e das suas respetivas causas em revestimentos de pisos de edifícios recentes (adaptado de Aguiar *et al.*, 2006).

| Causa de  | Sintomas/Observações   | Tipologia de revestimento   |
|---|--|---|
| Ação da humidade                                    | Descolamento de revestimentos fixados por colagem, por excesso de humidade na base de assentamento ou por lavagem excessiva com água abundante.                      | Tacos e lamelas em parquetes de madeira.  |
|   |  | Ladrilhos de aglomerado de cortiça.   |
|   |  | Revestimentos vinílicos, de linóleo, de borracha ou têxteis aplicados em ladrilhos. |
|   | Despregagem e empenos na sequência de variações dimensionais.  | Tábuas de soalho de madeira.  |
|   | Levantamento e arqueamento, devido ao seu entumescimento, quando as juntas entre ladrilhos têm largura muito reduzida e são refechadas com argamassa demasiada rica. | Ladrilhos de grés cerâmico.   |
|   | Deterioração de materiais orgânicos por ataque de agentes biológicos.  | Madeira, cortiça e têxteis.   |
|   | Deterioração por ataques de fungos de podridão.  | Placas de aglomerado de partículas de madeira.                                      |
| Fendilhação   | Levantamento de revestimentos, devido à deformação de lajes, devido a variações de temperatura e de humidade.  | Ladrilhos cerâmicos, revestimentos pétreos e pavimentos de madeira.                 |
|   | Fenómenos de retração do material.   | Pisos de betão armado ou acabamentos de betonilha de cimento.                       |
|   | Inexistência de esquadramento  |   |
|   | Retração nas camadas subjacentes.  | Elementos descontínuos rígidos (ladrilhos ou placas).                               |
| Camadas de assentamento rigidamente ligadas à base. |  |   |
| Envelhecimento e degradação dos materiais           | Descolamento de revestimentos, devido a deficiências do material ou por condições adversas de aderência entre o suporte e o revestimento.                            | Revestimentos de madeira.   |
|   | Desgaste prematuro e acentuado dos revestimentos devido ao uso.  |   |
|   | Alterações do aspeto, traduzidas pela descoloração, alteração da textura superficial, brilho, aparecimento de manchas.   | Ladrilhos cerâmicos.  |
|   | Acidentes (inundações, explosões).   | Revestimentos pétreos.  |

### 2.5.3.3 REVESTIMENTO DE COBERTURA

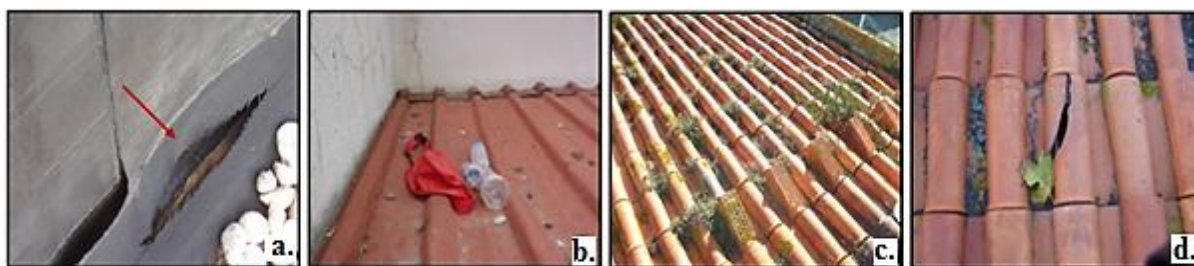
Os revestimentos exteriores de coberturas são um dos elementos não-estruturais mais relevantes de um edifício, devido à função que desempenham e à sua patologia associada à perda de estanqueidade, causando problemas estruturais ao nível da própria cobertura e do restante edifício, (Garcez, 2009 citando Sousa, 2003). Segundo Aguiar *et al.* (2006), as anomalias nos revestimentos de coberturas inserem-se nas de carácter não-estrutural, podendo ocorrer sob formas muito diversificadas dependendo da natureza dos materiais, das técnicas de construção utilizadas e ainda da origem das

causas e dos períodos de ocorrência das anomalias. Existem dois tipos de coberturas, inclinadas e em terraço, e cada tipologia é particularizada por um conjunto significativo de revestimentos (**Fig. 2.17** e **Fig. 2.19**).



**Figura 2.17** - Representação da tipologia de revestimentos em coberturas inclinadas (adaptado de Garcez, 2009).

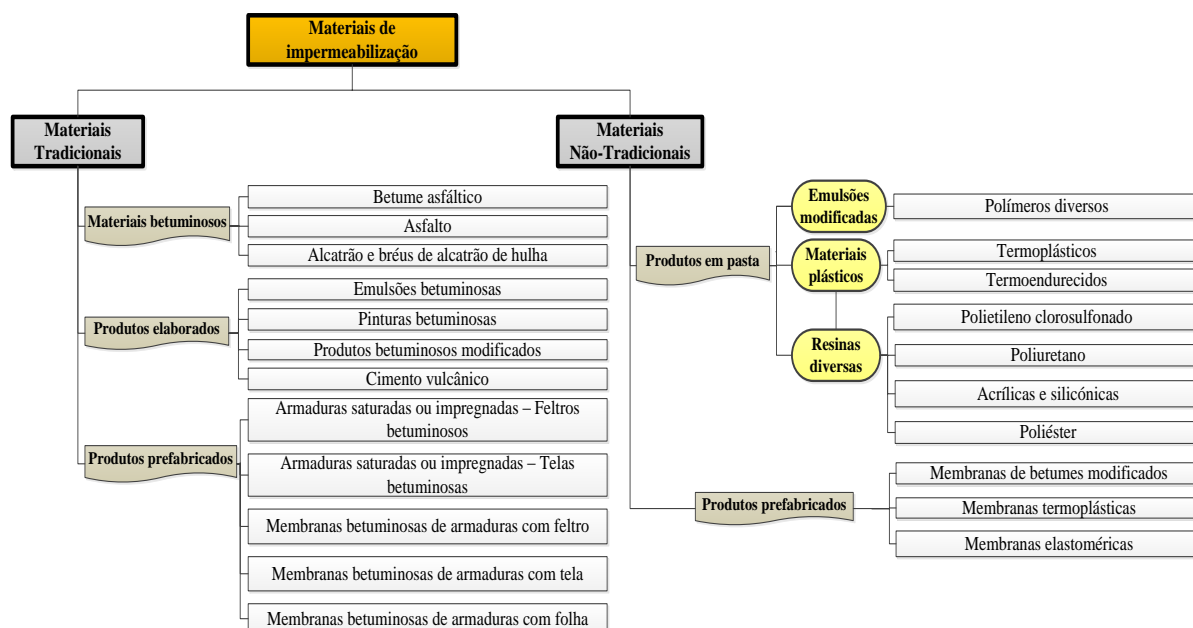
Respeitante às situações anómalas ocorridas em coberturas inclinadas (**Quadro 2.19**), cerca de 40 a 50% das anomalias são originadas por deficiências no projeto e cerca de 25 a 35% das anomalias devem-se a erros na execução (Garcez, 2009 citando Argilés *et al.*, 2000). As condensações correspondem a uma das formas de manifestação da humidade mais críticas para a ocorrência de anomalias nas coberturas (Aguiar *et al.*, 2006), sendo que as ocorrências de fissurações (**Fig. 2.18d**), deformações, deslocamentos em revestimentos, assim como acumulação de detritos (**Fig. 2.18b**) sobre os mesmos, poderão evidenciar pontos críticos de infiltração de água das chuvas. Este último facto levará ao desencadeamento do humedecimento dos materiais, assim como ao aparecimento de vegetação parasitária (**Fig. 2.18c**) sobre o revestimento aplicado. Por sua vez, as circunstâncias de inadequadas ou inexistentes inclinações, assim como as diversas falhas em fixações (em juntas e em remates) são particularidades com origem na fase de projeto e de execução em coberturas inclinadas.



**Figura 2.18** - Representação de anomalias em coberturas em terraço (Ginga, 2008) e inclinadas (Garcez, 2009): a. Fissuração no revestimento impermeabilizante de uma cobertura em terraço; b. Detritos em coberturas inclinadas; c. Vegetação parasitária em cobertura inclinada; d. Fissuração em revestimento cerâmico de cobertura inclinada.

De acordo com Lopes (2011), embora as anomalias em coberturas em terraço resultem, em geral, da contribuição conjunta de diversos fatores, poderia reduzir-se a sua ocorrência, ou mesmo eliminar-se,

pelo menos durante o tempo de vida útil dos materiais das várias camadas da cobertura, caso houvesse uma melhor definição das soluções preconizadas.



**Figura 2.19** - Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas planas (adaptado de Lopes, 2010).

O enquadramento das principais anomalias em coberturas em terraço poder-se-á realizar de acordo com diversos critérios (Lopes, 2011). No presente trabalho, ir-se-á classificar e analisar as anomalias através do critério da localização na cobertura, dividindo-se em duas zonas distintas: superfície corrente (**Quadro 2.20**) e pontos singulares (**Quadro 2.18**).

**Quadro 2.18** - Relação entre anomalias e causas nos revestimentos de impermeabilização de pontos singulares de coberturas em terraço (Ginga, 2008; Lopes, 2011).

|  | Anomalias   | Possíveis causas associadas   |
|--|---|---|
| Em platibandas e elementos emergentes              | Anomalias em juntas de dilatação  | Defeitos de conceção.   |
|  |   | Camada de proteção rígida sem interrupção sobre a junta.                                      |
|  |   | Realização dos remates das juntas de dilatação ao nível da superfície corrente.               |
|  |   | Falta de qualidade na mão-de-obra.  |
|  | Descolamento do remate  | Inadequação do produto de colagem.  |
|  |   | Ataque dos revestimentos por raízes.  |
|  |   | Sentido incorreto de aplicação do revestimento.   |
|  |   | Ausência de fixação mecânica complementar do remate.  |
|  |   | Deficiente processo de fixação dos revestimentos.   |
|  |   | Superfície irregular dos elementos emergentes (reboco insatisfatório, alto teor de humidade). |
|  | Insuficiente altura dos remates   | Erros de projeto e de execução.   |
|  |   | Altura reduzida do remate em relação à superfície corrente.                                   |
| Fluência ou deslizamento                           | Inexistência de fixação mecânica complementar.  |   |
|  | Ação da temperatura devida a radiação solar.  |   |
|  | Desenvolvimento excessivo em altura do remate.  |   |
| Fissuração de remates                              | Inexistência de juntas de esquadramento na proteção rígida da superfície corrente.      |   |
|  | Movimentos diferenciais acentuados entre a estrutura resistente e o elemento emergente. |   |
|  | Inexistência de proteção vertical e fracionada por juntas no remate.                    |   |
| Anomalias em locais de evacuação de águas pluviais | Obstruções à evacuação da água.   |   |
|  | Deficiente ligação do revestimento com dispositivos de evacuação da água.               |   |
|  | Inadequada disposição construtiva das caleiras.   |   |
|  | Utilização inadequada dos acessórios de caleiras.                                       |   |

**Quadro 2.19** - Representação das anomalias mais correntes em coberturas inclinadas (Aguiar *et al.*, 2006; Garcez, 2009).

|  | <b>Anomalias</b>   | <b>Sintomas/Observações</b>   | <b>Possíveis causas associadas</b>  |
|--|--|---|---|
| Anomalias no revestimento                | Condensações   | Coberturas localizadas em regiões climáticas com temperaturas do ar baixas e em locais interiores com elevada produção de vapor de água (cozinhas, piscinas, etc.). | Sistemas de ventilação e isolamento térmico deficientes.  |
|  |  | Formação de manchas escuras de retenção de poeiras e pelo desenvolvimento de fungos e bolores.  | Inexistência ou descontinuidade da barreira pára-vapor.   |
|  | Deformações acentuadas   | Aparecimento de zonas de convexidade e concavidade nos revestimentos.   | Assentamentos e fluência da estrutura de suporte.   |
|  |  | Abertura de juntas longitudinais e transversais, proporcionando a perda de estanqueidade.   | Ação de agentes atmosféricos e outros.  |
|  | Desalinhamento   | Formação de descontinuidades e juntas e pontos que são favoráveis à penetração da humidade de precipitação na cobertura.  | Deficiente método de colocação de revestimento.   |
|  | Desprendimento<br>Descolamento   | Cobertura em exposição direta à entrada da água das chuvas.   | Coberturas com inclinações acentuadas.  |
|  |  | Degradação dos materiais de isolamento ou da estrutura de suporte.  | Elementos incorretamente colocados ou degradados.   |
|  |  | Infiltrações para o interior dos edifícios.   | Ação dos ventos fortes.   |
|  |  |   | Inexistência de elementos de fixação.   |
|  | Acumulação de detritos   | Dificuldade o escoamento das águas pluviais.  | Existência de animais sobre a cobertura, cuja ação (fezes, cadáveres e restos de ninhos).   |
|  |  | Proporciona o surgimento de vegetação parasitária.<br>Surgimento de reações químicas e alterações da tonalidade do revestimento.                                    | Permanência de detritos, entulhos e outros materiais de diferentes naturezas.   |
|  | Corrosão   | Alteração do aspeto da superfície e uma perda superficial de revestimento.  | Agentes atmosféricos.   |
|  |  | Significativa perda de material.  | Condensações.   |
| Desenvolvimento de colonização biológica | Desenvolvimento de plantas, fungos, líquenes, verdetes e musgos nos revestimentos das coberturas.  | Escoamento deficiente das águas pluviais e conseqüente estagnação das águas.  |   |
|  |  | Acumulação de detritos.   |   |
|  |  | Insuficientes condições de arejamento.  |   |
| Fissuração<br>Fracturação                | Surgimento de pontos de infiltração de água.<br>Degradação progressiva do revestimento.  | Assentamentos diferenciais dos elementos da estrutura de suporte.   |   |
|  |  | Existência de vãos excessivos associados à fixação de cargas não previstas no projeto.  |   |
|  |  | Ações de choque.  |   |
|  |  | Redução da resistência mecânica.  |   |
|  |  | Desnívelamento dos apoios, devido ao incorreto posicionamento inicial ou por cedência posterior da estrutura.   |   |
|  | Constrangimento dos elementos por fixações demasiado rígidas e sem folga, que impedem a deformação quando sujeitos a variações térmicas. |   |   |
| Defeitos de Projeto ou de execução       | Anomalias em Fixações  | Perda de estanqueidade da cobertura pelos orifícios atravessados pelas peças de fixação.  | Ausência ou insuficiência de fixações.<br>Ocorrência de deformação e corrosão.  |
|  | Degradação de cordões de estanqueidade   | Ocorrência de infiltração de água nas coberturas.   | Movimentos de origem térmica e o aparecimento de tensões de corte superiores à capacidade de aderência dos cordões às superfícies das chapas. |
|  | Sobreposição insuficiente ou excessiva   | Ocorrência de infiltração de água e do incorreto funcionamento da cobertura, em locais de sobreposição incorreta de revestimento.                                   | Incumprimento de valores de recobrimento transversal e longitudinal e do nº de unidades a colocar por m <sup>2</sup> .                        |

Assim sendo, a principal causa da deterioração dos revestimentos impermeáveis resulta da elevada sensibilidade aos agentes de envelhecimento natural, das condições de exposição, das variações de temperatura e das alternâncias de humidade (Garcez, 2009 citando Gomes, 1968), podendo, em casos extremos, originar fissurações (**Fig. 2.18a**). Porém, a ocorrência de humidade em revestimentos de impermeabilização tem uma ação nociva nos mesmos, visto que poderá originar alterações nas propriedades físicas dos revestimentos (aumento da condutibilidade térmica), degradações, empolamentos e apodrecimento de materiais de revestimento orgânicos (Aguiar *et al.*, 2006).

**Quadro 2.20** - Relação entre anomalias e causas nos revestimentos de impermeabilização de superfícies correntes de coberturas em terraço (Aguiar *et al.*, 2006; Ginga, 2008; Lopes, 2011).

| Anomalias                               | Possíveis causas associadas  |
|---|--|
| Fissuração                              | Envelhecimento natural e/ou prematuro do material de impermeabilização.                              |
|   | Retração inicial e movimentos térmicos da camada de suporte devida à natureza do material            |
|   | Perda de matéria volátil por ação do calor provocando endurecimento e retração do revestimento.      |
|   | Envelhecimento natural e/ou prematuro do revestimento, por perda dos constituintes voláteis.         |
|   | Aplicação inadequada (processo construtivo, mão-de-obra).  |
|   | Variações de origem térmica do suporte.  |
|   | Inexistência de dessolidarização entre o revestimento e a proteção pesada.                           |
|   | Ausência de juntas de esquadramento na proteção pesada.  |
| Perfurações                             | Ausência de caminhos de circulação em coberturas de acesso limitado.                                 |
|   | Deficiente aderência do granulado mineral nos revestimentos de impermeabilização autoprotégidos.     |
|   | Ausência de proteção.  |
|   | Cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração, queda de objeto).                               |
|   | Cargas pontuais de natureza estática (permanentes, instalação de suporte).                           |
|   | Ausência de caminhos de circulação.  |
| Empolamentos                            | Fixação inadequada de equipamentos diversos e guarda de proteção.                                    |
|   | Deficiente fixação mecânica (ação da peça de fixação).   |
|   | Revestimentos de impermeabilização sem as características adequadas.                                 |
|   | Colagem inadequada das camadas do revestimento de impermeabilização.                                 |
|   | Presença de materiais estranhos confinados entre o revestimento e o suporte.                         |
|   | Falta de planeza e encurvamento do suporte de painéis isolantes.                                     |
|   | Existência de bolsas de ar vapor de água entre o revestimento e o suporte.                           |
| Descolamento das juntas de sobreposição | Ausência de proteção do revestimento de impermeabilização.   |
|   | Armazenamento indevido dos rolos de revestimentos de impermeabilização.                              |
|   | Aplicação do revestimento em condições atmosféricas desfavoráveis (ação de sucção do vento).         |
|   | Reduzida largura das juntas de sobreposição.   |
|   | Sentido incorreto de aplicação do revestimento de impermeabilização.                                 |
| Arrancamento do revestimento            | Ataque do revestimento por raízes de plantas.  |
|   | Quantidade insuficiente do produto de colagem.   |
|   | Aplicação do revestimento sem proteção pesada.   |
|   | Perda de aderência do revestimento ao suporte (número insuficiente de peças de fixação).             |
| Permanência prolongada de água          | Arrancamento do revestimento pelo vento devido ao descolamento das juntas de sobreposição.           |
|   | Arrancamento da proteção pesada devido à ação do vento (espessura insuficiente de elementos soltos). |
|   | Deformação acentuada dos suportes muito compressíveis.   |
|   | Ligação deficiente do revestimento com os dispositivos de evacuação de água.                         |
|   | Inadequada solução de traçado de redes de águas pluviais.  |
| Formação de pregas                      | Deslavagem dos produtos de colagem das juntas com perda de estanquidade.                             |
|   | Desenvolvimento de vegetação parasitária.  |
|   | Reduzida pendente.   |
|   | O revestimento não acompanha os movimentos de deformação das juntas ou fissuração do suporte.        |
| Formação de pregas                      | Material sem estabilidade dimensional ao calor (tipo de armadura, natureza).                         |
|   | Deficiente aplicação do revestimento de impermeabilização.   |
|   | Falta de proteção face ao calor.   |

## 2.6 Conclusão

Através da consulta de bibliografia das diversas especialidades mencionadas, no presente capítulo, procurou-se identificar, descrever e classificar as distintas anomalias evidenciadas na generalidade dos edifícios recentes, assim como as respetivas causas associadas a tais ocorrências.

As deficiências ao nível da conceção e projeto dos edifícios, associadas ao fornecimento de produtos de construção defeituosos, complementadas ainda por erros cometidos na fase de execução, dão origem a um vasto conjunto de anomalias cujo custo não é desprezável e que se traduzem numa perda inadmissível da qualidade da utilização de um edifício (Appleton, 1994).

Tendo em conta, que a determinação das origens/causas de uma dada anomalia, não é caracterizada pela objetividade e pela simplicidade de realização, haverá a necessidade de compreender os fenómenos anómalos, tendo em conta as suas particularidades de composição, as respetivas localizações (relativamente ao edifício em causa), assim como os principais processos/mecanismos de degradação, que desencadeiam os mesmos.

Como tal, o processo de obtenção das causas de anomalias terá que ser alicerçado pela conjugação da compreensão satisfatória das anomalias, assim como da realização de meios de diagnóstico adequados a dadas ocorrências. Será nesta fase que se retiram conclusões sobre o tipo, gravidade, extensão e causas das anomalias, definindo-se a solução de intervenção adequada a cada caso, de forma a eliminar as causas e reparar as possíveis anomalias evidenciadas, em qualquer local de um edifício recente.



## 3 Inspeção e Diagnóstico em Edifícios Recentes

### 3.1 Generalidades

O aparecimento significativo de inesperadas anomalias em edifícios recentes, em Portugal, tem-se tornado uma situação bastante complexa e urgente. De facto, são diversos os fatores que desencadeiam tais anomalias, destacando-se a complexidade crescente que se impõe às construções, a falta de sistematização do conhecimento, a velocidade exigida ao processo de construção, assim como a não utilização de qualquer sistema de diagnóstico, ou de realização de trabalhos de inspeção antecedentes a trabalhos de intervenção (desde trabalhos de reparação ligeira até aos processos de reabilitação).

Com o objetivo de acompanhar a recente mudança de paradigma no sector da construção, que envolve a passagem de relevância da construção nova para a reabilitação, a realização de técnicas de diagnóstico em edifícios tem vindo a impor-se cada vez mais, tendo como horizonte a fundamentação e o auxílio nas decisões das medidas de intervenção a implementar. Na realidade, uma vez detetada a existência de anomalias num edifício, para se garantir a eficácia de intervenção das mesmas, torna-se fundamental conhecer as causas e mecanismos em presença (Ribeiro & Cóias, 2003; Aguiar *et al.*, 2006).

Segundo Aguiar *et al.* (2006), o diagnóstico encontra-se associado à procura e à explicação das causas patológicas, mediante a observação e a análise dos seus efeitos. Porém, o diagnóstico não se resume apenas à caracterização das anomalias conhecidas, devendo-se entender, igualmente, como uma ferramenta auxiliar das inspeções periódicas de manutenção, com o objetivo de detetar precocemente novas anomalias e de as reparar com os menores custos (Ribeiro & Cóias, 2003).

Todavia, a associação das ocorrências e efeitos não é um processo direto. O processo de inspeção, passando pelo diagnóstico até à metodologia e aplicação de medidas corretivas, é caracterizado pela complexidade e pela incoerência de resultados, visto que em muitas das situações, não basta observar os efeitos para se obter uma possível solução, pois nem todas as consequências são evidenciadas através da inspeção visual (Aguiar *et al.*, 2006). Como tal, a análise dos elementos disponíveis, o testemunho dos utilizadores e a observação *in situ* para o estudo da situação real existente, ensaios *in situ* ou laboratoriais sobre os elementos de construção ou sobre provetes retirados, são etapas deste processo (Freitas *et al.*, 2008).

Antecedente à concretização dos possíveis diagnósticos de ocorrências, há que executar inspeções periódicas aos diversos elementos construtivos nos edifícios, com vista à apreensão do estado de conservação dos mesmos. De facto, estas operações permitem detetar, atempadamente, o aparecimento de anomalias imprevistas, contribuindo, decisivamente, para aferir o plano de manutenção elaborado na fase de projeto, planear novas ações de correção ou de prevenção e minimizar, de uma forma implícita, os custos de manutenção associados às ocorrências (Appleton & Baião, 1994).

Não obstante à forma ordenada e coerente com que a investigação terá que ser desempenhada durante a totalidade dos processos de inspeção e diagnóstico, a atitude e qualificação do investigador será, igualmente, crucial para a veracidade dos resultados posteriormente obtidos. De facto, tais

processos deverão ser realizados por técnicos qualificados e especializados que possuam conhecimento da patologia das construções e dos métodos de inspeção e diagnóstico (Flores-Colen, 2003; Aguiar *et al.*, 2006; Córias, 2006). O investigador terá que ter um grande conhecimento, não só das técnicas construtivas como também das características e do comportamento estrutural, dos materiais, da forma de execução e colocação correta e dos fatores prováveis que podem influir na origem das incompatibilidades (Aguiar *et al.*, 2006; Ferreira, 2010 citando Goicoechea *et al.*, 2006). Porém, a precisão e imparcialidade do técnico de peritagem, ser-lhe-ão bastante úteis, na recolha e debate de dados posteriormente obtidos (Taborda & Soeiro, 1994).

Assim sendo, o presente capítulo tem como finalidade expor a relevância do estabelecimento de um sistema estruturado e coerente referente à inspeção e ao diagnóstico em edifícios, não obstante ao facto de que este tipo de sistemas desempenha um papel bastante influente no que diz respeito à qualificação do desempenho das medidas intervencionais a desenvolver posteriormente. Como tal, foi realizado um levantamento do estado da arte no âmbito dos processos e meios de inspeção e diagnóstico, realizados em edifícios contemporâneos (dando mais ênfase aos ensaios *in situ* e aos instrumentos de auxílio à inspeção visual). Por consequência, primeiramente, apresentar-se-á um conjunto restrito de sistemas de inspeção e diagnóstico adotados em diversos componentes construtivos de edifícios, assim como de métodos de identificação e de diagnóstico de anomalias na construção. Posteriormente, serão abordadas metodologias de diagnóstico de anomalias, assim como a apresentação das técnicas de diagnóstico utilizadas (inspeção visual, ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais), descrevendo e analisando, minuciosamente, os meios de diagnóstico utilizados, efetivamente, no edifício em estudo.

## **3.2 Sistemas e métodos de inspeção e diagnóstico**

### **3.2.1 INTRODUÇÃO**

Segundo Brito (2009), é cada vez mais consensual prolongar a vida útil dos edifícios. Tal ação terá impactos benéficos quer na vertente económica, quer na vertente de sustentabilidade ambiental, proporcionando à atividade de manutenção e de reabilitação das infraestruturas uma importância ainda maior num contexto de análise de ciclo de vida. Como tal, será importante desenvolver uma nova metodologia de inspeção exigencial de modo a que todos os intervenientes no processo de reabilitação de edifícios disponham de um instrumento de trabalho que permita rapidamente obter informações corretas e adequadas sobre o edifício objeto de intervenção (Lanzinha *et al.*, 2001).

Ao longo dos tempos, os técnicos de engenharia e de arquitetura têm vindo a adquirir um vasto conjunto de ferramentas e de diretrizes capazes de fornecer apoio muito relevante à deteção de anomalias e das suas respetivas consequências (Appleton, 2002). De facto, nas últimas décadas a área da patologia da construção tem-se afirmado com alguma relevância no sector da construção, sendo objeto de um grande desenvolvimento, no que se refere à realização dos inúmeros estudos e investigações relacionadas com o tema (Lima, 2009 citando Henriques, 2006).

A primeira vez, em Portugal, que houve o cuidado de abordar e desenvolver o tema sobre as anomalias dos edificadados em Portugal, foi no âmbito do primeiro Encontro sobre a Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação (ENCORE) em Junho de 1985, realizado pelo LNEC, ao

realizar um capítulo completo e exclusivo sobre a Patologia na Construção. Este facto deveu-se à necessidade de apresentar de forma concisa e organizada a vasta matéria existente sobre o tema em análise (Lima, 2009), proporcionando um maior entendimento e posterior resolução das anomalias evidenciadas no edificado português. Daqui, surgiu o conceito das fichas de reparação de anomalias, que na realidade foram inspiradas em fontes bibliográficas inglesas (Lima, 2009 citando LNEC, 1985).

O modelo adotado para apresentação e exploração destas fichas de reparação de anomalias encontra-se agrupado em quatro partes distintas (sintomas, exames, diagnóstico de causas e proposta de reparação), onde pela primeira vez o conjunto das patologias é dividido por três categorias (Patologia Estrutural, Patologia não Estrutural e Instalações). Porém, a avaliação das anomalias foi realizada tendo como base os tipos de elementos construtivos em análise (fundações e infra-estruturas, estruturas de betão armado, construções de alvenaria e estruturas de madeira).

Semelhante ao elaborado pelo LNEC, em 1985, o grupo W086 *Buildings Pathology* publicou, em Junho de 1993, de um modelo de fichas de patologias, denominadas por “Cases of Failure Information Sheet” (Lima, 2009). Tal grupo pertence ao CIB (antiga abreviatura francesa para o Concelho Internacional da Construção, atualmente correspondente ao acrónimo de Investigação e Inovação da Construção Civil), encontrando-se responsável pela investigação e divulgação de todos os assuntos relacionados com a patologia na construção. Em Julho de 1999, perante o encontro do CIB W086 Building Pathology em Vancouver, ocorreu uma proposta de criação de um fórum (*Building Pathology Forum*), o qual permitisse publicar, agrupar e divulgar estudos sobre anomalias de edifícios. Desta forma, tornar-se-ia possível disponibilizar informação no âmbito da patologia, assim como apresentar os casos de patologia mais significativos e frequentes na construção, existentes nos diversos países (Sousa, 2004), permitindo a partilha de dados e experiências em diversos temas associados.

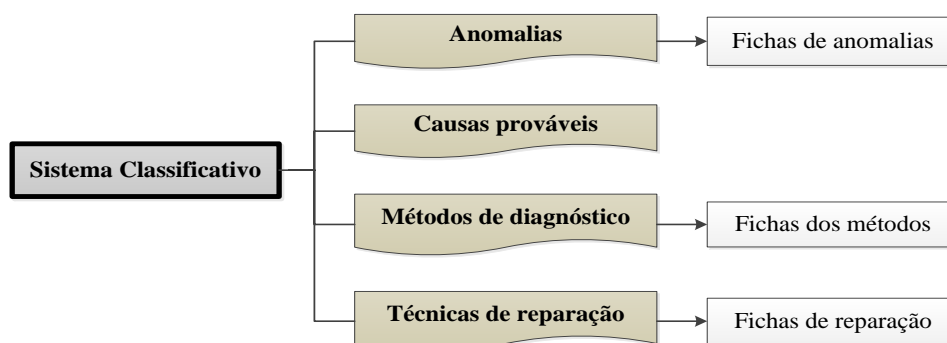
A aplicação de novos métodos de diagnóstico e intervenção poderá ter objetivos muito diferenciados, tais como: estudo de reabilitação de um edifício ou habitação; apoio na manutenção periódica de imóveis; melhoria da qualidade e transparência do mercado; otimização da gestão dos imóveis; redução do factor de risco em hipotecas e seguros; e conhecimento atualizado do estado do parque edificado das diversas administrações (Lanzinha *et al.*, 2001).

Como tal, será importante, e na maioria dos casos imprescindível, o estabelecimento de planeamentos, de metodologias e de fases diferenciadas nas atividades de inspeção e diagnóstico em edifícios, antes de qualquer intervenção corretiva ou preventiva de anomalias, pois irá possibilitar a recolha de informações/dados organizados, coerentes e verídicos. Tal facto deve-se bastante à falta de objetividade e de concordância que contemplam este tipo de trabalhos, os quais na maioria das ocasiões se devem à incorreta identificação das anomalias, ou até mesmo à errada correspondência entre as suas potenciais causas associadas. Na realidade, ao introduzir-se um sistema de inspeção e de diagnóstico em qualquer tipologia de edifícios, este proporcionará um conjunto de fatores vantajosos não só para quem está a realizar os trabalhos referidos, como também aos residentes ou potenciais utilizadores dos edifícios intervencionados.

Assim sendo, o presente subcapítulo irá apresentar alguns trabalhos e conhecimentos que têm vindo a ser elaborados e expostos, relativamente ao desenvolvimento de metodologias relacionadas com as atividades de inspeção e diagnóstico de anomalias em edifícios, em Portugal e na Europa.

### 3.2.2 SISTEMA CLASSIFICATIVO - MATRIZES DE CORRELAÇÃO

Tendo como objetivo a redução da subjetividade associada à recolha de informação e ao posterior diagnóstico de anomalias evidenciadas, foi estabelecido um procedimento normalizado, através da introdução de uma metodologia sistémica de inspeção e de diagnóstico, defendida por Jorge de Brito, em 1992. Tal processo integra um sistema classificativo das ocorrências (anomalias, causas, técnicas de diagnósticos e de manutenção/reabilitação), um conjunto de matrizes de correlação entre essas mesmas ocorrências, um conjunto de fichas normalizadas de anomalias, técnicas de diagnóstico e de manutenção/reabilitação e de inspeção e uma fase de validação de todos estes elementos técnicos (Brito, 2009). Será de referir, que uma das particularidades deste sistema classificativo insere-se no processo separativo do desenvolvimento metodológico por elementos de construção tipo, onde posteriormente as informações individualizadas serão integradas conjuntamente, com fim à interpretação e conjugação da totalidade dos resultados num sistema global de avaliação (Brito, 2009). Essencialmente, a organização deste tipo de sistema de inspeção e diagnóstico em edifícios, ou em elementos de construção poder-se-á apresentar de acordo com a **Figura 3.1**.



**Figura 3.1-** Organização do sistema de inspeção e diagnóstico de edifícios (adaptado de Brito, 1992).

Através da validação do sistema referido, foram realizados diversos trabalhos de investigação de edifícios, em distintos elementos construtivos, tendo como base a metodologia proposta (**Quadro 3.1**).

**Quadro 3.1** - Listagem dos trabalhos de investigação que tiveram como base de concretização a metodologia de sistema de classificação auxiliar aos trabalhos de inspeção e diagnóstico.

| Designação de Trabalhos de Investigação                 | Autor                      | Ano de Publicação |
|---|----------------------------|-------------------|
| Obras de arte rodoviária em betão                       | Jorge de Brito             | 1992              |
| Impermeabilizações de cobertura em terraço              | Ana Walter                 | 2002              |
| Envolvente não estrutural                               | Carlos Gonçalves           | 2004              |
| Revestimentos cerâmicos aderentes em pavimentos e pisos | José Silvestre             | 2005              |
| Revestimentos epóxicos em pisos industriais             | João Garcia                | 2006              |
| Juntas de Dilatação em pontes rodoviárias               | João Marques Lima          | 2006              |
| Paredes de Alvenaria                                    | Adelaide Gonçalves         | 2007              |
| Revestimentos de pisos lenhosos                         | Anabela Delgado            | 2008              |
| Revestimentos em pedra natural em pavimentos e paredes  | Natália Neto               | 2008              |
| Divisória de Gesso Laminado                             | Carlos Gaião               | 2008              |
| Estuques Correntes em paramentos interiores             | Ana Pereira e Filipe Palha | 2008              |
| Aparelhos de apoio em pontes rodoviárias                | Luís Freire                | 2008              |

Segundo Brito (2009), qualquer classificação deve ser exaustiva mas evitar repetições, ter uma organização lógica, evitar um excesso de detalhe que acaba por ser contraproducente e ser baseada

num critério classificativo claro e coerente. Como tal, a aplicação da presente metodologia proporciona uma maior coerência de resultados obtidos, devendo-se ao processo de identificação e classificação das ocorrências assim como ao meio de correlação entre as mesmas (utilização de matrizes de correlação). De facto, este sistema de inspeção e diagnóstico de edifícios é uma ferramenta indispensável à implementação de uma estratégia de manutenção pró - ativa, onde a sua metodologia reúne condições necessárias para a criação de base de dados e conseqüentemente o surgimento de conclusões e decisões quantitativas e qualitativas.

### **3.2.3 METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO “CAUSA-EFEITO”**

Um outro sistema de inspeção e diagnóstico baseado na correlação e no esclarecimento de anomalias identificadas em edifícios foi divulgado pelos autores Rui Taborda e Alfredo Soeiro, em 1994. Tal processo tem como principal finalidade a determinação de soluções terapêuticas a serem utilizadas em ações de reabilitação de edifícios degradados, como ao estabelecimento de premissas, que a serem seguidas durante o projeto, a construção e a manutenção, possam evitar, retardar ou minorar os inconvenientes do aparecimento dessas anomalias e respetivas conseqüências (Taborda & Soeiro, 1994).

Na referida metodologia não foi adotado nenhum processo de identificação e de classificação de anomalias, apenas foi considerado um método alternativo de análise lógica de um conjunto de relações “causas-efeito” (entre as potenciais causas e os efeitos patológicos), tendo como base um exaustivo levantamento e análise de dados, adquiridos nos trabalhos de inspeção, e a utilização de técnicas de previsão e de correlação entre as anomalias e as potenciais causas (Taborda & Soeiro, 1994).

Como tal, para além da recolha de informação pormenorizada, acerca do edifício, da envolvente, e das circunstâncias de anomalias, realiza-se uma relação probabilística entre as possíveis causas e ocorrências anómalas (Lima, 2009). De facto, a principal particularidade deste sistema insere-se na obtenção da probabilidade de ocorrência das anomalias, ao longo do tempo, através de técnicas dos limites superior e inferior para sistemas em série e através de técnicas de regressão temporais (Taborda & Soeiro, 1994). Por fim, elabora-se um conjunto de matrizes de correlação, com fim à obtenção do grau de interdependência entre as diversas ocorrências.

### **3.2.4 SISTEMA DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO TENDO COMO BASE O PROGRAMA SPSS**

Um outro sistema de inspeção e de diagnóstico de edifícios é referido por Araújo *et al.* (2009), tendo como base num tratamento estatístico de ocorrências através de um programa informático *SPSS* (Statistical Package for the Social Sciences), tendo sido aplicado na avaliação de anomalias não estruturais, localizadas na envolvente exterior de edifícios.

De facto, este sistema caracteriza-se pela sua inovação e originalidade, não só pela utilização de um programa estatístico para correlação e obtenção de dados (informações complementares acerca das origens das anomalias evidenciadas), como, igualmente, pela metodologia de classificação de anomalias utilizada (registada em fichas de inspeção). Assim sendo, tal sistema de classificação encontra-se composto por três classes e diferentes níveis de avaliação, em que a última classe, (Pseudo

– Quantitativa), representa a pontuação global considerando as duas classes anteriores (**Quadro 3.2**). A cada classe foram definidos níveis representados por ordem decrescente de gravidade com a respetiva pontuação, permitindo que seja mais fácil a obtenção de informação acerca da prioridade de intervenção de anomalias evidenciadas, devido à pontuação atribuída individualmente. Posteriormente, os dados registados são previamente exportados para folhas de cálculo com o objetivo de serem conjugados e delineados estatisticamente através do programa SPSS (Araújo *et al.*, 2009).

**Quadro 3.2** – Classificação das Anomalias (adaptado de Araújo *et al.*, 2009).

| Classe    | 1- Urgência de atuação |    |    |    | 2 – Segurança e bem - estar |    |    | 3 – Pseudo – Quantitativa (1 + 2) |            |           |           |           |
|-----------|------------------------|----|----|----|-----------------------------|----|----|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|           | Níveis                 | 0  | 1  | 2  | 3                           | A  | B  | C                                 | 1          | 2         | 3         | 4         |
| Pontuação |                        | 50 | 30 | 20 | 10                          | 50 | 20 | 10                                | ≥80 e ≤100 | ≥60 e ≤70 | ≥40 e ≤50 | ≥20 e ≤30 |

Na realidade, este tratamento estatístico (SPSS) de base de dados pode fornecer indicadores importantes sobre o estado de conservação de edifícios (identificação de anomalias e potenciais causas associadas), sendo bastante útil, no que diz respeito à delimitação de prioridades de intervenção das anomalias verificadas. Como tal, este tipo de informação torna-se bastante proveitoso para as câmaras municipais do País, a fim de tomarem conhecimento das regiões com maior necessidade de reparação de qualquer elemento construtivo constituinte de um edifício (Araújo *et al.*, 2009).

### 3.2.5 AVALIAÇÃO EXIGENCIAL DE EDIFÍCIOS

Conhecem-se diversos instrumentos de inspeção e diagnóstico aplicados a edifícios de habitação, dos quais podemos destacar o método EPIQR, o MER HABITAT e o Clau 2000 (Lanzinha *et al.*, 2007). Todos os sistemas de diagnóstico e inspeção, apresentados anteriormente, têm como metodologia de avaliação de elementos construtivos a atribuição de um grau qualitativo de deterioração, onde posteriormente realiza-se o cálculo da estimativa de custos de reparação associados. Porém, tais avaliações de diagnóstico em elementos construtivos são baseadas na análise de comparações de opiniões, obtendo-se, desta forma, conclusões excessivamente subjetivas, pois não se recorre à utilização de técnicas de ensaios, medições ou outros meios de diagnóstico mais coerente e racional.

Para avaliar a qualidade dos elementos construtivos em edifícios foi definido por Lanzinha *et al.* (2007), uma nova metodologia, tendo como base o conceito de avaliação exigencial, designada por Metodologia Exigencial de Reabilitação – MEXREB. Para além da análise comparativa do estado de degradação utilizada nos diversos métodos estudados, esta metodologia proposta permite comparar os desempenhos dos diversos elementos do edifício, com as exigências técnicas do seu funcionamento, estabelecidas em documentos regulamentares ou exigenciais, realizando sempre que possível análises técnicas, cálculos, medições e eventualmente ensaios *in situ*. Será importante referir, que se excluí uma possível classificação dos elementos construtivos de edifícios construídos anteriormente e que podem não cumprir os requisitos regulamentares de referência, que têm vindo a ser atualizados periodicamente (Santos & Lanzinha, 2009).

Durante o processo de avaliação dos elementos construtivos é determinado o desempenho dos elementos construtivos para diferentes situações, comparando-o com as exigências estabelecidas (**Quadro 3.3**), obtendo-se como resultando final da manipulação dos dados, o perfil do edifício estudado, relativamente ao grau de satisfação do conjunto das exigências previamente definidas (Santos & Lanzinha, 2009).

**Quadro 3.3** - Listagem das exigências impostas aos edifícios em análise (adaptado de Lanzinha *et al.*, 2007).

| Elementos da Envolvente | Zona em intervenção                            | Exigência  |
|-------------------------|--|--|
| Elementos verticais     | Opacas   | Isolamento Térmico.  |
|                         |  | Isolamento ao fogo.  |
|                         |  | Isolamento Acústico.   |
|                         |  | Estanquidade à água.   |
|                         |  | Controle da permeabilidade ao vapor.                             |
|                         |  | Compatibilidade parede / estrutura.                              |
|                         |  | Tratamento de Pontes Térmicas.                                   |
|                         | Envidraçados                                   | Estanquidade à água.   |
|                         |  | Controle da permeabilidade ao ar.                                |
|                         |  | Isolamento Térmico.  |
|                         |  | Isolamento Acústico.   |
|                         |  | Resistência ao Vento.  |
|                         |  | Controle da Transmissão Luminosa.                                |
|                         |  | Controle da condensação.   |
| Cobertura               | Zona comum                                     | Factor solar máximo.   |
|                         |  | Estanquidade à água do revestimento.                             |
|                         |  | Controle da permeabilidade ao ar.                                |
|                         |  | Controle da permeabilidade ao vapor.                             |
|                         | Ligações com elementos salientes e capeamentos | Resistência Térmica.   |
|                         |  | Estanquidade das ligações com elementos salientes e capeamentos. |
|                         | Drenagem de águas pluviais                     | Escoamento eficaz.   |

Por fim, com a análise dos elementos construtivos dos edifícios e das respetivas exigências e graus de satisfação respetivos, os resultados do diagnóstico provêm da atribuição de níveis de qualidade das ocorrências em consideração às 21 exigências estabelecidas (Santos & Lanzinha, 2009). Contudo será importante referir, que, na presente metodologia, apenas se considerou os elementos construtivos da envolvente exterior dos edifícios, devendo-se ao elevado grau de exposição dos mesmos.

Importará referir que a proposta apresentada tem especial interesse em classificar a situação atual dos edifícios existentes no que respeita à avaliação da qualidade térmica dos elementos da envolvente. De facto, tal circunstância permite estudar os melhores cenários para a reabilitação térmica dos edifícios intervencionados, uma vez que facilita a identificação dos pontos críticos, assim como as intervenções mais eficientes do ponto de vista da vertente económica (Lanzinha *et al.*, 2001).

Com a utilização da referida metodologia de diagnóstico e de intervenção em edifícios, não se pretende criar mais um programa de simulação ou mais um sistema pericial, pretende-se efetivamente a criação de uma ferramenta de apoio à reabilitação de edifícios existentes, que permita, de forma expedita, diagnosticar a qualidade de elementos construtivos e avaliar os níveis de qualidade das soluções de reabilitação a propor (Lanzinha *et al.*, 2001; Santos & Lanzinha, 2009).

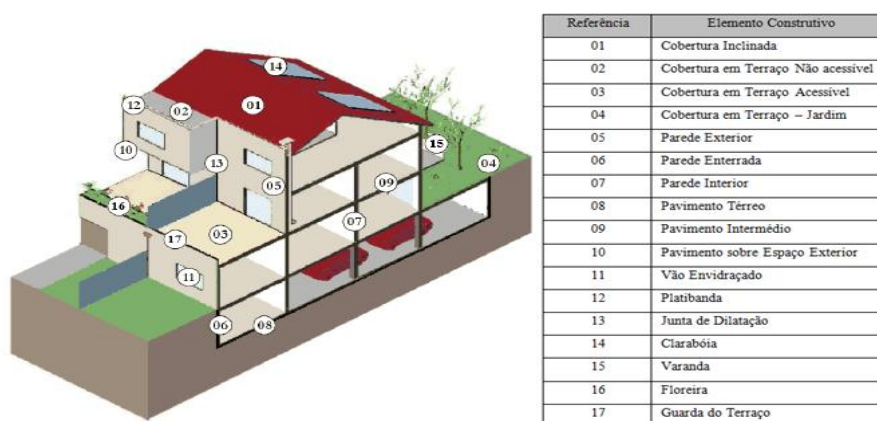
### 3.2.6 SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO E DE DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS ONLINE

Cada vez é mais recorrente verificar que utentes, proprietários e, mesmo até, empreiteiros, optam diretamente para a reparação da anomalia, ignorando as causas que a originaram. Este facto repete-se inúmeras vezes, quer pelo desconhecimento, dos intervenientes, quer pelo intuito de poupar tempo, entrando-se, frequentemente, num ciclo vicioso onde as anomalias apenas são “camufladas”, voltando a surgir mais tarde (Ribeiro & Córias, 2003). Não obstante a tais circunstâncias, a falta de reunião de informação disponível com a sistematização das principais patologias que afetam esses mesmos edifícios (Freitas *et al.*, 2008), faz com que esta situação se agrave cada vez mais, aumento o nível de degradação dos edifícios.

Daqui surge a ocorrência de vários sistemas de inspeção e diagnóstico em edifícios, disponibilizados de várias formas na internet, o que permite o fácil e rápido acesso dos diversos interessados na conservação e prolongamento da vida útil dos edifícios.

Segundo Freitas *et al.* (2008), o registo dos erros e a análise das causas que deram origem a uma situação anómala existente, bem como a sua divulgação, são fundamentais para o conhecimento das patologias mais frequentes. Neste sentido, o Grupo de Estudos da Patologia da Construção – PATORREB procedeu à publicação e divulgação de um catálogo de patologias formado por um conjunto de fichas de patologia que contêm a descrição do problema, os métodos de diagnóstico utilizados, a definição das principais causas dos problemas estudados e soluções possíveis reparações (Freitas *et al.*, 2008). A totalidade desta informação encontra-se reunida num *site* acessível a partir da Internet estando, o mesmo, disponível desde Junho de 2004, onde até à data encontram-se publicadas cerca de noventa e oito (98) fichas de patologias.

Neste meio de divulgação referido, procede-se à apresentação de um vasto leque de fichas de patologias, organizadas de acordo com os distintos elementos construtivos, disponibilizando informações acerca da anomalia (descrição da anomalia e possível (eis) causa (s) associada (s)), de eventuais técnicas de diagnósticos a realizar e de prováveis soluções de intervenção/reparação. No que diz respeito à organização da identificação das anomalias, estas encontram-se agrupadas tendo em conta a sua localização no edifício (**Fig. 3.2**).



**Figura 3.2** – Representação da Organização das Patologias adotado pelo PATORREB (adaptado de Lima, 2009).

Outro serviço de pré-diagnóstico de anomalias em edifícios foi concebido através da empresa Oz – *Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda*, o qual designa-se por *ConstruDoctor*. Este serviço, pelo facto de operar através da Internet e pelo modo como está concebido, permite efetuar um pré-diagnóstico de uma forma rápida, acessível e económica, com evidentes benefícios para o utilizador (Ribeiro & Córias, 2003).

Por sua vez, a utilização do referido sistema evidencia-se bastante interessante, no que diz respeito à elaboração de uma avaliação das anomalias, bastante próxima da realidade. De facto, através da introdução de dados adicionais sobre as ocorrências, pelo utilizador num formulário, será enviado, ao utilizador, um relatório com os esclarecimentos básicos sobre as anomalias descritas, fazendo um diagnóstico preliminar e definindo medidas corretivas das mesmas (Ribeiro & Córias, 2003). Tais relatórios são elaborados e propostos por uma equipa de engenheiros qualificados na área da Patologia e Reabilitação.

Com o intuito de promover a recolha e estruturação de informação sobre as anomalias em edifícios, foram, igualmente, realizados projetos de *software*. Exemplo destes sistemas informativos é o programa “*DIAGNOSTICA*” que surgiu para auxílio à definição de diagnósticos de anomalias, associadas apenas a manifestações de humidade no interior das habitações, no caso particular dos edifícios do Reino Unido. No entanto, considerando os estudos de caso em que se fundamentou a sua programação, a aplicação deste sistema só é viável para cenários análogos aos que serviram de base na sua montagem (Lima, 2009 citando Calejo & Westcost, 2006).

Tal como mencionado no projeto “*ConstruDoctor*”, a identificação do provável diagnóstico depende, unicamente, da interação do utilizador com o sistema a utilizar – *DIAGNOSTICA*, em que o utilizador terá a oportunidade de selecionar as circunstâncias mais ajustadas à descrição das anomalias evidenciadas, através da escolha de itens múltiplos de seleção. Após a caracterização da situação anómala, será estabelecida pelo sistema uma lista de possíveis diagnósticos, incluindo os diagnósticos mais prováveis (Lima, 2009).

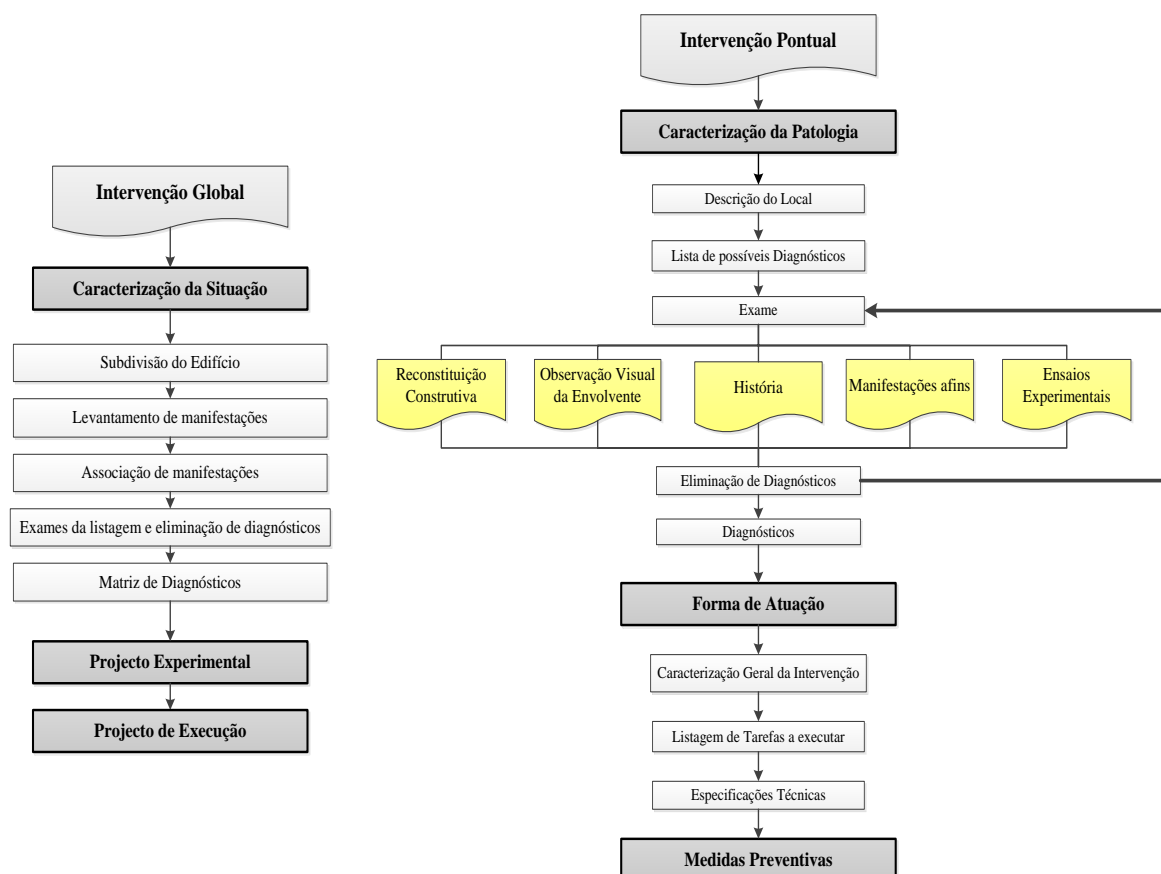
Todavia, a falta de diversidade de tipos de anomalias que este sistema de *software* acolhe (somente anomalias provenientes de humidade interior em edifícios), o facto de não ter acesso público (visto ser um programa de carácter privado), conjuntamente com o facto de apenas facultar o conhecimento das possíveis causas associadas às anomalias descritas inicialmente (não apresenta propostas de técnicas de reparação), faz deste sistema precário em relação a outros sistemas/meios auxiliares de inspeção e diagnóstico em edifícios, mencionados anteriormente.

### **3.2.7 METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS - DPE**

Outro método de diagnóstico de anomalias poder-se-á encontrar na Tese de Doutoramento elaborada por Rui Calejo, designada por Metodologia de Diagnóstico de Patologias em Edifícios (DPE). Neste trabalho de investigação é proposto uma metodologia desenvolvida segundo um conjunto de procedimentos de encadeamento lógico, na tentativa de convergir para a obtenção da melhor solução a adotar (Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

O método proposto sugere que a abordagem das anomalias existentes num edifício possa ser executada segundo duas formas distintas de intervenção – Pontual e Global – sendo que, para cada

uma delas, é sugerido um modelo de elaboração do diagnóstico e execução do projeto de intervenção (Lima, 2009) (**Fig. 3.3**). Como tal, o que distingue a intervenção pontual da global é a extensão espacial do tratamento (forma de quantificação das anomalias), onde no primeiro caso de intervenção a operação de tratamento é normalmente única, limitada e bastante localizada, ao invés da intervenção global que ocorre quando os edifícios são abordados de forma integral com o objetivo de atender à totalidade das patologias existentes (Lima, 2009 citando Calejo, 2001).



**Figura 3.3** - Fluxograma de procedimentos para diagnóstico de uma intervenção global e pontual (adaptado de Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

De uma forma generalizada, e tendo como base a metodologia dos dois tipos de intervenção (pontual e global), inicialmente, descreve-se as situações anómalas (caracterização sumária do local, do elemento construtivo em que a anomalia se encontra, data de construção e eventual referência a eventuais intervenções posteriores no edifício em análise), onde posteriormente associa-se tais ocorrências a determinados conjuntos de causas. Nesta última fase, o objetivo é proceder à eliminação de diagnósticos para os quais é possível evidenciar argumentos, de modo que restem apenas aqueles para os quais não foi possível obter argumentos objetivos de exclusão (Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

Porém, no caso de intervenção global, a análise quantitativa e qualitativa das anomalias deverá ser realizada tendo em conta a divisão do edifício por elementos construtivos, ou até mesmo por elementos de fonte de manutenção (Lima, 2009), com vista à organização de informações/dados sobre algo tão vasto e complexo, que é o caso de um edifício.

Após a associação entre a(s) potencial (ais) causa(s) e as ocorrências de anomalias, procede-se ao estabelecimento de propostas de técnicas de reparação, assim como à indicação de possíveis técnicas de prevenção. Estas últimas fases encontram-se descritas, de uma forma minuciosa, a totalidade das tarefas que contemplam as técnicas de intervenção das anomalias quantificadas (nas fases preliminares), salientando a importância da ordem cronológica das tarefas a realizar, incluindo o acompanhamento de peças desenhadas, a descrição dos materiais a empregar, assim como a estimativa orçamental associada a cada tarefa considerada. Porém, importará salientar um pormenor interessante, presente na penúltima fase da intervenção global, a qual associa-se à realização de um projeto experimental. Tal etapa tem como principal finalidade testar as propostas de intervenção correspondentes aos tipos de anomalias registadas, acabando por examinar a exequibilidade, eficácia, o comportamento e a estimativa orçamental das mesmas (Lima, 2009 citando Calejo, 2001). No entanto esta ação é considerada um ensaio, visto que é realizado numa área de intervenção restrita.

Por fim, importará referir que a correlação entre as causas e as anomalias é realizada segundo critérios qualitativos (**Quadro 3.4**), ao invés de uma apreciação quantitativa ou exata. Como tal, de uma forma matricial, corresponde-se a identificação do grupo de manifestações com as respetivas causas, indicando igualmente a intensidade/fiabilidade do diagnóstico proposto (Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

**Quadro 3.4** – Representação de um exemplo da Matriz de Diagnóstico (adaptado de Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

| Causa da Anomalia (n)                                | Anomalia (GMA(n)) |       |       |
|--|-------------------|-------|-------|
|  | GMA 1             | GMA 2 | GMI   |
| Insuficiente isolamento Térmico da Laje da Cobertura | +++               | 0     | (...) |
| Fluência das vigas do pavimento                      | +                 | +++   | (...) |

Assim sendo, pretende-se com a aplicação da presente metodologia, que a obtenção do diagnóstico de anomalias não seja fundamentada por ideias pré-concebidas, evitando a procura “forçada” da justificação das opções influenciadas por preconceitos existentes (Lima, 2009 citando Calejo, 2001).

### 3.3 Metodologia de um diagnóstico de anomalias

Para além dos diversos métodos/sistemas de inspeção e diagnóstico que poder-se-á utilizar correntemente durante a avaliação das anomalias em edifícios, será importante refletir nas ações e procedimentos a realizar durante as atividades em questão.

Uma das causas do desencadeamento de diversas contrariedades durante a execução de um diagnóstico em edifícios associa-se ao conflito das diferentes opiniões e interesses dos diversos intervenientes no referido processo. Porém a existência de distintos meios de obtenção de diagnóstico (**Quadro 3.5**) agravam, igualmente, a situação de adversidade nestes sistemas auxiliares de obtenção de causas de anomalias.

No entanto, tendo em conta a informação do **Quadro 3.5**, será mais coerente a escolha da terceira via, onde se tempera, no seu melhor, a experiência com a ciência (Appleton, 2002), não amplificando demasiado quer o excesso de fundamentação (provindo da ciência), quer o excesso de subjetividade (derivado da opinião e conhecimento do perito que realiza a inspeção). Como tal, a metodologia

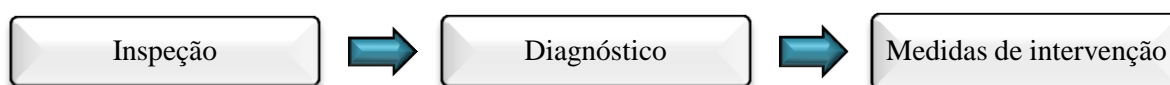
proposta para a elaboração de um diagnóstico poderá integrar as seguintes ações, a realizar de uma forma sequencial (Aguiar *et al.*, 2006):

1. Recolha prévia de informação;
2. Planeamento das inspeções ao local;
3. Análises experimental, análise numéricas, entre outras;
4. Análise dos resultados das fases anteriores;
5. Elaboração do diagnóstico.

**Quadro 3.5** - Representação dos meios de obtenção de um diagnóstico (adaptado de Ferreira, 2010 citando Appleton, 2002).

| Obtenção de um diagnóstico                     | Descrição  |
|--|--|
| Via empírica                                   | Estudo baseado, exclusivamente, no "saber de experiência feito" do(s) seu(s) autor(es).  |
| Via científica                                 | Estudo baseado no recurso a modelações matemáticas e físicas, à experimentação <i>in situ</i> ou em laboratório.               |
| Combinação da via científica e da via empírica | Estudo com recurso preliminar à experiência do observador prosseguido pela utilização de meios complementares de diagnósticos. |

Posto isto, e de uma forma bastante generalizada e sucinta poder-se-á dividir em três etapas fundamentais a metodologia a efetuar (**Fig. 3.4**), no que diz respeito à totalidade dos trabalhos de intervenção em edifícios.



**Figura 3.4** - Representação das etapas fundamentais da metodologia de intervenção em edifícios.

No entanto, importará relembrar, que no presente trabalho apenas ir-se-á analisar os processos a desenvolver antes do estabelecimento das atividades de intervenções. Seguidamente será mencionada de uma forma minuciosa e criteriosa as etapas de caráter obrigatório relativas às atividades de inspeção e diagnóstico, que dever-se-ão realizar em situações de análise patológica, em edifícios recentes.

### 3.3.1 RECOLHA DE INFORMAÇÃO

Naturalmente que a inspeção só por si pode ser um instrumento importante para os objetivos apontados, mas será bastante mais eficaz se precedida e/ou acompanhada por recolha de informação sobre o edifício, nomeadamente a contida em documentos que constituem os projetos originais e de alterações, ou os que decorrem das obras efetuadas, nomeadamente a contida em trocas de impressões com os utentes ou os donos dos edifícios, a qual, desde que devidamente selecionada poderá ajudar a configurar a história do edifício, em particular sempre que não existam ou sejam escassos os documentos referidos (Appleton & Baião, 1994; Flores-Colen, 2003; Aguiar *et al.*, 2006).

Segundo Aguiar *et al.*, 2006, uma análise prévia de elementos antecedentes será muito útil na orientação da informação a recolher no local, em que o técnico de peritagem terá que possuir a capacidade de registar apenas a informação relevante, evitando, desta forma, o aglomerar de

informação desnecessária e contraditória. Porém, o registo das intervenções realizadas torna-se uma etapa recorrente dos diferentes planos possivelmente realizados em obra. Segundo Flores-Colen (2003), torna-se essencial o registo de intervenções decorridas anteriormente em edifícios, no que diz respeito à contemplação de possíveis intervenções futuras e da constituição de uma base de dados, acompanhadas por meios fotográficos e elementos escritos.

Segundo Córias (2006), dever-se-á realizar uma recolha de informação ao edifício, tendo como base as informações associadas à estrutura, às fundações e às ações a que está sujeita em função da sua utilização e do ambiente a que envolve:

1. Da Construção, elementos e materiais;
2. Da envolvente e das ações sobre a construção;
3. Do comportamento da construção.

Relativamente ao estudo e à caracterização da construção encontram-se envolvidos os seguintes elementos (Córias, 2006):

- O levantamento da sua geometria, dos materiais constituintes e das suas anomalias;
- A caracterização desses mesmos materiais constituintes, o que pressupõe a avaliação das suas propriedades e a deteção/caracterização das suas alterações e anomalias.

Não obstante a tais factos, será igualmente necessário realizar um levantamento de informação do comportamento estrutural e das respetivas propriedades mecânicas dos elementos construtivos, a fim de tomar conhecimento da quantificação das cargas atuantes, bem como de outras ações relevantes para a modelação dos edifícios (Córias, 2006). Tal situação surge, essencialmente, devido às circunstâncias de anomalias estruturais, provindas de cargas ou de outras ações que excedem a capacidade de resistência dos elementos construtivos considerados.

Todavia, o conhecimento da tipologia de construção associada ao edifício a intervir é imprescindível, antes de se iniciar o processo de recolha de informação, visto que as características de materiais, métodos construtivos e tecnologias de conceção de obra não são comuns à generalidade de edifícios existentes. De facto, a seleção das classificações, dos procedimentos e dos métodos de inspeção e de diagnósticos a executar encontram-se, implicitamente, influenciados pelas particularidades construtivas da generalidade dos edifícios. Assim sendo, existe a necessidade de conhecer, estudar os diversos elementos do edifício a inspecionar, bem como os materiais que os compõem, tendo como principal objetivo compreender o comportamento da estrutura em si, para que seja mais fácil prever possíveis acontecimentos que poderão advir posteriormente (Córias, 2006).

Por fim, importará salientar a periodicidade de avaliação de registos existentes, que deverá ser realizada anualmente, como forma de reduzir as incertezas associadas a determinados parâmetros, aferindo gradualmente o plano de inspeção e manutenção implementado, recorrendo ao conhecimento e experiência adquiridos e transmitidos pelos registos efetuados (Flores-Colen, 2003).

### **3.3.2 PROCEDIMENTO**

Na realidade, não existe unanimidade em relação aos processos a estabelecer durante as atividades de inspeção e diagnóstico em edifícios. Na maioria das circunstâncias, encontra-se o estabelecimento

de processos normalizados auxiliares à inspeção e diagnóstico de ocorrências anômalas em específicos elementos construtivos (**Quadro 3.1.**), quer sejam em elementos primários ou secundários de uma construção, ou em revestimentos/acabamentos, possíveis de aplicar nos mesmos. Porém, o que realmente se pretende com introdução de um procedimento normalizado, no âmbito dos actos de inspeção e diagnóstico em edifícios, encontra-se associado à pretensão de resultados coerentes, e à adoção de componentes práticas e objetivas, evitando-se, desta forma, situações complexas e contraditórias que dificultam, posteriormente, a concretização das técnicas de intervenção.

Como tal até à data, têm-se observado a divulgação de vários planos acerca da ideal metodologia de diagnóstico a ser-se realizada antes de qualquer intervenção em edifícios. Tais documentos têm sido propostos pelos mais conceituados e qualificados engenheiros na área da Patologia e Reabilitação, ou até mesmo por meros autores não especializados na área em análise.

Tendo em conta a **Figura 3.4**, a primeira etapa num processo de diagnóstico em edifícios, passa pelo planeamento das inspeções a efetuar no local. O planeamento das inspeções deve indicar o tipo de verificação e a periodicidade das ações (Flores-Colen, 2003). Relativamente à periodicidade das inspeções, interessa reter três períodos, excetuando critérios de obrigatoriedade regulamentar, tendo em conta o estado de degradação dos elementos a inspecionar (Flores-Colen, 2003 citando Flores-Colen, 2002):

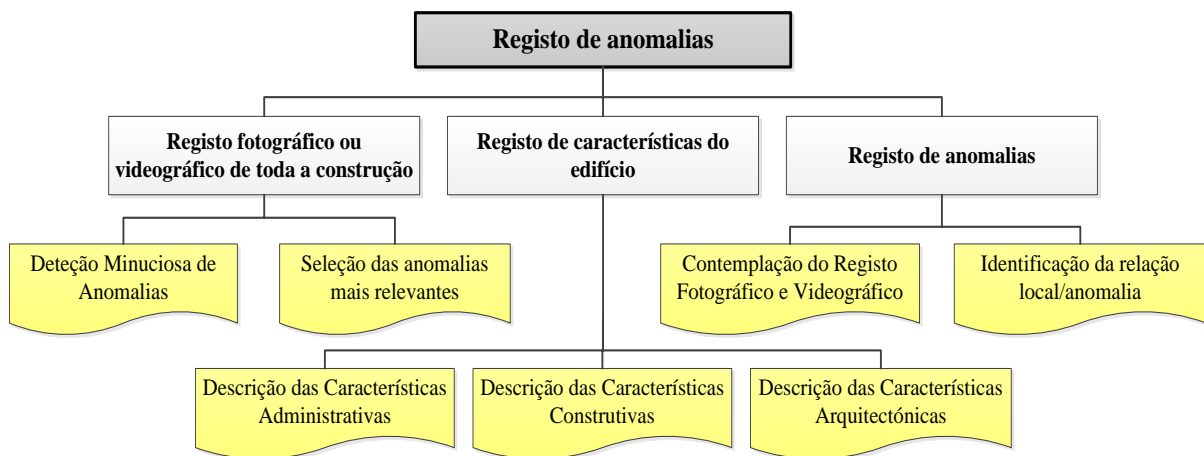
- **Período inicial** – inspeções entre os dois e os cinco anos, após a construção, para a avaliação de fenómenos de pré-patologia e de eventuais anomalias de juventude;
- **Período intermédio** – corresponde a inspeções periódicas entre um a dois anos depois das intervenções, para avaliar o comportamento esperado do revestimento; estas inspeções permitem, também, detetar eventuais fenómenos de “repatologia” resultantes de deficientes reparações anteriores;
- **Período Final** – inspeção nos dois a cinco anos do fim de cada ciclo, com o fim de avaliar a tendência do revestimento para atingir o nível mínimo de qualidade e respetiva proximidade ao estado de “rotura iminente”, com o agravamento dos fenómenos de patologia.

Segundo Appleton & Baião (1994), o acto de inspecionar representa a fase primordial em todo o processo de diagnóstico de anomalias, podendo-se traduzir em duas atitudes distintas: observar e registar. Como tal, o registo periódico de ocorrências deverá complementar a observação efetuada aos mesmos (Appleton & Baião, 1994), sendo imprescindível o estabelecimento de condutas a integrar durante o registo das anomalias (**Fig. 3.5**).

Porém, a decisão de intervir em determinadas circunstâncias anômalas, assim como a forma de executar os trabalhos corretivos e/ou preventivos nas mesmas, torna-se uma tarefa tão mais complexa do que obter um coerente e conciso diagnóstico de ocorrências. Após registada e organizada a informação provinda das inspeções periódicas, a tomada de decisão acerca da intervenção das anomalias identificadas, após uma inspeção realizada, consta na seguinte metodologia de situações (Flores-Colen, 2003):

- Observa-se que o estado de degradação é aceitável, não conduzindo a qualquer ação de manutenção – **fim de inspeção**;

- A informação obtida é insuficiente para a decisão; neste caso, preconizam-se ensaios adicionais, *in-situ* ou até mesmo laboratoriais – **ensaios complementares**;
- Existem anomalias localizadas, de fácil correção, conduzindo à execução de ações de manutenção necessárias para a reposição das exigências – **ação de manutenção não planeada**;
- Existem indícios da propagação de anomalias que, não podendo ainda ser considerados graves, poderão ter desenvolvimento significativo; neste caso, monitoriza-se a progressão destes sintomas para decidir o instante da intervenção – **monitorização**;
- São detetadas anomalias que exigem uma intervenção urgente; neste caso será necessário atuar com a maior brevidade possível – **ação de emergência**.



**Figura 3.5** - Representação do método de registo de anomalias durante o processo de diagnóstico em edifícios (adaptado de Appleton & Baião, 1994).

Tendo como base os resultados das inspeções, o diagnóstico só poderá ser elaborado se foram conhecidas as causas da degradação que possam ter estado na origem das anomalias detetadas. Como tal, ao analisar-se a maioria das metodologias propostas, relativas à inspeção e diagnóstico em edifícios, poder-se-á concluir que na sua generalidade consistem nos seguintes estádios (Flores-Colen, 2003 citando Flores-Colen, 2002 e CIB W86, 1993; Aguiar *et al.*, 2006):

- Identificar o defeito, com implementação de medidas provisórias de contenção;
- Encontrar as causas mais prováveis, agindo sobre o defeito;
- Identificar uma solução e controlar o resultado – seleccionar e verificar as medidas corretivas que resolveram o defeito e não deram lugar a efeitos indesejáveis;
- Prevenir a reincidência desses efeitos, em alguns casos, atuando logo na origem.

Porém, Córias (2006) apresentou uma metodologia bastante específica e organizada, que divide o processo de inspeção, diagnóstico e intervenção de ocorrências em cinco fases distintas (**Quadro 3.6**), a qual relaciona, permanentemente, os procedimentos necessários a realizar antes e depois do estabelecimento e definição das estratégias de intervenção. Como tal, obteve-se um procedimento bastante delineado e metódico da totalidade das fases de um acto de intervenção a um edifício, no qual

os diferentes planos de Inspeção e Ensaio (I&E) encontram-se conjugados com o desenvolvimento da atividade de intervenção aplicada (**Fig. 3.6**).

Tal como referido anteriormente, é essencial a realização de inspeções gerais e pormenorizadas as diversas situações anómalas, a fim de aferir a necessidade do estabelecimento de técnicas corretivas e preventivas nas mesmas. Caso verifique-se a perda ou ausência do desempenho espectável dos elementos construtivos, face às exigências funcionais, estruturais ou até estéticas, será necessário iniciar a fase de diagnóstico, a fim de servir de fundamento para o estabelecimento das proveniências, associadas às anomalias verificadas.

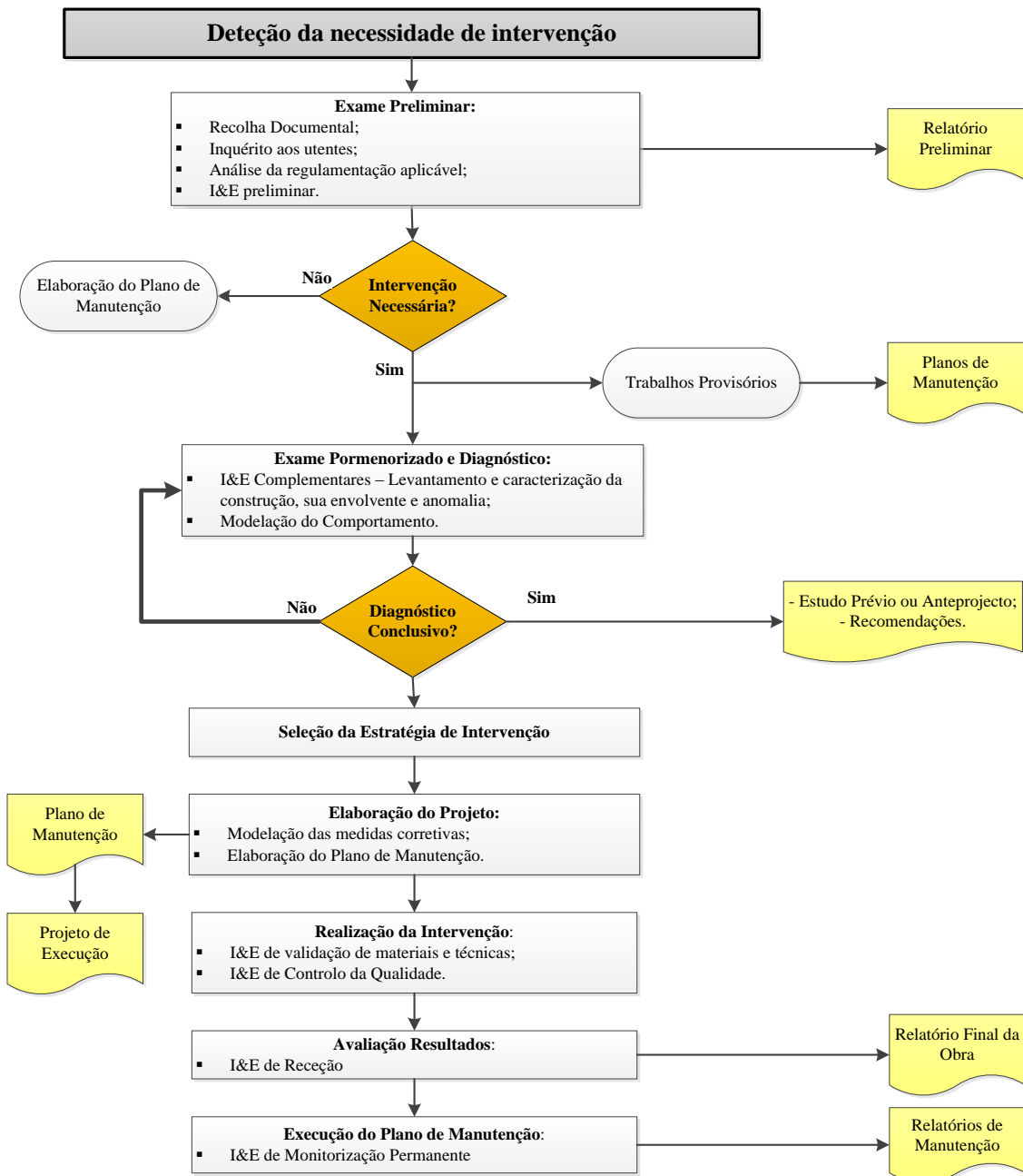
**Quadro 3.6** - Representação das fases da intervenção em que os métodos de inspeção e diagnóstico e observação são aplicáveis a edifícios (adaptado de Cóias, 2006).

| Fase de Intervenção  | Atividades a Realizar                     | Finalidades   |
|--|---|---|
| 1. Da deteção da necessidade de intervir até à decisão de intervir   | Recolha Documental                        | Caracterização preliminar da construção, incluindo as eventuais anomalias.  |
|  | Inquérito aos utentes                     |   |
|  | Análise da regulamentação aplicável       | Caracterização preliminar das propriedades dos materiais, incluindo as eventuais anomalias.                       |
|  | Inspeção e Ensaio Complementar            | Caracterização preliminar da envolvente.  |
|  | Monitorização preliminar                  |   |
| 2. Da decisão de intervir até à seleção da estratégia de intervenção | Levantamento da geometria e das anomalias | Caracterização da geometria da construção e das suas componentes, incluindo o mapeamento das eventuais anomalias. |
|  | I&E Complementar                          |   |
|  | Modelação do Comportamento                | Caracterização da envolvente. Validação do modelo.  |
| 3. Da seleção da estratégia até à intervenção                        | Modelação das medidas corretivas          |   |
|  | Elaboração do Projeto                     |   |
| 4. Durante a intervenção   | Ensaio das Técnicas e materiais a adotar  | Validação das técnicas e materiais a adotar.  |
|  | I&E de Controlo da Qualidade              |   |
| 5. Depois da Intervenção   | I&E Finais                                | Avaliação dos efeitos da intervenção.   |
|  | Monitorização permanente                  |   |

Antes de se iniciar a elaboração do projeto de reabilitação devem ser claramente definidos os objetivos da intervenção, bem como identificadas quaisquer condicionantes que possam influenciar a escolha das soluções e da metodologia a adotar (Cóias, 2006 citando ISO 13822:2001 (E)). Um dos fatores que mais influência a seleção da estratégia de intervenção associa-se ao nível de valor cultural do edifício em análise, em que uma intervenção num edifício sem valor cultural é ditada por considerações económicas, contrariamente às circunstâncias de um edifício com valor cultural, onde as possíveis técnicas de intervenção são selecionadas tendo em conta o seu carácter de conservação (Cóias, 2006 citando Crogi, 1997).

Porém, durante a realização dos trabalhos de intervenção, é essencial um acompanhamento e uma monitorização das atividades associadas aos mesmos, através do estabelecimento de Planos de Qualidade que evidenciam procedimentos normalizados relacionados com os materiais e as técnicas de construção utilizadas, assim como a qualificação da mão-de-obra empregada.

Por fim, torna-se imprescindível salientar que as atividades de monitorização devem prosseguir após as atividades de intervenção de edifícios (trabalhos de conservação, reabilitação ou intervenções pontuais), tendo como finalidade acompanhar o desempenho da construção intervencionada. Não obstante a tais factos, a elaboração de relatórios de monitorização efetuada em edifícios recentemente intervencionados, tornar-se-á fundamental no que diz respeito ao auxílio e fundamentação de possíveis intervenções futuras, nos edifícios em questão.



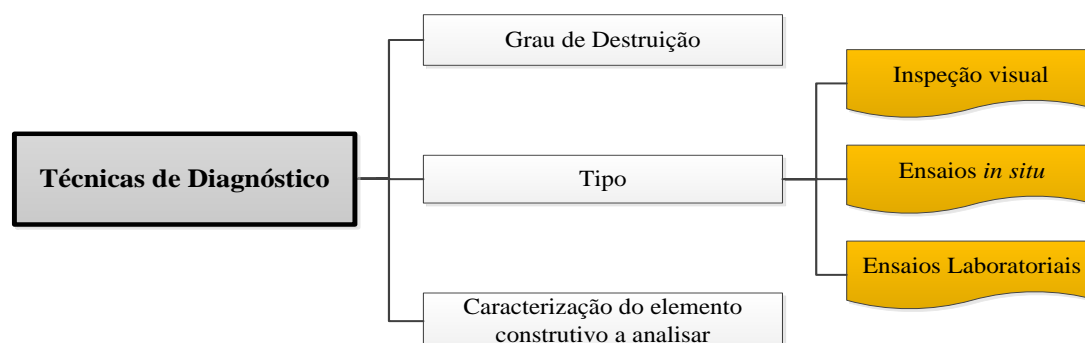
**Figura 3.6** - Fluxograma representativo da aplicação dos métodos de inspeção e ensaio ao longo das várias fases de uma intervenção de reabilitação (adaptado de Córias, 2006).

### 3.4 Técnicas de diagnóstico

Relativamente à composição das técnicas de diagnóstico, tais meios poderão ser organizados através do seu grau de destruição, do seu tipo, como também das particularidades dos elementos construtivos a analisar (**Fig. 3.7**).

No que diz respeito ao seu tipo de técnicas de diagnóstico poder-se-á dividir entre as técnicas de inspeção visual, os ensaios *in situ* e os ensaios laboratoriais (**Fig. 3.11**). Na sua generalidade, os ensaios *in situ* para além de serem caracterizados pela inexistência ou reduzida vertente destrutiva, permitem uma classificação qualitativa ou quantitativa indireta das características mais significativas, ao invés dos ensaios de laboratório, que por sua vez são sempre algo destrutivos (realizados sobre amostras) mas permitem obter resultados quantitativos diretos (Ferreira, 2010 citando Veiga, *et al.*, 2004).

A utilização de meios auxiliares à inspeção, com simples ou avançada tecnologia, permite melhorar o grau de informação obtido. De facto, estas técnicas auxiliares, muito simples, não destrutivas ou reduzidamente intrusivas, permitem retirar da inspeção o máximo de informação útil para o entendimento da degradação e desempenho (Flores-Colen, 2008 citando Silva, 2004). No entanto, a sua simplicidade origina a deficiente sistematização que estas técnicas têm na bibliografia técnica, dificultando a sua aplicação (Flores-Colen, 2008).



**Figura 3.7** - Possibilidade de organização da divisão das técnicas de diagnóstico.

As técnicas de ensaio *in situ* existentes são classificadas em destrutivas, ligeiramente destrutivas ou não destrutivas (Ferreira, 2010 citando Santos, 2003). Os ensaios não destrutivos são geralmente definidos como não sendo prejudiciais para o desempenho do elemento ou membro ensaiado e quando aplicados ao betão consideram-se incluídos os métodos que causam danos superficiais perfeitamente localizados (Nepomuceno, 1999), em que os últimos poderão ser designados por ensaios parcialmente destrutivos ou semi - destrutivos. Por fim, tal como designados, a realização de ensaios *in situ* não destrutivos, não provocam qualquer tipo de dano às estruturas analisadas.

Porém, os ensaios de laboratório são realizados sobre amostras dos componentes da construção ou dos materiais neles recolhidos, desempenhando um complemento bastante importante e indispensável, dos ensaios *in situ* (Ferreira, 2010 citando Santos, 2003). Nos edifícios mais recentes, a recolha de amostras não tem sido prática corrente, basicamente pelo efeito destrutivo em paramentos, custos e tempo consumido nas análises (Flores-Colen & Brito, 2012). Por estas razões, mesmo que sejam recolhidas amostras, é difícil garantir uma representatividade que normalmente envolve a recolha de

um número significativo de amostras. Nesse sentido, no presente subcapítulo dar-se-á mais relevância aos ensaios *in situ*, assim como aos instrumentos de apoio à inspeção visual.

Segundo Flores-Colen (2008), a melhor metodologia de aplicação de diagnóstico, terá que ser desempenhada em conjunto de distintas técnicas de diagnóstico, preferencialmente a utilização conjunta de ensaios *in situ* com a inspeção visual, ao invés da realização de uma única inspeção visual. Não obstante a tal facto, Cóias (2006) apela à importância do estabelecimento de um sistema de gestão de qualidade que seja suficientemente eficaz, de garantir a obtenção das exigências e requisitos elementares pretendidos, incluindo, igualmente, a calibração e adequabilidade do aparelho de diagnóstico a utilizar.

De todos os meios e processo de diagnóstico utilizados, o mais simples e o mais económico, é através da inspeção visual, ou com auxílio de dispositivos óticos que potenciem a capacidade visual. Contudo os ensaios não destrutivos, semi - destrutivos e destrutivos, apesar de alguns inconvenientes, obtêm mais quantidade de informação com melhor qualidade e coerência de resultados, embora seja imprescindível a realização de inspeção visual para a concretização de um pré-diagnóstico, na primeira fase de trabalhos de manutenção e reabilitação de edifícios (Cóias, 2006).

Será importante salientar, que na inspeção e diagnóstico do edifício em estudo optou-se, essencialmente, pela realização de ensaios *in situ* não destrutivos, tendo como finalidade minimizar as consequências invasivas no edifício em questão. Realizou-se, igualmente, um ensaio laboratorial (fitas colorimétricas), tendo em vista a quantificação de sais presentes em revestimentos de paredes e em elementos de betão armado.

### **3.4.1 INSPEÇÃO VISUAL E MEIOS COMPLEMENTARES DE INSPEÇÃO**

Durante uma inspeção, deve ser recolhida toda a informação que permita caracterizar as anomalias principais, a sua respetiva extensão, as causas mais prováveis, as ações a seguir e o seu escalonamento (Flores-Colen, 2003). A inspeção visual é uma das mais antigas atividades nos sectores industriais e é o primeiro ensaio não-destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, estando frequentemente associado a outros ensaios (Flores-Colen, 2008). Nos elementos dos edifícios, este tipo de avaliação continua a ser o primeiro passo para decidir sobre a necessidade de proceder a intervenções em fase de utilização (Flores-Colen, 2008 citando Bertrand *et al.*, 2003).

Devido à significativa diversidade de anomalias presentes na generalidade do edificado recente, existem situações anómalas mais complexas que outras, sendo que nas circunstâncias de anomalias mais simples (provenientes de uma única causa/origem), as técnicas de diagnósticos associadas caracterizam-se pela reduzida complexidade de realização. Um exemplo destas técnicas associadas é a inspeção visual. Para além de possuir um carácter analista, a inspeção visual é utilizada como meio de obtenção a um pré-diagnóstico (primeiro diagnóstico realizado), onde, desta forma, é influenciada pela experiência, intuição e observação do investigador (Ferreira, 2010).

A inspeção visual de um edifício ou construção corrente, com vista à avaliação do seu estado, deverá incluir uma visão de conjunto, abrangendo todos os elementos construtivos que podem ser relevantes (**Quadro 3.7**), tais como, local de implantação, estrutura, envolvente exterior e instalações de águas e esgotos (Cóias, 2006).

**Quadro 3.7** – Representação dos elementos relevantes a inspecionar num edifício (Adaptado de Cóias, 2006).

| Fração do Edifício | Elementos relevantes a inspecionar |
|--------------------|------------------------------------|
| Envolvente         | Terreno de Fundação                |
|                    | Acessos e arranjos exteriores      |
|                    | Infra - Estrutura Local            |
|                    | Estacionamento, Garagem            |
| Envelope           | Paredes                            |
|                    | Coberturas                         |
|                    | Guarnecimentos dos Vãos            |
| Estrutura          | Fundações e elementos estruturais  |
| Interiores         | Pavimentos e Tetos                 |
|                    | Paredes Interiores                 |

Um dos exemplos mais comuns de obtenção de diagnóstico de anomalias, através da comum inspeção visual, é o fenómeno de fissuração em distintos elementos construtivos. O caso da fissuração de rebocos surge como uma anomalia muito frequente em edifícios recentes, muito difícil de avaliar e controlar, devido à sua dependência de vários fatores variáveis no tempo e à complexidade dos fenómenos envolvidos, aos quais estão associadas diversas causas (Estrela *et al.*, 2009). Segundo Gonçalves (2004), a classificação de fendas e fissuras encontra-se totalmente dependente de evidências adquiridas através da observação visual, tais como a localização, extensão, profundidade, largura, estado de degradação do elemento ou zona e exigência de reparação (**Quadro 3.8**).

**Quadro 3.8** – Fatores de Classificação de uma fissura ou fenda, adquiridos através da inspeção visual (adaptado de Gonçalves, 2004).

| Fatores de Classificação         | Observações   |
|----------------------------------|---|
| Direção                          | Analisar se a fissura é horizontal, vertical ou diagonal.<br>Analisar se é dentada ou variável e regular.<br>Verificar se existem fendas paralelas.   |
| Extensão                         | Ver tamanho.<br>Analisar se a fissura se estende ao longo do material ou no limite dele.  |
| Largura                          | Efetuar observações e registar para além da largura se esta afunila.<br>Anotar a hora, data, temperatura e humidade na altura em que é feita a observação.  |
| Profundidade                     | Analisar o nível de construção onde a fenda ocorre e se esta se estende outro nível.  |
| Alinhamento                      | Anotar os diversos níveis de materiais de ambos os lados da fenda, dado que pode haver deslocamento de um dos lados em relação ao outro. Tal permite o conhecimento do tipo de força que motiva a fissuração (intensidade e direção). |
| Rugosidade da Aresta             | Se esta é arredondada, rugosa, polida ou lascada.   |
| Enchimento da Fenda              | Observar se a fenda se encontra limpa ou com detritos (terra, insetos, líquenes), permitindo assim determinar a sua idade.  |
| Efeito do Tempo                  | Não é imperativo que uma fenda seja reparada logo que detetada. Por vezes, é vantajoso observar o seu comportamento diagnosticando a sua causa.   |
| Elementos estruturais adjacentes | Diagnosticar os materiais próximos da fenda e respetiva condição, bem como qualquer factor no ambiente e nas proximidades da fenda que a possa ter causado, agravado ou acelerado.  |

Importará referir que o diagnóstico obtido através da metodologia de inspeção visual encontra-se bastante dependente da perceção sensorial dos técnicos que realizam as peritagens/inspeções a determinados elementos construtivos. A principal fonte de informação sensorial é a visão (Cóias, 2006), contudo poder-se-á aplicar outras impressões sensoriais tais como a audição, o olfato, ou até mesmo o paladar (Flores-Colen, 2008):

- **Avaliação táctil** - a passagem com a mão na superfície molhada permite avaliar a existência de pulverulência ou desagregação; as “costas” das mãos são mais sensíveis à deteção de humidade nos paramentos;
- **Avaliação olfativa** - a existência de humidades elevadas em determinadas zonas pode ser detetada pelo olfato e numa base comparativa;
- **Avaliação gustativa** (a menos usual por razões óbvias) - as eflorescências solúveis em água apresentam sabores diferentes (o sulfato de sódio de origem da reação reboco-tijolo tem um sabor salgado, enquanto que o sulfato de cálcio de origem do tijolo não tem sabor).

A simples observação visual poderá ser contemplada por um conjunto de observações adicionais (**Fig. 3.8 e Quadro 3.9**), muito simples, não destrutivas ou reduzidamente intrusivas, que permitem retirar da visita à obra o máximo de informação útil para o ulterior encaminhamento do assunto (Cóias, 2006).



**Figura 3.8** - Exemplo de meios auxiliares à avaliação *in-situ* (Flores-Colen, 2008).

Muitas das situações evidenciadas, após a realização de uma inspeção básica com a utilização de métodos bastante simples consegue-se obter um diagnóstico assertivo. Contudo, em situações anómalas mais complexas, a inspeção visual ou outros métodos de inspeção simples promovem apenas uma primeira triagem ou recolha de informação, que eventualmente poderá sustentar parcialmente a fundamentação do diagnóstico correspondente.

Este tipo de inspeção é limitado, muitas vezes, apenas às zonas acessíveis do edifício, que poderão ser muito reduzidas devido à ausência de meios de acesso. No entanto, estas inspeções apresentam as seguintes vantagens (Flores-Colen, 2008):

- O baixo custo associado e a rapidez de execução;

- A dispensa de equipamentos complexos ou dispendiosos e, principalmente, a eventual dispensa de outros meios complementares de diagnóstico (ensaios *in-situ*, ensaios laboratoriais, entre outros);
- O facto de permitir avaliar a necessidade de recorrer a alguns testes complementares.

Em suma, a principal vantagem da aplicação de inspeção visual como obtenção de diagnóstico final, encontra-se no nível de não destruição, salvas reduzidas exceções (por exemplo a técnica de boroscopia). Contudo uma das principais desvantagens destes métodos de inspeção visual (sem qualquer recurso a técnicas de ensaio mais elaboradas) preside na dependência da eficácia, dos mesmos, no treino, experiência e perspicácia dos operadores, podendo os resultados ser, por inerência, subjetivos (Cóias, 2006).

**Quadro 3.9** – Representação de auxiliares de inspeção e a sua respetiva caracterização de aplicação em elementos de alvenaria e de betão armado (adaptado de Cóias, 2006).

| Designação do Utensílio  | Caracterização de Aplicação   |
|--|---|
| Pequeno Berbequim recarregável com concha ou tubo para recolha de pó | Execução de furos para a realização da fenolftaleína;<br>Recolha de pó de betão ou argamassa para ensaio laboratorial de avaliação do teor de cloretos ou de outros sais. |
| Comparador visual de fissuras  | Medição rápida da largura de fissuras, por comparação.  |
| Fissurómetro   | Monitorização simples e relativamente rigorosa de fissuras.   |
| Fita métrica ou Distanciómetro                                       | Execução de medições e levantamentos expeditos.   |
| Sacos para recolha de amostras                                       | Recolha de pequenas amostras, por exemplo pó de betão, entre outros materiais.  |
| Lupa para fissuras com escala decimimétrica                          | Observação e medição mais rigorosa de fissuras e outros pormenores (eflorescências, defeitos etc.)  |
| Lanterna elétrica, gambiarra   | Iluminação do local e dos elementos a inspecionar.  |
| Máquina Fotográfica  | Obtenção de fotografias   |
| Setas e números  | Identificação fotográfica de pormenores   |
| Fio-de-prumo   | Deteção expedita de desaprumos  |
| Trincha, escova de cerda ou escova metálica                          | Limpeza das superfícies a inspecionar, remoção localizada de detritos ou revestimentos.   |

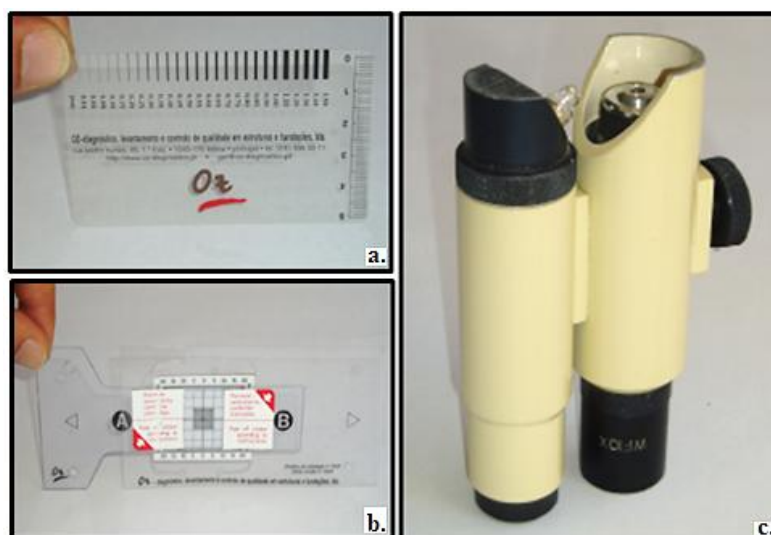
### 3.4.1.1 MONITORIZAÇÃO DE ABERTURA DE FISSURAS

As construções apresentam, com frequência, fissuras ou fendas resultantes da ocorrência de movimentos importantes, devidos, por exemplo, a assentamento diferencial das fundações, a variações de temperatura, a alteração das solicitações, a execução de obras subterrâneas perto de construções existentes (construção de túneis, galerias, caves, entre outros) (Cóias, 2006).

Existem pelo menos três tipos de instrumentos de monitorização de abertura de fissuras (Cóias, 2006):

- **O Fissurómetro (Fig. 3.9b):** É um pequeno instrumento destinado a medir, de forma expedita e económica, os movimentos relativos que se verificam num ponto numa fissura ou fenda existente numa parede, pavimento ou qualquer outro elemento estrutural numa construção;

- **O Comparador de Fissuras (Fig. 3.9.a):** Permite quantificar com menor rigor a abertura das fissuras e fendas;
- **O Medidor ótico de Fissuras (Fig. 3.9c):** Permite quantificar com maior rigor a abertura das fissuras e fendas.



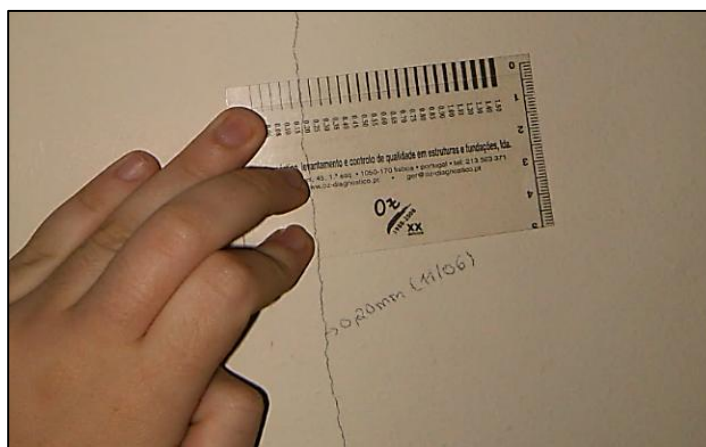
**Figura 3.9** – Representação de instrumentos de monitorização de abertura de fissuras (Cóias, 2006): a. Comparador de fissuras; b. Fissurómetro; c. Medidor ótico de Fissuras.

Contudo, existem mais técnicas de monitorização de aberturas, desde a mais clássica, que assenta na colocação de testemunhos de gesso, até às mais sofisticadas que requerem o uso de extensómetros elétricos ligados a um sistema de aquisição e registo do sinal (Pereira, 2008). A técnica dos testemunhos, sendo a mais simples e popular, apresenta porém a desvantagem de não permitir quantificar a evolução no tempo da abertura da fenda. A fim de obviar este inconveniente, é possível usar-se um pequeno instrumento, designado por fissurómetro (**Fig. 3.9b**), o qual é constituído por duas placas de vidro acrílico transparente (deslizantes uma sobre a outra) e dotado de uma escala reticulada cotada em milímetros (Pereira, 2008 citando Arêde; Costa, 2005).

Relativamente ao comparador de fissuras e ao medidor ótico de fissuras, ambos os instrumentos têm como finalidade complementar os dados recolhidos pelo fissurómetro, que apenas permite medir o movimento das fissuras, ou seja, a variação da abertura. Contudo, o utensílio selecionado para realizar a monitorização a campanha de fendas e fissuras, no edifício em estudo, foi o comparador de fissuras (**Fig. 3.9a**), que por sua vez é constituído por um retângulo de plástico transparente, com diferentes traços de espessuras conhecidas e que por comparação visual permite estimar a abertura das fissuras (Cóias, 2006). Esta ferramenta de diagnóstico pode ser utilizada sobre todo o tipo de estruturas, sendo muito importante na avaliação da evolução da abertura de fissuras.

De facto, a análise das leituras ao longo do tempo permite ter uma ideia da tendência do movimento para um agravamento, para uma estabilização, para uma recuperação ou para uma variação cíclica, permitindo, eventualmente, estabelecer relações de causa-efeito com ações ou ocorrências a que a construção esteja sujeita. Como tal, será importante que a monitorização inclua o levantamento periódico da disposição das fissuras a fim de se detetar o aparecimento de novas fissuras ou o aumento

da sua extensão ou abertura (**Fig. 3.10**), bem como a utilização de outros dispositivos de medição de outros parâmetros relevantes como, por exemplo, a temperatura e desvios angulares (Ribeiro & Cóias, 2003).



**Figura 3.10** - Representação da monitorização de uma fissura presente num pilar do rés-do-chão, do edifício em estudo.

Porém, existem várias apreciações e propostas de classificação de fissuras em função da respetiva abertura (Gaspar *et al.*, 2006) (**Quadro 3.10**), tendo como base uma análise macro-estrutural dos efeitos da fissuração (Bidwell, Kaminetsky, CIB e BRE), ou a perda de durabilidade dos elementos construtivos, essencialmente devido à perda de estanqueidade dos revestimentos, logo a partir de fissuras com 0,2 mm (Veiga, Shohet, CSTB).

**Quadro 3.10** – Classificação da fissuração em função da respetiva abertura (Gaspar *et al.*, 2006 citando Bone, 1989; CIB W876, 1993; Veiga, 1998; Silva, 1998; Bonshor, R. & Bonshor, L, 2001; Shohet & Paciuk, 2004).

|                   | Abertura da fissura (mm)      |     |                        |      |           |                     |     |                 |         |   |      |    |
|-------------------|-------------------------------|-----|------------------------|------|-----------|---------------------|-----|-----------------|---------|---|------|----|
|                   | 0                             | 0,1 | 0,2                    | 0,25 | 0,50      | 1                   | 1,5 | 2               | 3       | 5 | 15   | 25 |
| <b>CSTB/Veiga</b> | Microfissuras/<br>microfendas |     | Fissuras/fendas médias |      |           |                     |     | Fendas/fraturas |         |   |      |    |
| <b>Shohet</b>     | Fiss. Capilar                 |     | N.1.                   | N.2. |           | Nível 3             |     |                 | Nível 4 |   |      |    |
| <b>CIB</b>        | Desprezável                   |     | Finas (0,1 a 1 mm)     |      |           | Moderadas (1 a 5mm) |     |                 | Largas  |   |      |    |
| <b>BRE</b>        | Capilar                       |     | Nível 1                |      |           | Nível 2             |     |                 | N.5.    |   | N.4. |    |
| <b>Bidwell</b>    | Finas                         |     |                        |      |           | Médias (até 10 mm)  |     |                 | Largas  |   |      |    |
| <b>Kaminetzky</b> | ...                           |     | Ligeiras               |      | Moderadas |                     |     | Pronunciadas    |         |   |      |    |

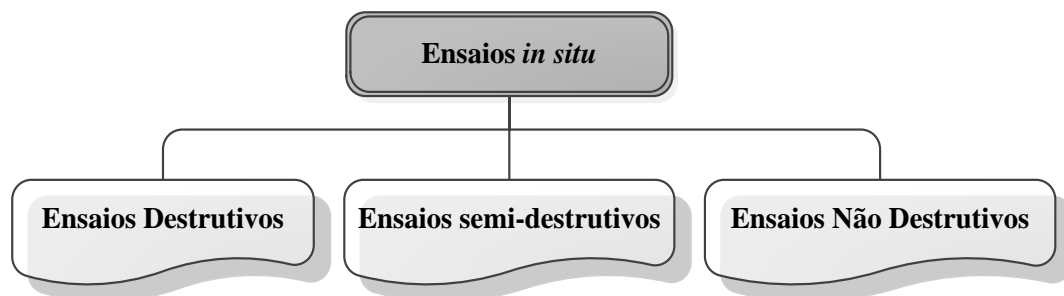
Porém, na campanha de monitorização de fendas e fissuras aos elementos estruturais e não estruturais do edifício em estudo, adotou-se a escala de classificação do nível de severidade de fissuras, apresentada no **Quadro 3.11**. Nesta classificação, adotam-se quatro patamares de severidade (níveis de degradação), em consonância com as metodologias de classificação de anomalias mais correntes (Gaspar *et al.*, 2006 citando Balaras, 2004; Gaspar & Brito, 2005).

**Quadro 3.11** – Níveis de severidade de fissuração (função da abertura) (adaptado de Gaspar *et al.*, 2006 citando Balaras, 2004; Gaspar & Brito, 2005).

| Nível 0        | Nível 1                | Nível 2              | Nível 3   | Nível 4   |
|----------------|------------------------|----------------------|---|---|
| $\leq 0,1$ mm  | 0,1 a 0,25 mm          | 0,25 a 1,0 mm        | 1, 0 a 2,0 mm   | $\geq 2$ mm   |
| Fio de cabelo  | Limiar da visibilidade | Visível. Localizada. | Bem definida.<br>Tenuamente visível a 3m da fachada.<br>Pode estar acompanhada de mais anomalias. | Efeitos estruturais.<br>Facilmente visível em fotografia. |
| Micro-fissuras | Fissuras               |                      | Fendas  |   |

### 3.4.2 ENSAIOS *IN SITU*

Dada a intensificação do esforço de investigação a que se tem assistido nos últimos anos para ampliar o alcance e a eficácia das técnicas não-destrutivas ou semi - destrutivas de inspeção e ensaio nas construções, em particular no betão, é hoje possível recorrer a toda uma panóplia de técnicas e instrumentos, da mais variada natureza, que facilitam as observações ou multiplicam o seu valor e rigor (Cóias, 2006). Tal como mencionado anteriormente, a classificação dos ensaios *in situ*, encontra-se relacionada com o grau de destruição associado (**Fig. 3.11**).



**Figura 3.11** - Representação da classificação de ensaios *in situ* através do grau de destruição evidenciado em elementos construtivos analisados.

Os ensaios *in situ* constituem um precioso meio auxiliar da inspeção visual e permitem uma melhor caracterização de (adaptado de Flores - Colen & Brito, 2012 citando Flores – Colen *et al.*, 2006):

- Mecanismos de degradação existentes nos paramentos (por exemplo, sujidade, eflorescências, humidade, fissuração);
- Variações das propriedades de elementos construtivos relacionadas diretamente com o seu desempenho;
- Condições *in situ*;
- Tipo de materiais aplicados, em conjunto com ensaios laboratoriais, a partir de amostras *in situ*

No entanto, estes ensaios apresentam alguns condicionalismos, tais como (Flores-Colen, 2008):

- Podem aumentar o tempo de inspeção e produzir resultados confusos e de difícil interpretação (em especial, quando a informação disponível sobre os materiais aplicados é nula ou escassa);
- Possuem limitações, dependendo da técnica utilizada - por vezes, a pouca precisão da técnica utilizada permite apenas uma análise qualitativa; no atual estado do conhecimento, são poucas (e normalmente onerosas) as técnicas de ensaio *in-situ* que permitem informação fiável de carácter quantitativo, para qualquer grau de degradação (Flores-Colen, 2008 citando Branco & Brito, 2005). Porém, a utilização conjunta de várias técnicas de ensaio facilita a interpretação dos resultados e minimiza as limitações referidas.

Não obstante às desvantagens associadas às técnicas de ensaio *in situ*, estes ensaios, mesmo com algumas limitações, permitem detetar erros grosseiros no diagnóstico (Flores-Colen, 2008 citando Silva, 2004) ou evitar, em certos casos, a realização de análises laboratoriais (que consomem tempo e aumentam os custos da inspeção) (Flores - Colen, 2008 citando Branco & Brito, 2005).

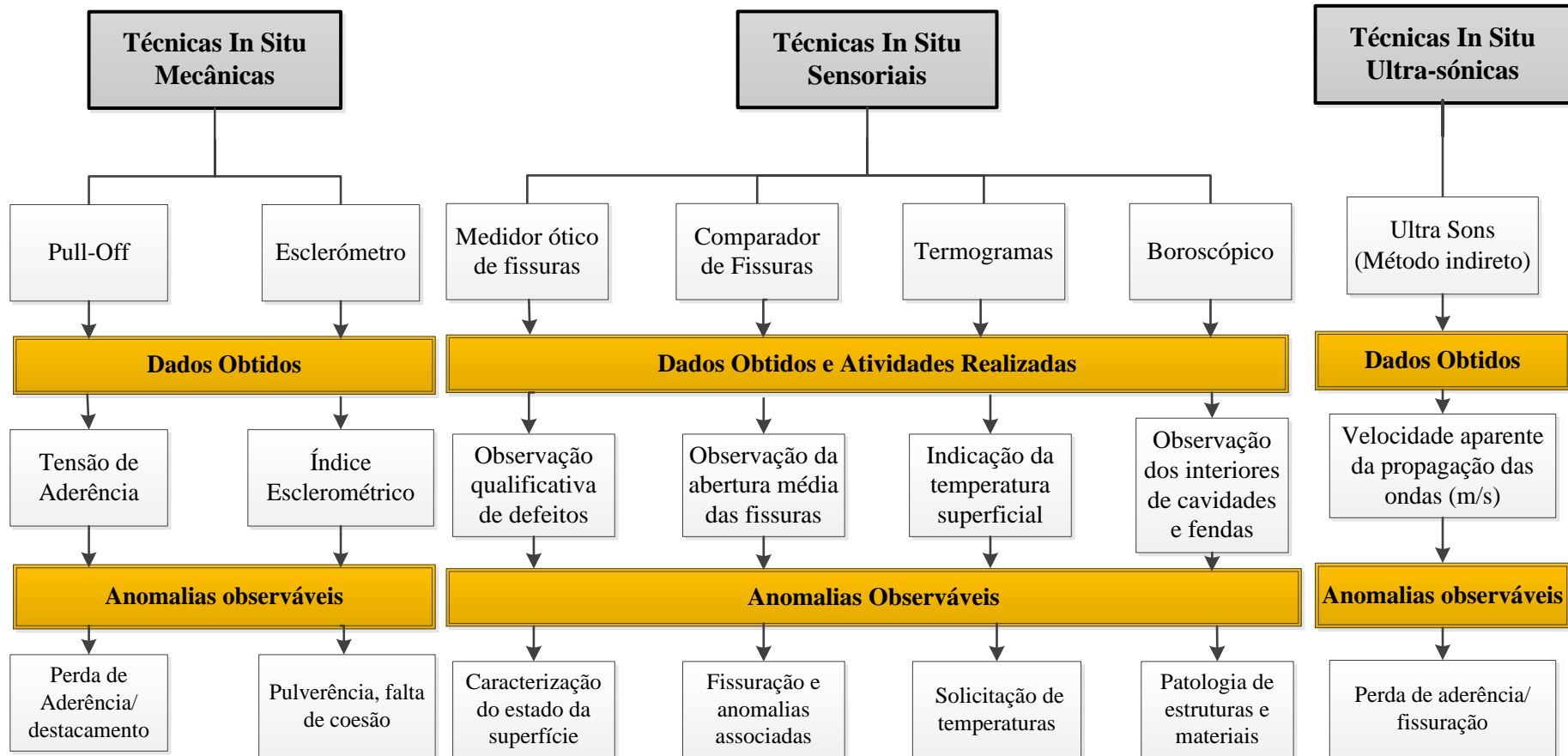
Tendo em conta que a realização de ensaios *in situ* é associada, em diversas ocasiões, ao tema principal de desenvolvimento de distintos trabalhos, sucede-se o excesso de diversidade de informação obtida, dificultando a organização de uma possível classificação destes tipos de ensaios de diagnóstico.

Como tal, as técnicas de ensaio *in situ* podem ser classificadas em termos de (adaptado de Ferreira, 2010 citando Flores-Colen, *et al.*, 2006):

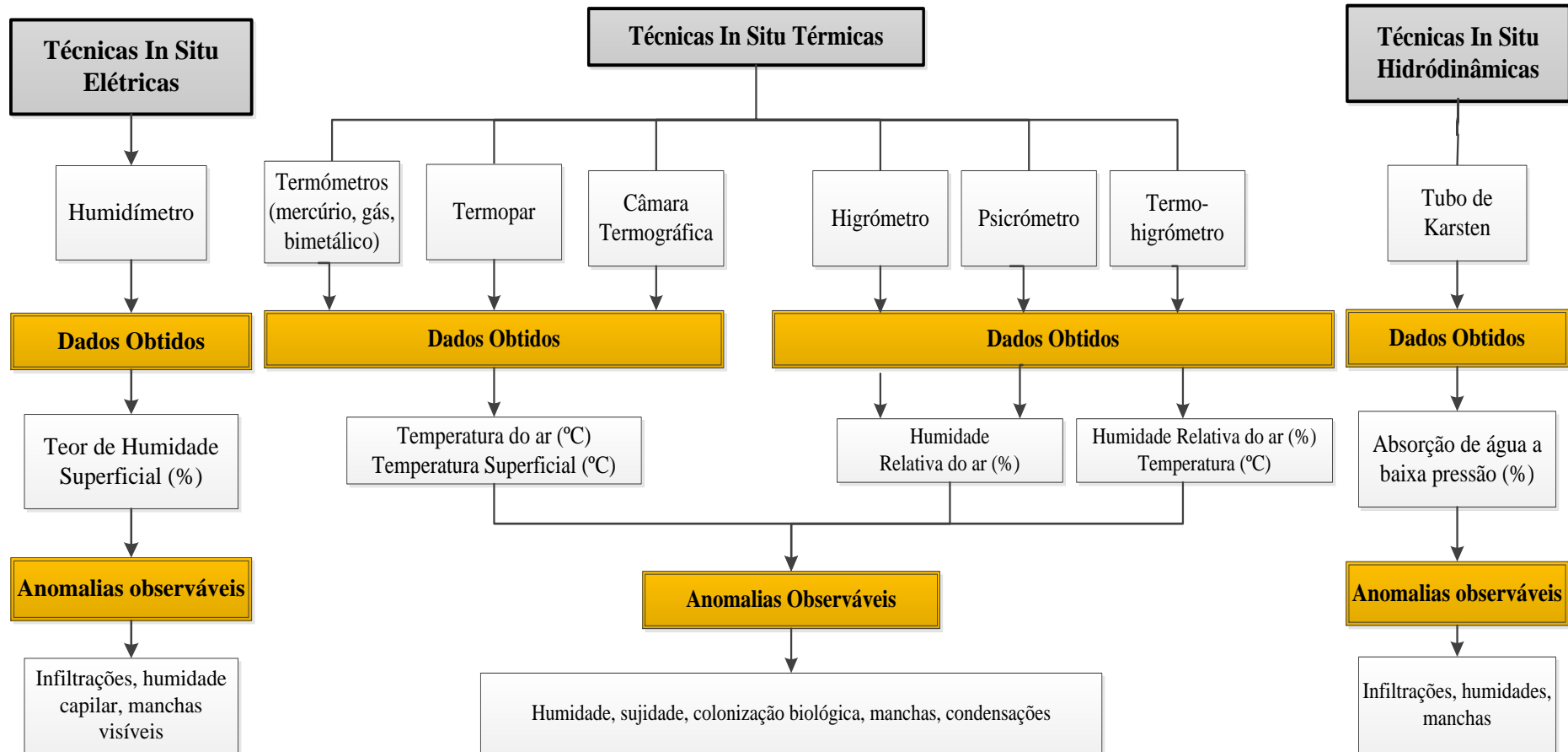
- Grau de destruição que provocam (destrutivas, semi - destrutivas e não destrutivas);
- Princípios em que se baseiam (mecânicos, elétricos, magnéticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, ultra - sónicos, radioativos, sensoriais, térmicos, químicos, eletroquímicos, entre outros);
- Tipo de resultados obtidos (propriedades a avaliar):
- Objetivos principais (exemplo: resistência, durabilidade, geometria):
- Elementos a que se aplicam (exemplos: revestimento, suporte, ambos);
- Atividades em que intervêm (controlo da qualidade, inspeção de edifícios, verificação da aplicação de regulamentos, entre outros).

Como tal, optou-se no presente trabalho, em organizar as diversas técnicas de diagnóstico *in situ*, tendo em conta as seguintes vertentes de classificação (**Figs. 3.12, 3.13, 3.14**):

- Princípios baseados;
- Tipo de dados obtidos, parâmetros medidos e avaliados;
- Tipo de anomalias associadas.



**Figura 3.12** - Representação das técnicas *in situ* mecânicas, sensoriais e ultra-sónicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas (adaptado de Flores-Colen, 2008; Ferreira, 2010).



**Figura 3.13** - Representação das técnicas *in situ* elétricas, térmicas e hidrodinâmicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas (adaptado de Flores-Colen, 2008; Ferreira, 2010).

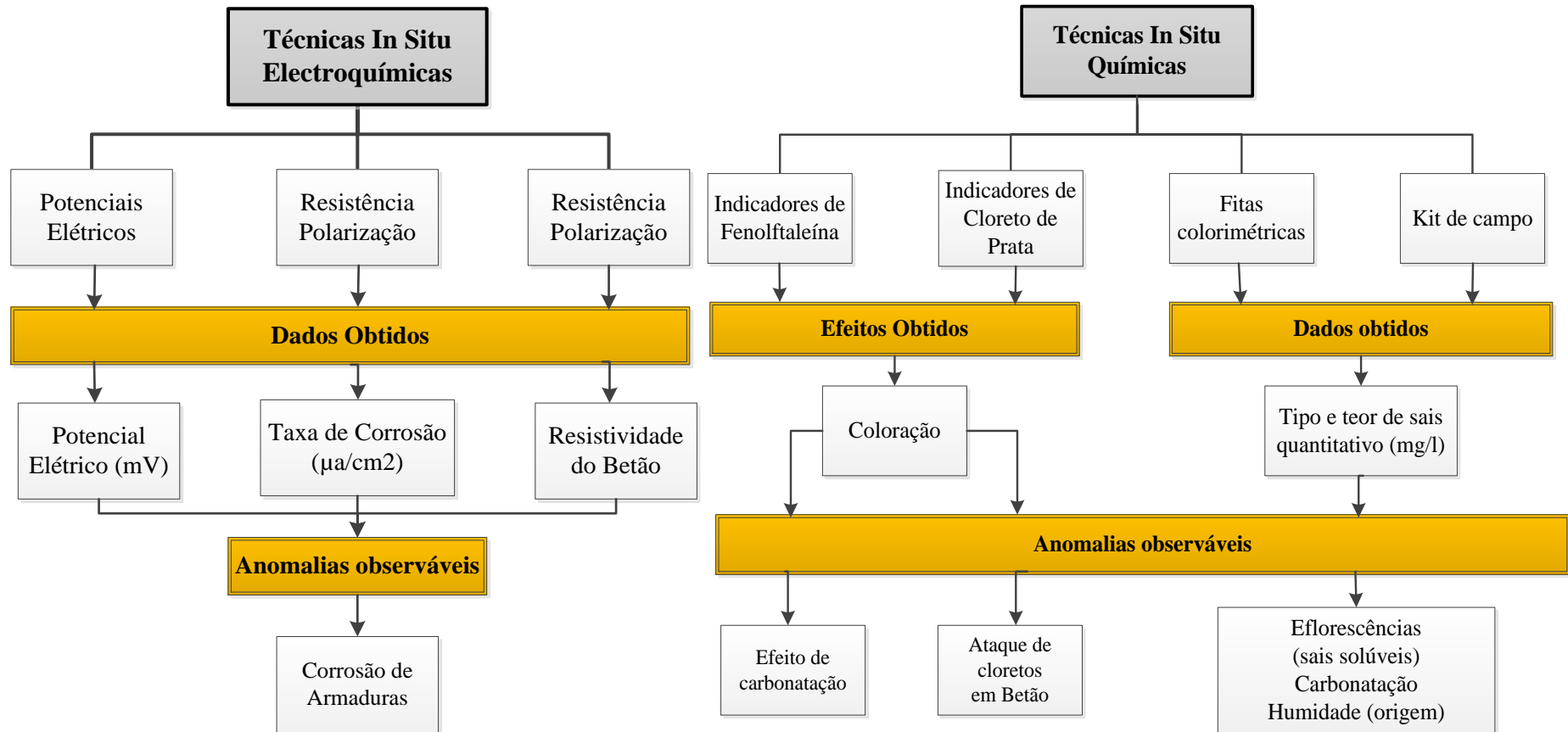


Figura 3.14 - Representação das técnicas *in situ* eletroquímicas e químicas, tendo em conta os princípios baseados, os parâmetros obtidos e os tipos de anomalias associadas (adaptado de Flores-Colen, 2008; Ferreira, 2010).

### 3.4.2.1 ESCLERÓMETRO

A dureza superficial é uma propriedade mensurável da superfície do betão que, em condições normais, aumenta com a idade. Este facto conduziu ao desenvolvimento de métodos de ensaio para medir esta propriedade e, desde logo, a tentativas no sentido de estabelecer a sua relação com a resistência (Nepomuceno, 1999). Existem dois tipos de técnicas de obtenção resistência mecânica superficial do betão, onde o factor divergente preside no meio de medição utilizada: métodos de medição de indentação e os métodos de medição de ressalto.

O esclerómetro é uma técnica de diagnóstico *in situ*, que permite estimar as propriedades mecânicas de um sólido através da restituição elástica ao ser percutido por uma massa (Alves, 2008). Como tal, de uma forma simples e não destrutiva, o esclerómetro mede a dureza superficial de um dado material, baseando-se no método do ressalto que consiste no lançamento de uma massa contra a superfície em estudo e a medição do seu retorno (Gonçalves, 2010). De facto, o método do ressalto foi desenvolvido, já alguns anos, pelo engenheiro suíço Ernst Schmidt, que projetou o esclerómetro de *Schmidt* que ainda hoje é assim conhecido e aplicado em diversas áreas (Gonçalves, 2010). De facto, este método obteve considerável aceitação e as suas versões mais modernas são utilizadas em todo o mundo (Gonçalves, 2010 citando Nepomuceno, 1999)

A utilização do esclerómetro é aplicada na avaliação não destrutiva de diversos e distintos materiais e elementos estruturais, entre os quais o betão. Na grande generalidade dos casos, em diagnóstico de betão, o equipamento mais utilizado é o esclerómetro do tipo de *Schmidt* (Fig. 3.15).



**Figura 3.15** – Figura do lado esquerdo: Representação de um aparelho esclerómetro *Schmidt* do tipo N utilizado na inspeção ao edifício em estudo. Figura do lado direito: Representação da constituição de um esclerómetro *Schmidt* (adaptado de Córias, 2006).

Contudo, existe outro tipo de esclerómetro, para além do aparelho mais indicado para o material de betão (Esclerómetro de *Schmidt*), designadamente o Esclerómetro Pendular, que por sua vez é aplicado em materiais com menor dureza superficial do que o betão (em argamassas de revestimento). Será importante referir, que só se irá abordar as particularidades do esclerómetro *Schmidt* do tipo N, tendo em conta a sua utilização nos trabalhos de inspeção e diagnóstico em elementos de betão armado, do edifício em estudo. Tal aparelho possui uma energia de impacto cerca de 2,207 N.m, encontrando-se ajustado para ensaiar betões em construções correntes de edifícios e pontes.

### 3.4.2.1.1 PROCEDIMENTO

Para se realizar o ensaio de esclerómetro no material de betão necessita-se, essencialmente, dos seguintes aparelhos:

- Martelo esclerómetro (**Fig. 3.16**);
- Bigorna de calibração de aço;
- Pedra abrasiva ou lixadeira mecânica.

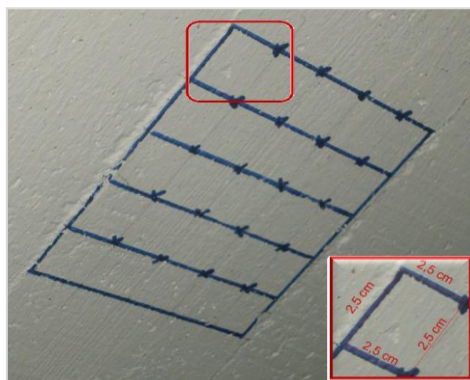
Antes de se realizar o ensaio, ter-se-á que proceder à calibração do aparelho. Tal processo é aferido numa bigorna de calibração de aço, em que se compara o resultado do ensaio efetuado na bigorna ( $R_a$ ) com o valor de referência ( $R_r$ ), especificado pelo fabricante para o aparelho em questão (Nepomuceno, 1999). O valor de referência da bigorna utilizada, do aparelho de esclerómetro Schmidt do tipo N utilizado é cerca de  $80 \pm 2$ .



**Figura 3.16** - Representação do teste de aferição do esclerómetro Schmidt do tipo N utilizado na inspeção do edifício em estudo.

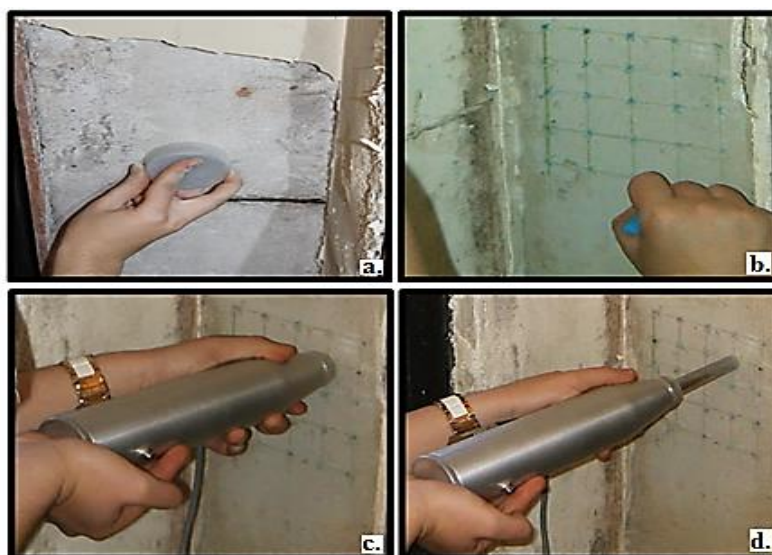
Segundo a norma NP EN 12504:2, o princípio do funcionamento do aparelho esclerómetro reside no facto de uma massa impelida por uma mola, embate num percutor em contacto com a superfície e o resultado do ensaio é expresso em termos da distância repercutida pela massa. Como tal o modo de utilização do aparelho em análise, poder-se-á dividir em quatro etapas principais (**Fig. 3.18**):

1. **Preparação da Superfície:** Inicialmente ter-se-á que ter o cuidado de preparar a superfície do betão que ir-se-á, efetivamente, realizar o ensaio de esclerómetro. Segundo a norma NP EN 12405:2 (IPQ 2012), a preparação da superfície envolve diversos trabalhos com fim à obtenção de uma superfície lisa, como tal utiliza-se uma pedra abrasiva para desgastar com força as superfícies brandas ou rugosas. De igual forma, ter-se-á de evitar superfícies de alta textura e porosidade, como também locais que contêm a presença de água na superfície de betão, dado que tais ocorrências acabariam por distorcer os resultados reais;
2. **Seleção da área para ensaio:** As zonas a ensaiar devem pelo menos possuir 10 cm de profundidade e devem estar inseridas nas estruturas. No que diz respeito à dimensão da seção a ensaiar deverá possuir cerca de 30 cm X 30 cm, onde as zonas de impacto devem possuir um afastamento mínimo de 2,5 cm, sendo esta medida a menor distância entre um ponto de impacto e uma aresta ou descontinuidade da estrutura, e entre ensaios de 3cm (**Fig. 3.17**);



**Figura 3.17** - Representação do afastamento proposto entre zonas que se realiza o impacto de esclerómetro.

- 3. Compressão do veio do esclerómetro contra a superfície do betão:** A segunda etapa do ensaio consta em comprimir uma mola existente no interior do aparelho, através da compressão do veio interior do esclerómetro. Contudo há que ter em consideração o posicionamento do aparelho antes da compressão do mesmo contra a superfície, visto que a posição mais indicada será perpendicularmente em relação à superfície ensaiada. Logo que o veio atinge o fim do seu curso, é libertada, instantaneamente, uma massa que choca com a sua extremidade interior, providenciando, desta forma, um ressalto por parte da superfície a ensaiar (após o choque transmitido pelo aparelho). O mesmo veio transmite esse ressalto à massa móvel, que, ao deslocar-se, faz mover um ponteiro, visível no exterior do invólucro do aparelho, e regista o ponto máximo do ressalto da massa (Cóias, 2006). Como tal, após o impacto ter-se-á que registar o índice esclerométrico em cada local/ponto inicialmente estipulado;



**Figura 3.18** - Representação das quatro fases de realização do ensaio do esclerómetro: a. Primeira fase do processo; b. Segunda fase do processo; c. Terceira fase do processo; d. Quarta Fase do processo.

- 4. Descompressão da mola do esclerómetro:** Após o choque da massa móvel na extremidade interior, ter-se-á que descomprimir a mola do esclerómetro, para que este volte à forma original, promovendo desta forma a quarta e última parte do ensaio. Contudo, será necessário averiguar o

estado da superfície após o impacto, sendo que em circunstâncias de degradação superficial do betão, causadas pelo impacto do esclerómetro, ter-se-á que repetir, novamente o referido ensaio.

### 3.4.2.1.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O ENSAIO

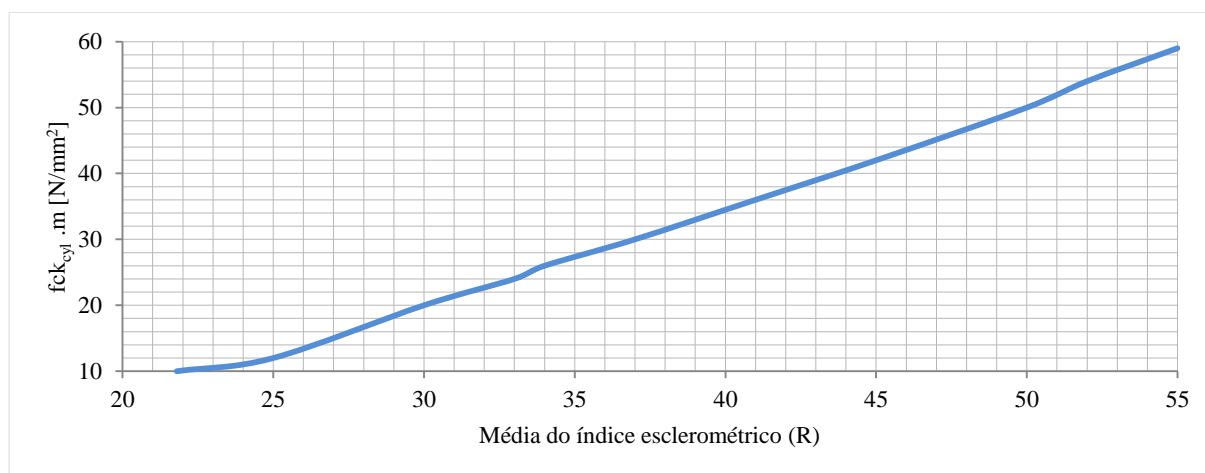
São vários os fatores que poderão influenciar o valor do ressalto obtido pelo esclerómetro. Todas as situações de diminuição de qualidade do betão, tais como a perda de aderência, a presença de humidade ou até mesmo a existência de descontinuidades, acabam por afetar a redução, de uma forma implícita, do valor do índice esclerométrico, onde, em algumas situações, o alto nível de degradação de betão leva à obtenção de valores nulos de ressalto. Como o referido teste, apenas, mede o ressalto numa certa massa superficial do betão, os resultados refletem somente a qualidade da superfície e não da profundidade da secção que está a ser testada. Os resultados são assim afetados pela irregularidade da superfície de teste o tipo de agregado e ainda pela idade do betão testado, a sua humidade, o tipo de cimento, a carbonatação bem como um eventual movimento da peça durante o ensaio (Sampaio, 2010):

- **Irregularidades superficiais:** como mencionado anteriormente, existe a necessidade de realizar o alisamento da superfície a analisar, visto que em superfícies rugosas poderão alterar significativamente os valores do índice esclerométrico;
- **Idade do material testado:** será necessário averiguar qual a idade do betão analisado, visto que nas situações de testes em betão com menos de três dias ou com resistência à compressão menor do que 7MPa, poderá ocorrer um erro introduzido elevado (Sampaio, 2010), devido à obtenção do valor de um reduzido índice esclerométrico;
- **Teor de humidade:** O teor de humidade do betão tem um profundo efeito nos resultados do teste esclerométrico. Provetes testados em condições saturadas mas com superfície seca, geralmente mostram índices esclerométrico mais baixos do que os dos provetes secos ao ar (Sampaio, 2010 citando Crawford, 1997);
- **Tipo de cimento:** Este factor evidencia-se igualmente como uma influência importante na obtenção do índice esclerométrico, visto que a resistência final do betão encontra-se dependente da natureza de cimento, logo 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:** Tendo em conta que o processo de carbonatação do betão aumenta, efetivamente, a resistência mecânica do betão, o índice esclerométrico, obtido pelo esclerómetro, é significativamente afetado por esta anomalia superficial ocorrente no betão. Os valores para um betão carbonatado podem ser 50% superiores aos obtidos num betão não carbonatado (Sampaio, 2010);
- **Tipo de agregado:** Durante a realização do ensaio esclerométrico há que ter o cuidado de averiguar a presença de agregados grossos, relativamente, próximos da superfície, pois tal ocorrência acabará por intensificar os valores esclerométrico. Segundo Sampaio (2010), para resistências de compressão iguais, o betão produzido com agregado granítico apresenta índices esclerométrico sensivelmente mais altos do que betões com agregado calcário;
- **Movimento da peça de betão a ensaiar:** Tal como referido anteriormente, o elemento alvo de ensaio terá que pertencer a uma estrutura fixa, ou no caso de provetes, ter-se-á que providenciar

uma fixação provisória, visto que qualquer movimento causado pelo impacto do esclerómetro proporciona uma diminuição do índice esclerométrico.

### 3.4.2.1.3 INTERPRETAÇÃO E VARIABILIDADE DE RESULTADOS

Após a leitura e registo dos valores de índice esclerométrico dos locais de ensaio, inicialmente estabelecidos, ter-se-á que recorrer à utilização do ábaco de correlação (**Fig. 3.19**) para se estimar a resistência à compressão do betão ensaiado. Para além do que já foi mencionado anteriormente, acerca da delimitação e definição da superfície a analisar, há que considerar, no mínimo, nove leituras em cada área de ensaio, tendo em vista a coerência e homogeneização de valores obtidos.



**Figura 3.19** – Ábaco de correlação entre o índice esclerométrico e o valor de resistência à compressão em cilindros do modelo do esclerómetro utilizado (PROCEQ S.A.)

Em §4.4.3.3.6.1 e em §4.4.4.3.5.1 encontra-se o desenvolvimento, a descrição e a análise dos resultados obtidos através do ensaio de esclerómetro no pilarete nº2 do segundo piso e no pilarete nº1 do sétimo piso.

### 3.4.2.1.4 PARTICULARIDADES DO ENSAIO

Em geral são identificadas as seguintes aplicações úteis para os ensaios da dureza superficial com recurso ao esclerómetro de Schmidt (Nepomuceno, 1999):

- Verificação a uniformidade da qualidade do betão;
- Comparação de um betão com determinadas exigências específicas;
- Estimação aproximada da resistência;
- Avaliação da qualidade do revestimento.

Por se tratar de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos são apenas representativos de uma camada até cinco centímetros de profundidade. No entanto, 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 (Cóias, 2006). Segundo Sampaio (2010), o esclerómetro não deve ser visto como um substituto para os ensaios de determinação da resistência do

betão, mas sim como um método para determinar a uniformidade das estruturas de betão *in situ*, para delinear zonas de qualidade deficiente ou de betão deteriorado e para comparar um betão com outro.

No que diz respeito à associação entre os valores obtidos do índice esclerométrico e o estado superficial do betão, poder-se-á concluir que quanto mais dura e compacta for a superfície do betão (características que traduzem um material resistente), maior será o ressalto, que por consequência levará à obtenção de um elevado valor de índice esclerométrico. Contudo, nem sempre esta conclusão é fiável e as curvas fornecidas pelos fabricantes (**Fig. 3.19**) com a relação entre o índice esclerométrico e a resistência do material nem sempre conduzem a resultados coerentes (Gonçalves, 2010 citando Flores-Colen, 2009). Deste modo, é mais seguro utilizar este equipamento de forma qualitativa, nomeadamente para análises comparativas e deteção de zonas críticas (Nepomuceno, 1999).

Como referido anteriormente, os valores dos ressaltos são dependentes de vários fatores, os quais, nem sempre se encontram relacionados com a dureza do material a analisar (Gonçalves, 2010). Como tal, dever-se-á utilizar os dados obtidos de uma forma criteriosa, onde em certas circunstâncias, torna-se preferível que haja o complemento desta técnica com outro tipo de ensaios (como por exemplo os ultra – sons).

Por fim, torna-se imprescindível diferenciar os resultados obtidos em circunstâncias *in situ* dos ensaios realizados em laboratório, em que os valores obtidos *in situ* caracterizam-se pelos seus valores elevados, quando comparados com os ensaios de esclerómetro realizados no laboratório em provetes de betão (Nepomuceno, 1999).

De forma a reunir a informação disponibilizada anteriormente, seguidamente será apresentado o **Quadro 3.12** com as particularidades principais do ensaio esclerómetro em elementos de betão.

**Quadro 3.12** – Representação das vantagens e desvantagens do ensaio de resistência superficial mecânica de esclerómetro de Schmidt (Nepomuceno, 1999; Córias, 2006; Gonçalves, 2010; Sampaio, 2010).

| Vantagens                | Desvantagens   |
|--------------------------|--|
| Ensaio simples e prático | Dados e resultados indicativos/qualitativos, resistência superficial à compressão (3-5cm). |
| Ensaio não-destrutivo    | Resultados dependentes da calibração do aparelho.  |
| Ensaio Económico         | Difícil interpretação e pouca fiabilidade de resultados obtidos.                           |
| Rapidez de Execução      | Necessidade de se realizarem outros ensaios complementares.                                |

Posto isto, todas as exigências e requisitos específicos pertencentes ao ensaio de esclerómetro em elementos de betão encontram-se na norma NP EN 12504:2.

### 3.4.2.2 ULTRA – SONS

Segundo a norma NP EN 12504:4, o ensaio de ultra-sons caracteriza-se por um método de determinação da velocidade de propagação das ondas longitudinais ultrasónicas no betão endurecido. Como tal, a medição da velocidade de propagação de ondas, através do aparelho ultra – sons (**Fig. 3.20**), poderá ser útil para a determinação da uniformidade do betão, da presença de vazios ou fendas e das propriedades dinâmicas, para além de avaliar as variações das propriedades ao longo do tempo e de estimar a resistência *in situ* de elementos ou de provetes de betão.

Segundo Gonçalves (2010), com a informação do tempo percorrido que as ondas atravessam determinado material, torna-se possível obter informação sobre as características do elemento e consequentemente avaliar o seu desempenho.



**Figura 3.20** - Representação do aparelho ultra – sons (Sampaio, 2010).

As primeiras tentativas de aplicação da técnica de ultras - sons ocorreram em 1940, resultantes das experiências em elementos de betão, realizadas por Obert. O grande interesse pelas potencialidades desta técnica de ensaio e as melhorias proporcionadas pelo surgimento de novos equipamentos de medição permitiram que nos anos 70 fossem produzidas as primeiras versões portáteis e de leitura digital, idênticas às que hoje são utilizadas (Nepomuceno, 1999).

O ensaio de ultra-sons baseia-se no princípio da propagação das ondas elásticas, segundo o qual a sua velocidade de propagação depende das propriedades elásticas do meio (Gonçalves, 2010 citando Gomes, 1995). O ensaio é realizado com a emissão de vibrações acústicas da mesma natureza que o som, mas com uma frequência superior (acima de 20 kHz), que atravessam os materiais (Galvão, 2009). Apesar de serem produzidas ondas de compressão (P), ondas de corte (S) e ondas de superfície (R), são as primeiras as que permitem tirar conclusão, pois propagam-se bastante mais rapidamente que as outras e provocam deslocamentos nas partículas segundo a sua direção de propagação (Galvão, 2009 citando Brito, 1987). Desta forma, caso haja o conhecimento da densidade do material, assim como da respetiva velocidade de propagação das ondas, após a realização do ensaio ultra-sons, poder-se-á estimar as propriedades elásticas do material analisado (Sampaio, 2010).

A utilização clássica dos ultras - sons destinava-se à avaliação da qualidade em peças de betão. Contudo, recentemente tem sido aplicada a outros materiais como a madeira, cerâmicos, pedra ou metal e utilizada no diagnóstico de revestimento de paredes principalmente para deteção de zonas degradadas (Gonçalves, 2010 citando Flores-Colen, 2009). Assim sendo, a informação obtida através do método de ultra-sons poderá ser utilizada nas seguintes aplicações (Sampaio, 2010 citando IAEA, 2002):

- Determinação da uniformidade do betão numa peça ou entre peças;
- Medição da deterioração das propriedades do betão ao longo do tempo;
- Investigação de danos provocados pelo fogo, congelamento e outros agentes;
- Indicação da qualidade do betão;
- Determinação do módulo de elasticidade do betão mediante uma correlação.

### 3.4.2.2.1 PROCEDIMENTO

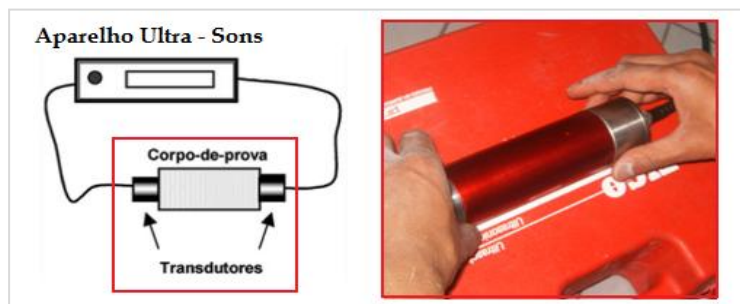
Para se realizar o ensaio do ultra – sons de acordo com o que é estipulado pela norma NP EN 12504:4, necessita-se dos seguintes elementos (**Fig. 3.21**):

- Um par de transdutores;
- Um gerador de ondas ultrasónicas;
- Gel para transdutores (gel, vaselina, sabão líquido, entre outros);
- Corpo de prova para calibração do aparelho.



**Figura 3.21** - Representação do conjunto de elementos indispensáveis ao funcionamento do ensaio ultra – sons.

Antes de se realizar o ensaio propriamente dito ter-se-á que efetuar a calibração do aparelho, utilizando uma barra de liga, em que o tempo de propagação é conhecido (**Fig. 3.22**). Esta operação consiste em fazer coincidir a leitura do mostrador digital com o valor de referência para a barra padrão, através do botão de ajuste do aparelho (Galvão, 2009). No caso do aparelho de ultra-sons utilizado, durante a inspeção e diagnóstico a certos elementos de betão armado do edifício em estudo, o tempo de transição da barra padrão é de 20,1  $\mu$ s.

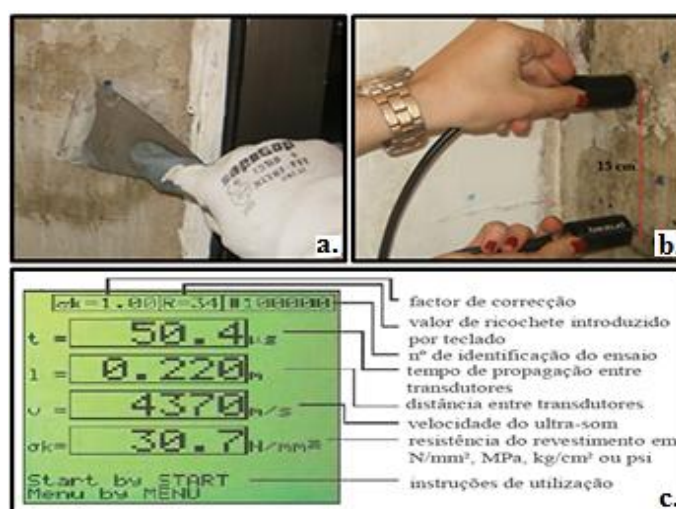


**Figura 3.22** - Demonstração da calibração do aparelho ultra-sons (adaptação de Galvão, 2009)

A técnica do ensaio em análise consiste na colocação de dois transdutores, com diferentes funções, em contacto com a superfície a analisar. Um dos transdutores desempenha a função de transmissor, onde emite um impulso ultrasónico que atravessa o betão, que posteriormente é recebido pelo segundo transdutor (o transdutor recetor). Estes transdutores eletroacústicos são ligados a um circuito eletrónico, que recebe um estímulo para oscilar mecanicamente, pois o circuito eletrónico emite pequenos impulsos elétricos ao transdutor excitando-o na sua frequência natural (Sampaio, 2010). Esta vibração gera os impulsos, transformados em ondas de energia mecânica pelo transdutor-transmissor, que deve estar em contacto com a superfície do betão. Um transdutor recetor similar é conectado à superfície ensaiada a uma distância pré conhecida do transdutor-emissor e a energia mecânica é

novamente convertida em impulsos elétricos da mesma frequência (Sampaio, 2010 citando Carino, 1994). O tempo gasto neste percurso é medido e fornecido eletronicamente pela unidade de medida central (Gonçalves, 2010) (**Fig. 3.23c**). Desta forma, é possível calcular a velocidade de propagação da onda elástica (Gonçalves, 2010 citando Mendonça, 2007).

Porém, não poderá existir evidências de rugosidade na superfície do local de ensaio dos ultra-sons, pois tais circunstâncias influenciam os valores de velocidade de propagação obtidos, devido à ocorrência de atrito nas superfícies de contacto. Como tal, na maioria das situações é aconselhável utilizar um produto de ligação tal como vaselina, massa lubrificante ou consistente, sabão líquido ou pasta de caulino/glicerol (**Fig. 3.23a**) (no caso em estudo foi colocada o produto de vaselina), para que seja possível proporcionar um maior contacto acústico com a superfície do betão e a face de cada transdutor.



**Figura 3.23** - Representação de algumas etapas do procedimento de Ultra – Sons: a. Aplicação da vaselina na superfície de betão a ensaiar para melhorar a aderência entre os transdutores e a superfície de betão; b. Pormenor da colocação dos dois transdutores distanciados entre si com cerca de 15 centímetros (0,150 m), c. Propriedades obtidas na tela LCD de um aparelho de ultra-sons durante um ensaio de ultra-sons (Pereira, 2008 citando JROMA, 2008).

Relativamente ao comprimento de percurso (distancia entre os transdutores) que dever-se-á submeter, segundo a norma NP EN 12504:4, o mesmo encontra-se dependente da dimensão máxima do agregado do betão a ensaiar, como poder-se-á observar no seguinte **Quadro 3.13**. Será importante referir, que a distância mínima utilizada, entre transdutores, foi cerca de 150 mm (**Fig. 3.23b**), tendo em conta a dimensão do máximo agregado dos elementos de betão analisados.

**Quadro 3.13** – Representação da relação entre máxima dimensão de agregado do betão a ensaiar e o comprimento de percurso de propagação de onda adotado no ensaio de ultra-sons (adaptado de NP EN 12504:4).

| Máxima dimensão de agregado do betão a ensaiar | Distância mínima entre Transdutores |
|--|-------------------------------------|
| $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$               | Percurso mínimo de 100 mm           |
| $20 \text{ mm} < \varnothing < 40 \text{ mm}$  | Percurso mínimo de 150 mm           |

Não obstante ao facto, que o ensaio de ultra-sons poderá ser aplicado segundo cinco técnicas diferentes (**Fig. 3.25**), segundo a NP EN 12504-4, a posição dos transdutores para medição do tempo de propagação das ondas ultrasónicas pode ser efetuada de três modos distintos, sendo eles os seguintes:

- Método Direto (**Fig. 3.24(a)**);
- Método Semi - Direto (**Fig. 3.24(b)**);
- Método Indireto (**Fig. 3.24(c)**).

Embora a direção de máxima propagação de energia seja perpendicular à face do transdutor-transmissor, é possível detectar impulsos no betão em outras direções. Como tal, torna-se possível realizar medições de velocidade de ultra-sons colocando dois transdutores em faces opostas (transmissão direta), ou em faces adjacentes (transmissão semi - direta) ou na mesma face (transmissão indireta ou transmissão superficial) da estrutura *in situ* de betão ou de um provete.

Segundo Nepomuceno (1999), o método direto permite obter resultados com maior certeza sendo por isso o mais adequado, tal facto deve-se à máxima energia do impulso ser transmitida segundo a direção normal ao emissor possibilitando a medição da distância de percurso da onda com maior precisão. Neste tipo de transmissão direta, os transdutores colocam-se frente-a-frente, em faces opostas (**Fig. 3.24(a)**), sendo utilizado na avaliação das características de resistência mecânica e homogeneidade, deteção de discontinuidades no betão e obtenção do módulo de elasticidade dinâmico (Sampaio, 2010).

No método semi - indireto os transdutores localizam-se em faces perpendiculares do objeto (**Fig. 3.24(b)**). Tal método torna-se bastante útil em situações que se pretenda evitar regiões de armadura, como cantos de pilares e vigas. Segundo Sampaio (2010), este método acaba por fornecer o mesmo tipo de informação que o método direto, porém dever-se-á ter o cuidado de não se afastar demasiado os transdutores, a fim de se evitar a diminuição do impulso transmitido.

Segundo a norma NP EN 12504:4, o posicionamento por transmissão indireta é o mais sensível dos três métodos possíveis, o qual deverá ser utilizado, apenas, quando só uma das faces do betão está acessível (como é o exemplo de lajes, pavimentos de betão e de barragens) ou quando se tem interesse na qualidade da superfície do betão relativamente à qualidade global.



**Figura 3.24** - Representação dos três métodos de medição de tempo de propagação das ondas ultrasónicas obtidos através do ensaio de ultra-sons (adaptado de Gonçalves, 2010).

No método indireto os transdutores colocam-se na mesma face (**Fig. 3.24(c)**), proporcionando-se o método menos satisfatório, uma vez que a amplitude do sinal pode ser inferior a 3% em relação ao método direto (Nepomuceno, 1999 citando British Standard BS 1881: Part 203: 1986), propiciando desta forma a origem de erros na leitura de valores obtidos.

Outra particularidade do método indireto é a necessidade de se realizar um procedimento especial para determinar a velocidade de impulso (Gonçalves, 2010), visto que o comprimento de propagação do impulso é desconhecido. No método indireto, verifica-se uma maior incerteza nos resultados na medida em que a velocidade obtida é uma velocidade aparente, pois o comprimento do percurso das

ondas não é medido com tanta precisão, adotando-se para tal a distância entre os transdutores (Gonçalves, 2010 citando Santos *et al.*, 2003). Porém, uma das principais desvantagens deste método de obtenção da velocidade de propagação reside na complexidade e dificuldade da obtenção e interpretação dos resultados posteriormente obtidos. Tal facto deve-se não só à fraca energia do impulso desencadeada entre transdutores (devido ao posicionamento dos mesmos), como também à existência de propagação de ondas, somente, a nível da camada superficial do betão a ensaiar. Contudo, a última circunstância poderá se revelar bastante útil no que diz respeito à estimativa da espessura de uma camada de betão de qualidade diferente ao longo de uma estrutura a analisar, que poderá ter ocorrido devido a erros de construção, mas também a reações ocorridas posteriormente (Sampaio, 2010 citando Crawford, 1997).

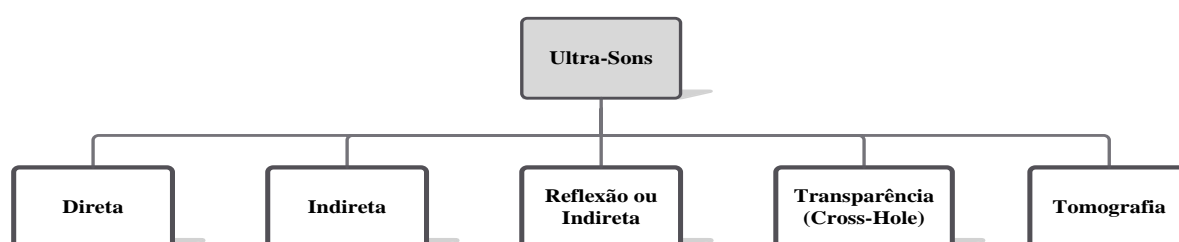


Figura 3.25 - Representação das técnicas de utilização correspondentes ao método de ultra-sons (adaptado de Cóias, 2006).

### 3.4.2.2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O ENSAIO

Uma vez que as ondas se propagam por vibração das partículas sólidas, a velocidade de propagação depende principalmente da constituição do material analisado (Galvão, 2009). Tal como o referido no ensaio de esclerómetro em elementos de betão, o ensaio de ultra-sons é influenciado por diversos e distintos fatores provenientes de características e condições da superfície de betão a analisar, assim como das condições de utilização e de procedimentos. Na realidade, a influência de diversos fatores nos resultados pode dificultar a sua interpretação, impedindo estabelecer relações inequívocas entre variáveis (Gonçalves, 2010 citando Proverbio e Venturi, 2005 e Tavares *et al.*, 2005).

Como tal os fatores que influenciam o ensaio de ultra-sons são os seguintes:

- **Tipo e dimensão do agregado:** Investigadores apontam para que a relação entre a velocidade de propagação das ondas ultrasónicas e a resistência à compressão varie com as características do agregado (natureza e dimensão) (Sampaio, 2010);
- **Teor de humidade:** Quanto maior for o teor de água no betão, maior será a velocidade de propagação de ultra-sons (Galvão, 2009 citando Ohdaira & Masuzawa, 2000), sendo que ao longo da idade do betão, o teor de humidade tende a diminuir, como consequência natural da hidratação natural do cimento (Nepomuceno, 1999);
- **Temperatura do betão:** Geralmente, a velocidade de propagação de ultra-sons tem tendência a aumentar face a temperaturas inferiores ao intervalo de 10° a 30° (em situações de temperaturas negativas a influência poderá ser bastante significativa devido ao congelamento de água contida nos poros), enquanto para temperaturas superiores se dá a situação contrária (Galvão, 2009);
- **Comprimento do percurso:** O comprimento do percurso efetuado pelo impulso ultrasónico deve ser suficientemente longo para não ser significativamente influenciado pela natureza

---

heterogénea do betão, propiciando leituras que se referem apenas ao cimento ou ao agregado (Sampaio, 2010). No que diz respeito à distância máxima, encontra-se relacionada apenas com a capacidade do equipamento de ensaio em utilização, contudo para se evitar reduções de velocidade associadas à propagação de ondas em elementos de betão, o comprimento de percurso deverá compreender-se até aos 3 metros (Nepomuceno, 1999 citando British Standard BS 1881: Part 203: 1986);

- **Razão água/cimento:** O aumento da razão água cimento diminui a velocidade de impulso devido à diminuição da densidade e das resistências à compressão e à flexão (Sampaio, 2010 citando Crawford, 1997);
- **Aditivos:** Os aditivos que se podem utilizar no fabrico do betão influenciam a velocidade de impulso aproximadamente da mesma forma que o teor de humidade (Sampaio, 2010);
- **Grau de compactação:** A densidade do betão diminui quando a compactação é inadequada, diminuindo a velocidade de impulso (Sampaio, 2010);
- **Contacto acústico:** Já se referiu a importância de contacto entre os transdutores e o betão. Se esta for negligenciada serão obtidas leituras erróneas.

Uma vez que a presença de fissuras e vazios, que constituem descontinuidades, conduzem a alterações na velocidade de propagação das ondas ao longo do mesmo percurso, é possível inferir quanto ao estado de degradação do material. De facto, materiais mais degradados apresentam tempos de percurso das ondas ultrasónicas superiores relativamente a materiais em bom estado de conservação (Gonçalves, 2010 citando Magalhães *et al.*, 2003; Martins, 2008). Como tal, o ensaio de ultra-sons é particularmente sensível à presença de fendas perpendiculares à propagação das vibrações, com um significativo decréscimo de velocidade de propagação, pelo que é utilizado na sua deteção, através do método indireto (Galvão, 2009 citando Silva, 2004).

Outro factor que influencia os valores da velocidade de propagação de ondas em betão armado, ou em outro tipo de material em estudo (como por exemplo reboco armado), é a presença de armaduras metálicas. Em betão armado, a existência de armaduras metálicas chega a afetar significativamente a velocidade de propagação das ondas, já que estas se propagam mais rapidamente nos metais do que no betão (Galvão, 2009 citando Brito, 1987). Como tal, a norma NP EN 12504-4 recomenda, que se evite analisar zonas com armaduras, em especial se estas forem paralelas à direção de propagação das ondas.

### **3.4.2.2.3 INTERPRETAÇÃO E VARIABILIDADE DE RESULTADOS**

Tal como o ensaio esclerométrico, um dos principais campos de aplicação do ensaio ultra - sónico associa-se à análise comparativa de localizações diferentes de um mesmo betão ou na análise relativa da resistência em localizações comparáveis de vários elementos do mesmo tipo, com betões de composição idêntica (Nepomuceno, 1999). Contudo são vários os campos de aplicação, que o aparelho ultra – sons é utilizado, tais como:

- Medição da velocidade de propagação;
- Estimativa da espessura de uma camada de revestimento;

- Estimativa da profundidade de uma fenda superficial;
- Estimativa do módulo de elasticidade.

Um campo de aplicação no qual o ensaio ultra - sónico tem mostrado maiores potencialidades e também maior precisão tem sido na determinação do módulo de elasticidade estático (Nepomuceno, 1999).

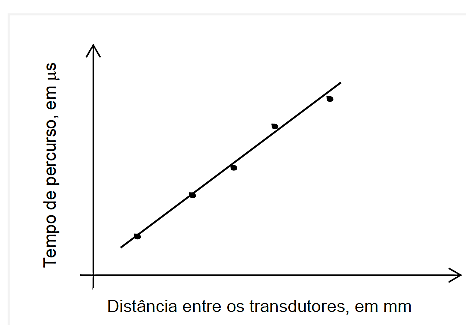
Tendo em conta o enquadramento do presente trabalho, apenas ir-se-á representar a metodologia dos processos de obtenção de resultados relativos à velocidade de propagação de ondas através do método indireto, visto que foi o meio de realização do ensaio utilizado nos elementos de betão inspecionados, no edifício em estudo (pilaretes). Como tal, a técnica deste ensaio assenta basicamente na medição do tempo de percurso de uma onda ultra -sónica que atravessa o betão numa determinada extensão bem conhecida (Nepomuceno, 1999). Na transmissão direta e semi - direta, a velocidade de propagação do ultra-sons é calculada pela seguinte Expressão (2):

$$v = \frac{L}{T} \quad (2)$$

onde,

- $v$  é a velocidade de propagação dos ultra-sons, em Km/s <sup>5</sup>;
- $L$  é o comprimento do percurso, em mm;
- $T$  é o tempo que os ultra-sons levam a atravessar o comprimento de percurso, em  $\mu$ s.

No caso da transmissão indireta há alguma incerteza quanto ao exato comprimento do percurso da transmissão devido à dimensão significativa das áreas de contacto entre os transdutores e o betão. Assim sendo, e tendo em conta a norma NP EN 12504:4 será preferível realizar uma série de medições com os transdutores a diferentes distâncias para minimizar incertezas. Para tal, o transdutor-transmissor deve ficar em contacto com o betão num ponto fixo e o transdutor-recetor deve ser colocado em pontos ao longo duma linha traçada na superfície do betão distantes do ponto fixo de sucessivos incrementos  $x_n$  e medidos os respetivos tempos de transmissão. Posteriormente dever-se-á traçar um gráfico mostrando a relação entre os tempos de transmissão  $t$  e as distâncias  $x$  entre os transdutores (**Fig. 3.26**) (NP EN 12504:4).



**Figura 3.26** - Gráfico de obtenção da velocidade média da onda através do método indireto (Nepomuceno, 1999).

Por consequência, a inclinação da reta de regressão dos pontos  $x$ ,  $t$  ( $\text{tang}(\theta)$ ) (**Fig. 3.26**) e tomá-la como a velocidade média de propagação de ultra – sons sobre a linha definida na superfície do betão.

<sup>5</sup> O resultado da velocidade de propagação dos ultra-sons deverá ser expresso com aproximação ao 0,01 Km/s.

Caso se evidencie uma descontinuidade, relativamente aos pontos medidos, poderá estar associada à presença de ocorrências de fissuras na superfície ou à qualidade reduzida da camada superficial do betão. Como tal, nestas condições os valores da velocidade de propagação de ondas não são fiáveis.

No seguimento da investigação nesta área estabeleceram-se valores de velocidade de propagação de impulso ultrassónico como indicador de qualidade do betão saturado (Sampaio, 2010) (**Quadro 3.14**).

**Quadro 3.14** – Relação entre a velocidade de impulso e a qualidade do betão (adotado de Sampaio, 2010 citando Whitehurst, 1951).

| Velocidade de Impulso (m/s) | Qualidade do Betão |
|-----------------------------|--------------------|
| > 4570                      | Muito Boa          |
| 3660 a 4570                 | Boa                |
| 3050 a 3660                 | Questionável       |
| 2130 a 3050                 | Baixa              |
| <2130                       | Muito Baixa        |

No que diz respeito à leitura dos valores de velocidade de propagação em elementos constituídos por armaduras metálicas, dever-se-á proceder ao tratamento dos mesmos através da aplicação de correlações nos valores de velocidades obtidos. No entanto, durante a realização do ensaio de ultrasons, as armaduras devem ser evitadas sempre que possível, uma vez que influencia, significativamente, os valores da propagação de onda (Nepomuceno, 1999 citando Bungey & Millard, 1996).

De facto, a velocidade de impulso medida em betão armado, quando próxima de varões de aço, é geralmente mais alta do que em betão simples com a mesma composição. Tal circunstância resulta da velocidade de impulso no aço poder ser até duas vezes superior à velocidade no betão (Sampaio, 2010). Como tal, poder-se-á concluir que o valor medido da velocidade de propagação depende essencialmente da localização dos varões de aço, do seu respetivo diâmetro, da superfície, da sua quantidade e respetiva orientação, relativamente ao percurso de propagação instaurado.

#### **3.4.2.2.4 PARTICULARIDADES DO ENSAIO**

O método de medição da velocidade de propagação de ultra – sons constitui, de entre os vários métodos não destrutivos *in situ* descritos neste presente trabalho, o método menos destrutivo, ou melhor, o único método propriamente não destrutivo, se considerado apenas do ponto de vista dos danos causados na superfície do betão (Nepomuceno, 1999).

Dado que as ondas se propagam por vibração das partículas sólidas que constituem o material, é possível inferir que quanto mais denso ou compacto ele for maior será a velocidade de propagação das ondas. Assim, é possível detectar alterações significativas nas características dos materiais ensaiados, através da variação da velocidade de transmissão (Galvão, 2009).

O carácter não destrutivo desta técnica constitui uma grande vantagem (**Quadro 3.15**) na medida em que permite fornecer informações úteis sobre as propriedades mecânicas das argamassas sem provocar danos (Gonçalves, 2010 citando Tavares *et al.*, 2005). No que diz respeito às possíveis alterações na área do elemento a ensaiar, as mesmas poderão estar associadas à ocorrência de manchas ou marcas,

devido à utilização do material que promove o contacto entre a superfície ensaiada e os transdutores, que por si não têm carácter permanente, visto que poderão ser facilmente removíveis.

Dada a circunstância que o ensaio ultra – sons é constituído por um equipamento portátil, e que por si só poderá ser utilizado em qualquer altura, a sua utilização torna-se simples, fácil e rápida (Gonçalves, 2010 citando Flores-Colen *et al.*, 2006b). Não obstante ao facto de se exigir um ligeiro investimento inicial em equipamento de alta precisão, durante as várias utilizações torna-se um ensaio económico (Gonçalves, 2010 citando Brito, 1987). Por sua vez, o procedimento da realização do ensaio em questão, encontra-se dependente quer das condições de contacto entre os transdutores e a superfície a ensaiar, como também da colocação dos transdutores (tendo em conta as diferentes possibilidades de colocação) que, em geral, não oferece dificuldade, embora tenha que haver o cuidado de cumprir os requisitos e exigências estipulados pela norma NP EN 12504:4.

Como mencionado anteriormente, com a utilização deste ensaio poder-se-á avaliar a uniformidade do betão, delimitar *in situ* zonas de qualidade inferior ou deterioradas e estimar variações das características do betão ao longo do tempo. Em igualdade de circunstâncias, há que realçar a possibilidade de estimar a resistência mecânica do betão, através da comparação entre a velocidade de propagação das ondas de ultra - sons e o valor de resistência mecânica obtido pelo esclerómetro.

**Quadro 3.15** – Representação das vantagens e desvantagens da utilização do equipamento de ultra-sons (Nepomuceno, 1999; Galvão, 2009; Galvão, 2010; Sampaio, 2010).

| Vantagens                              | Desvantagens   |
|--|--|
| Ensaio simples, prático e direto.      | Difícil definir corretamente a exatidão do ensaio.               |
| Ensaio verdadeiramente não-destrutivo. | Resultados dependentes da calibração do aparelho.                |
| Ensaio portátil e fácil de utilizar.   | Difícil interpretação e pouca fiabilidade de resultados obtidos. |
| Rapidez de Execução.                   | Obtenção complexa de resultados através da via indireta.         |

Contudo, tendo em conta a complexidade de obtenção de resultados coerentes, a utilização do referido ensaio possui um carácter qualitativo, sendo, por isso, desejável a sua conjugação com outro tipo de técnicas de ensaio (i.e. o aparelho esclerómetro) (Gonçalves, 2010 citando Flores-Colen *et al.*, 2006b; Brito, 1987).

### 3.4.2.3 TERMOGRAFIA

A termografia é uma técnica inteiramente não destrutiva, muito versátil, que permite detetar heterogeneidades existentes em elementos construtivos, como paredes, não visíveis a olho nu (Cóias, 2006). O seu princípio de funcionamento consiste na determinação e representação da temperatura superficial de um corpo, por medição da radiação infravermelha emitida pela sua superfície (Ferreira, 2010), convertendo-a em sinal elétrico (Santos, 2012 citando Mendonça, 2005b). Posteriormente, a informação recolhida é processada e analisada através de um *software* apropriado, o qual efetua um relatório termográfico, traduzido pela exposição de informações associadas às temperaturas superficiais, à análise da área em estudo, assim como os termogramas originais a preto e a branco ou a cores (Pereira & Paiva, 2006).

Segundo Cóias (2006), a utilização do ensaio termográfico pertence ao grande grupo de técnicas de levantamento, onde se permite observar o interior de componentes ou elementos de construção por processos inteiramente não destrutivos, onde estes aparelhos são úteis não são no levantamento das

características geométricas, mas também no das anomalias existentes no interior dos elementos. Como tal, a termografia poderá ser aplicada em vários campos do desempenho construtivo e desempenho de componentes e serviços (Pereira & Paiva, 2006), tais como:

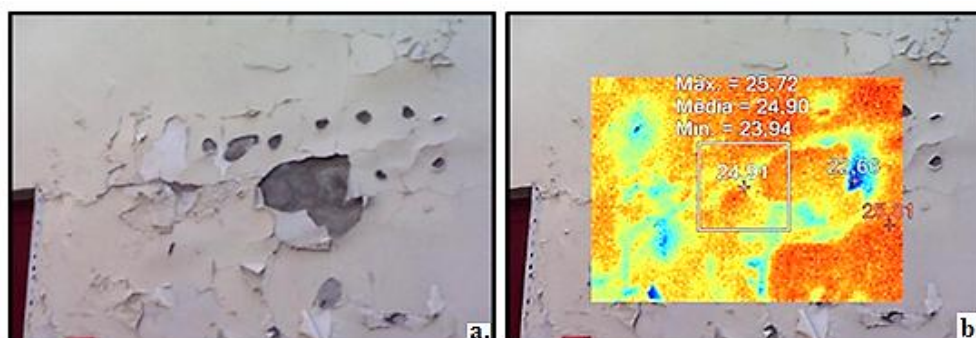
- Detecção de defeitos de isolamento;
- Detecção de perdas de ar e de calor por janelas;
- Detecção de humidades;
- Detecção de problemas escondidos (i.e. possíveis fugas com canalizações inseridas nas paredes);
- Exame de sistemas de aquecimento;
- Manutenção preventiva.

Atualmente existe uma significativa diversidade de tipos de equipamentos de câmaras termográficas. Porém, durante a inspeção termográfica realizada ao edifício em estudo (**Fig. 3.28**), utilizou-se uma câmara termográfica da FLUKE (**Fig. 3.27**).



**Figura 3.27** - Representação da câmara termográfica utilizada na inspeção do edifício em estudo (FLUKE).

Posto isto, as vantagens, que este ensaio contempla, relacionam-se com a facilidade de transporte e de obtenção de resultados rápidos, mesmo em locais constituídos por materiais compostos, assim como a respetiva capacidade de analisar diversas áreas sem recurso a qualquer contacto com a superfície (Oliveira, 2003). Contudo, a aquisição de uma câmara termográfica torna-se bastante dispendiosa, acrescentando ao facto que as superfícies a analisar necessitam de ser pré-aquecidas, para que haja a discrepância de temperaturas superficiais no local a ensaiar.



**Figura 3.28** - Aplicação do ensaio da termografia em parede orientada a sul, na zona V do primeiro piso: a. Representação do local de ensaio; b. Representação do termograma de cores associadas às temperaturas da superfície.

A simplicidade aparente da técnica de infravermelha pode conduzir a uma má interpretação dos resultados, isto se, certas preocupações e procedimentos não tidos em conta antes e durante a realização de ensaios, tais como (Pereira & Paiva, 2006):

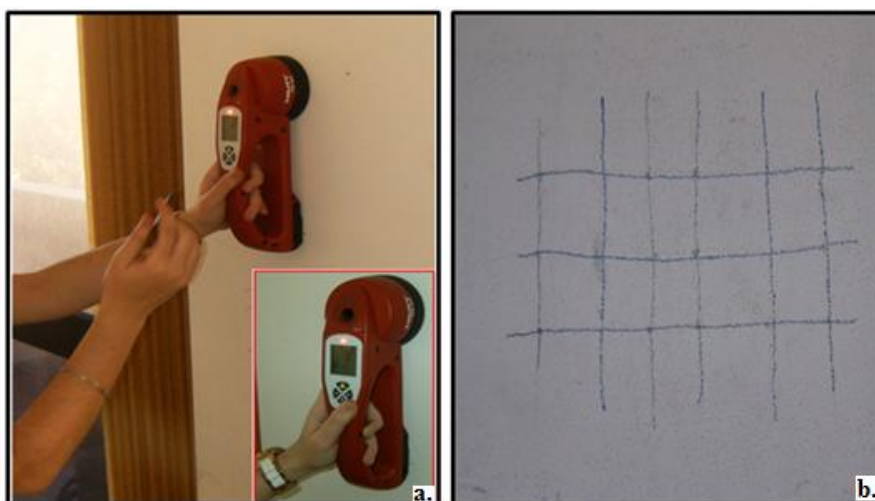
- As condições térmicas do interior e exterior do edifício antes e durante o ensaio;
- A medida de todos os parâmetros necessários para a análise térmica (i.e. emissividade, temperatura do ar, humidade relativa, distancia ao objeto, definições da máquina termográfica, entre outros;
- Evitar a influência incómoda, de sombras, reflexos quentes ou frios e diferentes superfícies de acabamento.

Segundo Pereira & Paiva (2006), as principais razões que levam à elaboração de uma pesquisa termográfica associam-se à melhoria do desempenho e avaliação da correta aplicação de materiais, à investigação e prevenção. Todavia, a aplicação deste ensaio tem ganho cada vez mais relevância em diversos elementos construtivos, essencialmente, na avaliação do estado de degradação de revestimentos (Pereira, 2008 citando Tavares; Magalhães; Veiga; Aguiar, 2005).

### 3.4.2.4 DETEÇÃO DAS ARMADURAS E IDENTIFICAÇÃO DO SEU DIÂMETRO E RECOBRIMENTO

Os medidores de recobrimento permitem detectar a posição e a direção das armaduras, as suas dimensões e recobrimento, em estruturas de betão armado e pré-esforçado, de forma não destrutiva (Cóias, 2006). Contudo, o aparelho utilizado na inspeção a certos elementos de betão armado, do edifício em estudo, apenas fez referência ao valor de recobrimento das armaduras.

O medidor de recobrimento caracteriza-se por ser um aparelho portátil, alimentado por pilhas e composto, fundamentalmente, pela unidade de leitura (que tem incorporado um microprocessador), por dois detetores, um grande e outro pequeno, e dois espaçadores (Cóias, 2006). Como meio auxiliar de percepção dos locais onde se encontram as armaduras, o método de deteção de armaduras é incorporado por um sistema áudio, variável com a distância às armaduras (Ferreira, 2010 citando Cóias, 2006) (**Fig. 3.29a**).



**Figura 3.29** – a. Utilização do pacómetro num pilar do segundo piso, do edifício em estudo; b. Representação da marcação do posicionamento das armaduras da parede de betão da caixa do elevador, na segunda cave, do edifício em estudo.

Tal como referido em outros aparelhos de ensaio *in situ*, o processo de calibração dos aparelhos de detetor de armaduras é crucial para a obtenção de resultados verídicos. Para tal, caso haja a

oportunidade de acesso ao projeto de estruturas de uma dada infraestrutura, poder-se-á efetuar um ensaio de acerto de calibração num dado local, onde *à priori* conhece-se o tipo de armadura e as suas respetivas particularidades (recobrimento, afastamento e dimensão).

Importará salientar que a utilização do medidor de recobrimento teve como principal finalidade auxiliar a realização do ensaio de ultra-sons, embora tenha sido utilizado, igualmente, em alguns pilares para a verificação da localização, do afastamento e do recobrimento das armaduras. Em tais circunstâncias torna-se fundamental representar a disposição das armaduras nos elementos de betão armado, através de giz ou de outro tipo de marcador (**Fig. 3.29b**).

### 3.4.2.5 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL

O efeito da temperatura nos revestimentos pode ocorrer de forma isolada dos restantes fenómenos de degradação ou conjugado com a humidade ambiente, através de variações da humidade relativa do ar (Pereira, 2008 citando Gaspar, 2002). Por um lado, é sabido que revestimentos sujeitos a valores altos de temperatura se tornam particularmente susceptíveis a fendilhações devido à incapacidade de absorver todos os movimentos termo-higroscópicos impostos (Pereira, 2008).

De facto, as alterações de temperatura e de humidade superficial, assim como de sujidade contribuem para o desempenho higrotérmico das superfícies (negativo e positivo), especialmente em fachadas (Flores-Colen, 2008):

- Temperaturas superficiais mais elevadas minimizam o desenvolvimento de algas (por esta razão, esta anomalia aparece mais frequentemente nas fachadas Norte);
- Superfícies mais escuras e rugosas aumentam a temperatura superficial, dado que a absorção depende da cor e da rugosidade da superfície;
- Superfícies com poder emissivo baixo conduzem a maiores tensões de origem térmica (desvantagem) mas reduzem o nível de humidade aproximadamente 50% no Inverno;
- A melhoria do ponto de vista térmico implica temperaturas superficiais mais baixas, com longos períodos frios, condensação nas superfícies e, conseqüentemente, mais sujidade e desenvolvimento de fungos e algas.

Por conseguinte, a medição da temperatura superficial (**Fig. 3.30**) pode ajudar a perceber a existência de condensações superficiais e o processo de molhagem e secagem dos materiais (já que a evaporação da água é uma reação endotérmica que conduz a um arrefecimento local da superfície) (Flores-Colen, 2008 citando Barreira & Freitas, 2005).



**Figura 3.30** - Representação da medição de temperatura no pilarete nº2 no segundo piso, do edifício em estudo.

Como tal, durante as inspeções às situações anómalas presentes no edifício em estudo, realizou-se um levantamento de temperatura em revestimentos de paramentos interiores na generalidade das paredes, assim como em elementos de betão armado do edifício em estudo (**Fig. 3.30**). Será importante referir que, em algumas circunstâncias de aplicação, do referido equipamento, teve como base a aferição das condições de temperatura face à posterior realização de outro tipo de ensaios *in situ* (ensaio de esclerómetro e de ultra-sons) realizados em elementos de betão armado, do edifício.

### 3.4.2.6 MEDIÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE

A presença de humidade nos paramentos das construções pode conduzir, direta ou indiretamente, à deterioração estrutural, à alteração das propriedades térmicas, ao descolamento das superfícies dos revestimentos e ao desenvolvimento de microrganismos (Cóias, 2006). Neste sentido, a medição da humidade ambiente, superficial e interior de revestimentos é considerada fundamental para que se proceda a um correto diagnóstico, representando uma medida preventiva à ocorrência de anomalias (Pereira, 2008).

Como tal, o humidímetro é um aparelho portátil que permite a medição expedita da humidade superficial em paredes, detetando infiltrações, humidade capilar ou manchas existentes à superfície, facilitando, desta forma, a análise de determinadas anomalias relacionadas com a presença de água (Flores-Colen, 2008 citando Magalhães *et al.*, 2005). Tal método é simples, rápido, fácil de utilizar e manusear, permitindo realizar um número significativo de ensaios em pouco tempo (Flores-Colen, 2008). Tratando-se de um ensaio limpo e não destrutivo para o revestimento, facilmente se compreende que o aparelho humidímetro seja, de longe, o instrumento mais adequado como ferramentas de diagnóstico de humidade *in situ* (Pereira, 2008).

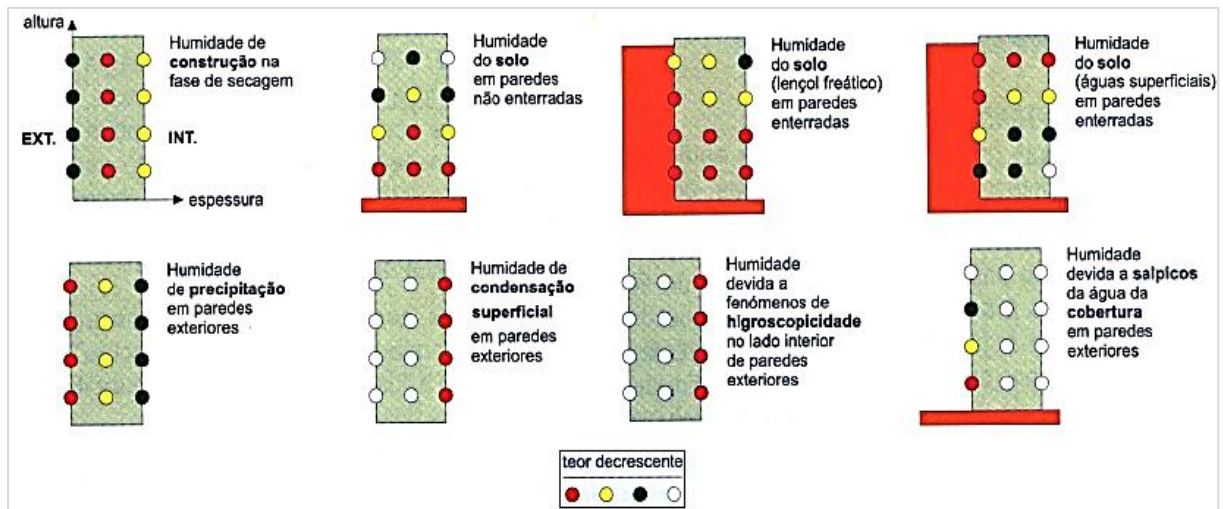
Os resultados destes aparelhos dependem do tipo de material (grau de heterogeneidade) e da eventual presença de sais (Henriques, 1994). O teor de humidade superficial é caracterizado pela percentagem de água que existe a uma profundidade entre 3 a 5 cm (dependendo do aparelho), relativamente à massa do material (em alguns manuais, é esclarecido que esta massa representa a massa do material em estado húmido) (Flores-Colen, 2008).

Apesar de as várias formas de humidade poderem ocorrer isoladamente, é frequente que se manifestem em simultâneo, o que pode vir a complicar substancialmente o respetivo processo de diagnóstico das causas das anomalias. Assim, para que se possa fazer um diagnóstico das anomalias motivadas por várias causas, é fundamental conhecer-se muito bem as diversas formas de manifestação de humidade e as respetivas causas e sintomas (Flores-Colen, 2008) (**Fig. 3.31**).

Relativamente aos critérios qualitativos do teor de humidade superficial (de acordo com os manuais dos fabricantes), o teor de humidade corrente numa parede determinado para uma humidade relativa média, situa-se entre 1 e 6%. Porém, valores entre 5 e 10% requerem alguma atenção para eventuais fontes de humidade e teores acima de 10% confirmam a saturação requerendo intervenção na parede (Flores-Colen, 2008).

Como tal, um dos ensaios mais utilizados, durante as atividades de inspeção ao edifício, foi, efetivamente, o humidímetro. O humidímetro utilizado possuía a versatilidade de medir teores de

humidade em materiais de alta densidade (como por exemplo o betão armado e reboco) (**Fig. 3.32**) ou de baixa densidade (como por exemplo a madeira).



**Figura 3.31** – Exemplo de diagnóstico a partir do teor de humidade numa parede (Flores-Colen, 2008 citando APICER *et al.*, 2000).

Uma das principais finalidades da referida técnica associa-se à repetição de observações periódicas do teor de humidade em superfícies de revestimentos de paredes e pavimentos interiores, assim como em elementos de betão armado interiores. Desta forma, torna-se possível acompanhar a distribuição da humidade ao longo de um dado elemento construtivo, bem como, com a realização de medições ao longo de um determinado período de tempo, interpretar a variação do teor em água na parede (Flores-Colen, 2008).



**Figura 3.32** - Representação do humídmetro utilizado durante a Inspeção ao edifício em estudo.

Para finalizar, o humídmetro poderá ser utilizado com outras técnicas similares para uma maior aferição (por exemplo, com recolha pontual de amostras para aferir o teor de humidade em laboratório) e outras complementares (como, por exemplo, determinação de sais, medição da temperatura superficial e avaliação *in-situ* das características mecânicas) (Flores-Colen, 2008).

### 3.4.2.7 RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Através de medidores de resistividade elétrica (medição dos potenciais elétricos da superfície do betão, relativamente a um elétrodo de referência), torna-se possível averiguar e identificar áreas onde a

corrosão de armaduras está presente ou prestes a verificar-se, antes de os seus efeitos se tornarem visíveis em elementos de betão armado (Cóias, 2006).

Tendo em vista a estimação da corrente que afluí entre as regiões anódicas e catódicas, torna-se necessário medir a resistividade do betão nas áreas com elevada probabilidade de corrosão. Esta técnica permite localizar as áreas onde o betão armado precisa de ser reparado ou protegido, e, através da sua aplicação repetida, acompanhar o comportamento de estruturas novas, minimizando, desta forma, os custos de manutenção associados (Cóias, 2006).

A resistividade dum dado material é definida como a resistência dum cubo com aresta igual à unidade (Cóias, 2006), obtida através da seguinte Expressão (3):

$$\rho = \frac{AR}{L} \quad (3)$$

onde,

- $\rho$  é a resistividade de uma seção prismática;
- $A$  é a seção do material;
- $R$  é a resistência do elemento a analisar;
- $L$  é o comprimento do elemento.

Uma vez que a condutividade elétrica do betão concretiza-se por um processo eletrolítico (devido ao movimento iónico na solução aquosa da matriz de cimento), poder-se-á concluir que um betão altamente permeável terá uma elevada condutividade e uma baixa resistência elétrica (Cóias, 2006). Por consequência, o conhecimento da resistência elétrica de dado elemento de betão armado associa-se à taxa de corrosão de aço, como se poderá observar no seguinte **Quadro 3.16**.

**Quadro 3.16** – Representação da associação entre os níveis de resistividade e a probabilidade/possibilidade de corrosão de aço, em elementos de betão armado (CONTROLS S.A.).

| Nível de Resistividade (K $\Omega$ cm) | Possibilidade de corrosão do aço |
|--|----------------------------------|
| <5                                     | Muito Alto                       |
| 5 a 10                                 | Alto                             |
| 10 a 20                                | Moderado a Baixo                 |
| >20                                    | Insignificante                   |

Durante as atividades de inspeção e ensaio na campanha experimental de elementos de betão (pilaretes nº2 e nº1 do segundo e sétimo piso, respetivamente), foi utilizado o medidor digital de resistividade elétrica, representado na **Figura 3.33**.



**Figura 3.33** - Representação do medidor digital de resistividade elétrica utilizado durante as atividades de inspeção e diagnóstico em elementos de betão armado do edifício em estudo.

No que diz respeito ao procedimento do presente método de diagnóstico *in situ*, poder-se-á dividir em três importantes fases (**Fig. 3.34**):

- **1ª Fase:** Perfuração dos dois orifícios no local de betão armado em inspeção, cada um com oito milímetros de diâmetro. Será indispensável que o espaçamento entre os dois orifícios seja cerca de cinco centímetros;
- **2ª Fase:** Colocação de uma pequena quantidade de gel condutor (vaselina) nos dois orifícios realizados, como também nas duas sondas do medidor de resistividade elétrica, a fim de melhorar a condução da emissão de resistividade elétrica do elemento construtivo para o aparelho medidor utilizado;
- **3ª Fase:** Colocação das duas sondas do medidor de resistividade elétrica nos dois orifícios. Logo após esta etapa o valor da resistividade elétrica definitiva irá ocorrer logo após a exposição do valor da resistividade aparente.



**Figura 3.34** - Representação das três fases do ensaio de medição da resistividade elétrica, realizado no pilarete nº 2 do segundo piso: a. Realização da furação de dois orifícios com espaçamento de 5 cm; b. Colocação de vaselina nas duas sondas do aparelho; c. Colocação das duas sondas nos orifícios e leitura de dados obtidos.

Por fim, importará salientar que um dos principais fatores que influencia os resultados do ensaio da resistividade elétrica relaciona-se com os efeitos de carbonatação em elementos construtivos de betão armado.

#### 3.4.2.8 ENSAIO DA FENOLFTALEÍNA

A inspeção periódica a elementos de betão armado, face à prevenção dos efeitos da corrosão das armaduras, tornou-se num acto indiscutivelmente necessário, devido aos significativos fatores de degradação associados a este tipo de elemento construtivo, bastante particular do edificado recente.

Com tal, para além do estabelecimento de ensaios quantitativos acerca do grau de probabilidade de corrosão das armaduras (resistividade elétrica do betão), desenvolveu-se variadíssimos ensaios demonstrativos/qualitativos, tendo como finalidade a manifestação da ocorrência de efeitos anómalos do betão (carbonatação e ataque de iões de cloreto).

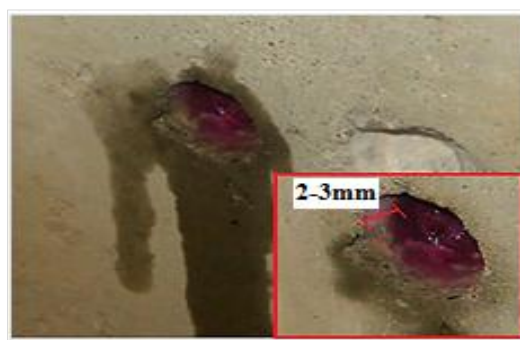
De entre os processos mais correntes de deterioração em elementos de betão armado, a carbonatação é um dos mecanismos que mais afecta as armaduras impregnadas nos mesmos, proporcionando, a médio prazo, a alteração significativa do seu desempenho funcional e estrutural.

Assim sendo, a verificação e caracterização do estado de conservação de betões, no que diz respeito ao processo de carbonatação nos mesmos, poderá ser realizada através da aplicação do indicador químico de fenolftaleína (1% de Fenolftaleína + 70% de Álcool Etilico + 29% de Água Destilada) (**Fig. 3.35**) em furos, ou sondagens previamente executados na superfície, verificando, desta forma, a profundidade de carbonatação do material em análise.

Como tal, será necessário expor superfícies interiores (através de furos nas superfícies de betão armado em análise) para se pulverizar, de imediato, o indicador ácido-base em questão. O reconhecimento da eventual carbonatação baseia-se na mudança de coloração tendo em conta os valores de pH do betão a analisar (após a aspersão da solução):

- Em circunstâncias de valores entre 8 a 9 de pH (betão carbonatado) não ocorre mudança de coloração na superfície de betão em inspeção;
- Em situações de valores de pH entre 12 a 13 (betão não carbonatado), surge uma coloração de carmim na superfície em análise (**Fig. 3.35**).

Porém, os valores de pH, em que se presencia a mudança de coloração (carmim-incolor) situam-se entre 8 a 10 pH.



**Figura 3.35** - Representação dos efeitos ocorridos no furo realizado na superfície do betão, em pilarete nº2 do segundo piso, após a aspersão da solução de fenolftaleína.

Após a realização dos furos na superfície do betão, dever-se-á prosseguir à limpeza correta dos mesmos, tendo em vista a fiabilidade dos resultados (Cóias, 2006).

Tendo em conta as inspeções realizadas a alguns elementos de betão armado interior do edifício em estudo, recorreu-se ao estabelecimento da aspersão da solução de fenolftaleína para aferir a profundidade média de carbonatação dos mesmos. Através da **Figura: 3.35**, poder-se-á observar uma reduzida profundidade de carbonatação, cerca de 2 a 3mm, evidenciando, desta forma, a presença de uma carbonatação superficial nos pilaretes inspecionados, do edifício em estudo.

Posto isto, o presente ensaio demonstra ser bastante útil no que diz respeito ao conhecimento da situação do processo de carbonatação em elementos de betão armado, visto que consegue-se ter a perceção da profundidade de carbonatação, evidenciando-se, assim, três situações possíveis de serem detetadas nos elementos em questão: inexistência de carbonatação, presença de carbonatação superficial ou existência de processo de carbonatação profunda. Porém, a última situação torna-se numa conjuntura bastante gravosa, no que diz respeito às condições de prevalência das armaduras embebidas em elementos de betão armado, podendo-se desencadear o processo de corrosão das mesmas.

Como tal, ao conhecer a posição da frente de carbonatação em vários pontos numa estrutura de betão armado, é possível avaliar a sua durabilidade, assim como estimar a extensão das potenciais zonas a reparar (Cóias, 2006).

### 3.4.2.9 ENSAIO COMPROVATIVO DA PRESENÇA DE CLORETOS

Para além, do efeito da carbonatação do betão, a presença de iões cloreto na composição do ligante do betão armado torna-se nocivo no que diz respeito à preservação das armaduras impregnadas no mesmo. De facto, a ação de cloretos em estruturas de betão armado provoca a deterioração eletroquímica das armaduras, tal como o aceleração do processo de corrosão das mesmas (Amaro, 2011). Perante tais circunstâncias, torna-se necessária a determinação da concentração de ião de cloreto na composição destes elementos construtivos, tendo em consideração a avaliação da necessidade de reparação de estruturas existentes, como também da verificação de condições de durabilidade de materiais usados em construções novas (Cóias, 2006).

Como tal, poder-se-á recorrer a uma avaliação qualitativa da presença de penetração dos iões cloreto através da realização da aspersão de uma solução de Nitrato de Prata ( $\text{AgNO}_3$ ) (**Fig. 3.36**) (em furos previamente realizados na superfície do betão). Este método de inspeção e diagnóstico não desencadeia informações/dados coerentes e precisos, comparativamente a outros ensaios quantitativos que indicam com algum rigor o teor total, ou mais precisamente, o teor solúvel em ácido, de cloretos existentes no betão (Cóias, 2006).

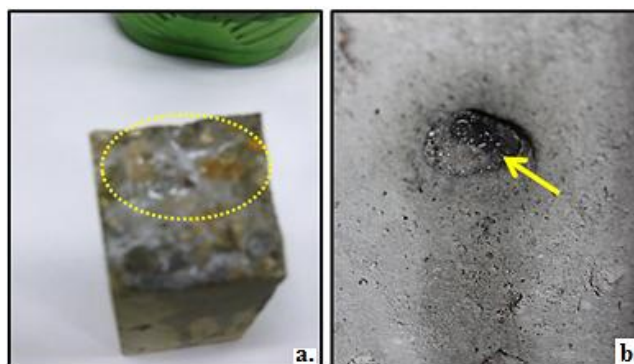


**Figura 3.36** - Representação da amostra de solução de nitrato de prata utilizada para a verificação da presença de cloretos em certos elementos de betão armado, do edifício em estudo

Pode-se aferir sobre a presença de iões cloreto na superfície em análise se, após a aspersão, se formar uma solução pastosa e branca (composto de cloreto de prata), a qual resulta da reação do nitrato de prata com os iões cloreto (Expressão 4):

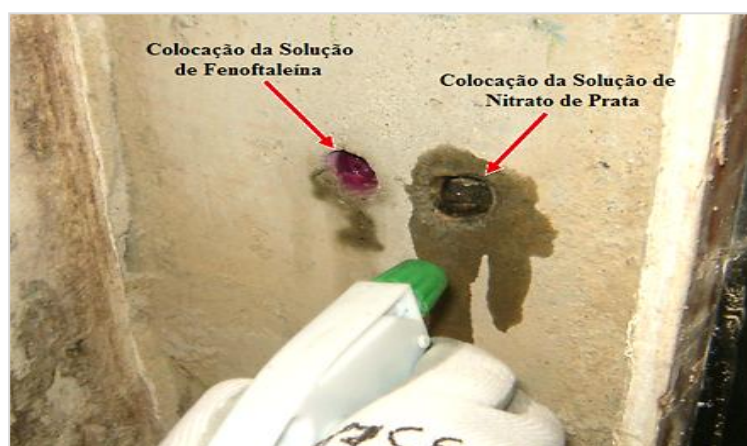


Contudo será importante referir a diferença de efeito de reação da solução de nitrato de prata com íons cloreto, face às condições *in situ* e em provetes de betão de laboratório (Fig. 3.37).



**Figura 3.37** – Representação dos possíveis efeitos de coloração após a colocação da solução de nitrato de prata em elementos de betão: a. Representação da solução branca pastosa num provete de betão; b) Representação de um precipitado branco na superfície de betão (*in situ*), no pilarete nº 1, do sétimo piso.

Porém, revelou-se ser bastante difícil aferir a presença de cloretos nas superfícies de betão (verificação da formação de precipitados brancos), quando comparada com os efeitos evidenciados do ensaio de fenolftaleína, devendo-se essencialmente à coloração intensa de carmim (em locais de betão não carbonatado) (Fig. 3.38). Desta forma, proporcionou-se uma melhor interpretação qualitativa de resultados relativos aos efeitos de carbonatação do que à identificação de presença de cloretos, nas superfícies inspeccionadas.



**Figura 3.38** – Realização dos ensaios qualitativos de aplicação da solução de fenolftaleína e de nitrato de prata, no pilarete nº 2 do segundo piso, do edifício.

### 3.4.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios em laboratório incluem ensaios em provetes, modelos reduzidos ou modelos à escala real, os quais podem ter dois objetivos distintos: caracterização dos materiais e elementos e estudo da variação dessas características ao longo do tempo através de ensaios de envelhecimento acelerado, em particular em elementos cujo comportamento a longo prazo não se encontra ainda caracterizado (Flores-Colen, 2008 citando Flores-Colen *et al.*, 2003).

Outro método experimental que complementa a interpretação dos meios menos intrusivos (inspeção visual e ensaios *in-situ*) consiste na recolha de amostras em condições em serviço. Este método

permite estudar o material efetivamente aplicado e não o produzido em laboratório (em condições controladas e muito diferentes das reais) e ainda obter informação de características que não sejam avaliadas por outros métodos de verificação (Flores-Colen, 2008 citando Flores-Colen *et al.*, 2009). Porém, a recolha de amostras proporciona, igualmente, a calibração de algumas das técnicas *in-situ* através da correlação entre os seus resultados em amostras recolhidas e em provetes produzidos em laboratório.

Na generalidade das ocorrências, o recurso a ensaios laboratoriais é pouco frequente, sobretudo devido à relativa complexidade de execução, morosidade na obtenção de alguns dos resultados, características das amostras (geralmente sem os formatos apropriados e por vezes friáveis e frágeis ao manuseio), custos elevados e o caráter intrusivo inerentes à sua realização (Pereira, 2008). De facto, em edifícios mais recentes, a recolha de amostras não tem sido prática corrente basicamente pelo efeito destrutivo em paramentos, custos e tempo consumido das análises (Flores-Colen, 2008).

No que diz respeito ao edifício em estudo, não ocorreu a oportunidade de execução de carotes em certos elementos de betão armado, para posterior análise laboratorial. Contudo, realizou-se um ensaio de quantificação de sais presentes em manifestações de eflorescências em revestimentos/acabamentos de paredes exteriores e interiores, assim como em acabamentos de pilares e pilaretes de betão armado. Como tal, através da aplicação do ensaio de fitas colorimétricas conseguiu-se obter uma estimativa quantitativa de sais constituintes das sete recolhas de eflorescências efetuadas (**Fig. 3.39**). No entanto será importante referir que, por motivos secundários, não se efetuou ensaios qualitativos/identificativos (i.e. Difração de raio-X) de sais, primeiramente à utilização do ensaio das fitas colorimétricas (ensaio quantitativo). Por consequência, ao realizar-se o ensaio das fitas colorimétricas, partiu-se do princípio que nas amostras recolhidas estavam presentes os sais mais comuns em revestimentos (cloretos, sulfatos e nitratos).

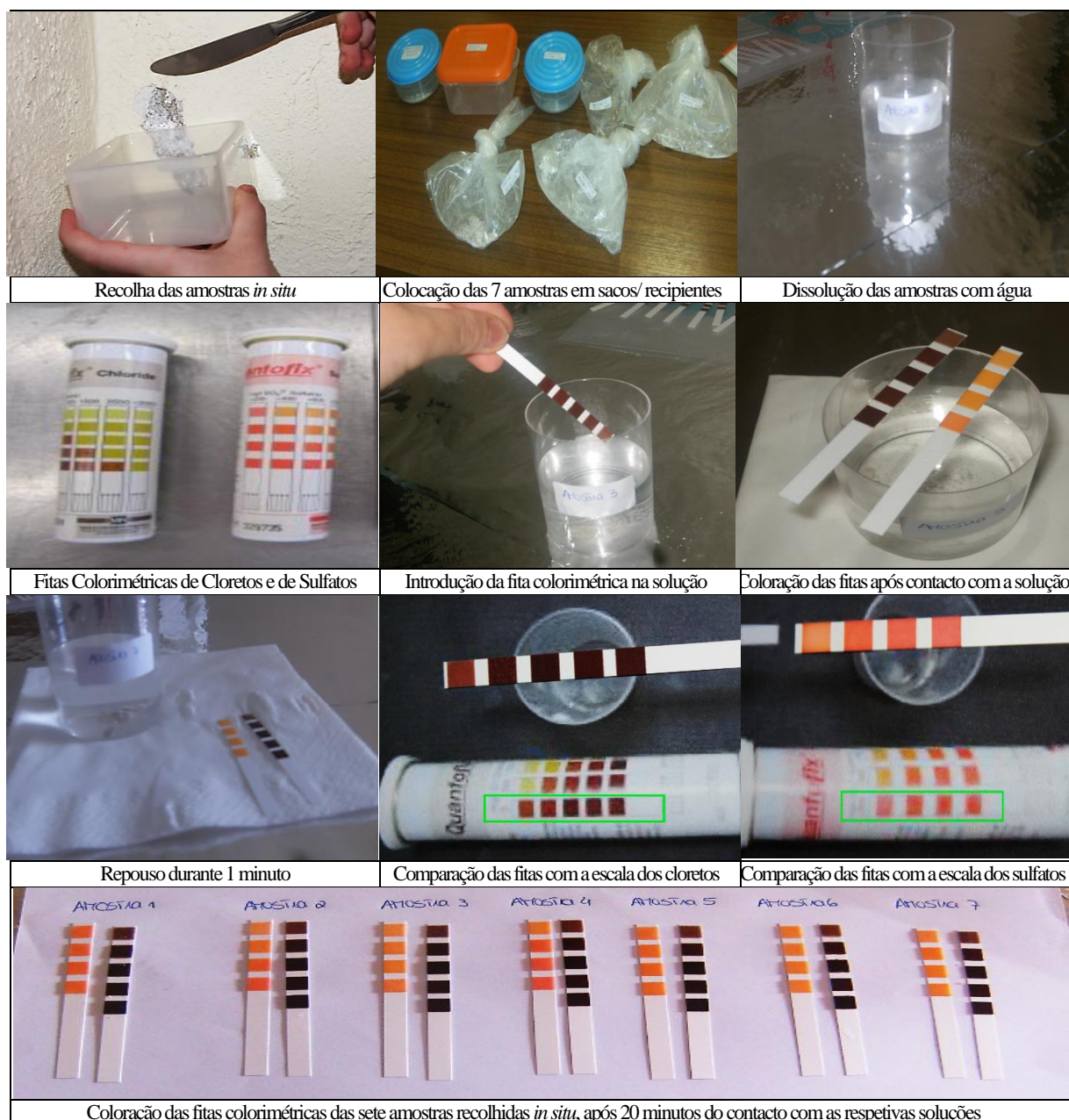
### 3.4.3.1 FITAS COLORIMÉTRICAS

Conforme referido em §2.5.1.1.1.5, as eflorescências são depósitos cristalinos que se formam à superfície de elementos construtivos, devido a ações físico-químicas possibilitadas pela presença de água. Estes compostos afetam a aparência da superfície mas também podem originar degradação química e física (cristalização dos sais) (Flores-Colen, 2008).

As eflorescências na construção poderão ter diversas origens, cujo conhecimento da sua natureza pode ajudar a compreender os mecanismos de degradação (Pereira, 2008). Segundo Uemoto (1984), os sais mais comuns encontrados em eflorescências são: carbonatos (provenientes das cals e cimentos), sulfatos e cloretos (provenientes dos cerâmicos, agregados e adições, água de amassadura ou reações tijolo-cimento) e, ainda, nitratos provenientes de solos adubados ou contaminados (Flores-Colen, 2008).

Os métodos mais simples para deteção dos sais recorrem à solubilidade que estes compostos têm, em maior ou menor grau, com a água (Flores-Colen, 2008). Como tal, o recurso a fitas colorimétricas é uma técnica expedita que analisa de forma semi-quantitativa (apresentação de resultados em escalas de concentração em mg/l) os sais provenientes de compostos existentes nas eflorescências, tais como os iões cloreto, nitratos e sulfatos (Flores-Colen, 2008; Tuna, 2011).

O processo de realização desta técnica de ensaio (**Fig. 3.39**), consiste, essencialmente, na dissolução das amostras (2g) com água destilada (criando uma solução aquosa). De seguida, retira-se uma pequena quantidade da solução aquosa para um copo, introduz-se as fitas durante aproximadamente um segundo, e é feita a sua leitura após um minuto (Tuna, 2011). No presente trabalho, tal ensaio foi realizado em laboratório, após a recolha das sete amostras *in situ*.



**Figura 3.39** – Elaboração do ensaio de fitas colorimétricas.

Quanto ao conhecimento da concentração de sais (cloretos, nitratos e sulfatos) das ditas amostras, o mesmo é estabelecido através da comparação visual entre a fita colorimétrica obtida com as escalas de cor apresentadas nas embalagens (**Quadro 3.17**). Contudo, no presente trabalhos apenas utilizou-se as fitas colorimétricas de cloretos e de sulfatos.

**Quadro 3.17** – Apresentação das escalas das fitas colorimétricas dos cloretos, nitratos e sulfatos (MACHEREY-NAGEL).

| Parâmetros em serviço                                     | Escala (mg/l)   |
|---|---|
| Concentração de cloretos (Cl <sup>-</sup> )               | [0]; [≤500]; [>500 e ≤1000]; [<1000 e ≤1500]; [<1550 e ≤2000]; [<2000 e ≤3000]; [>3000]       |
| Concentração de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )  | [0]; [>0 e ≤10]; [>10 e ≤25]; [>25 e ≤50]; [<50 e ≤100]; [<100 e ≤250]; [>250 e ≤500]; [>500] |
| Concentração de sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) | [≤200]; [>400]; [>800]; [>1200]; [>1600]  |

Porém, importará referir que o ensaio através das fitas colorimétricas não serve como método de aferição para gamas mais baixas de concentração de cloretos e de sulfatos, já que não distingue valores abaixo de 500 mg/l e dos 200 mg/l, respetivamente. No entanto, tal ensaio é bastante utilizado como meio complementar ao *kit* de campo (Flores-Colen, 2008).

Por fim, no **Quadro 3.18**, encontram-se os requisitos relativos à concentração de sais presentes em argamassas de assentamento em pasta e em alvenarias (Flores-Colen, 2008):

**Quadro 3.18** – Requisitos de concentrações de sais em alvenarias e argamassas de assentamento em pasta (adaptado de Flores-Colen, 2008 citando EN 1015-17; ÖNORM B 3355-1).

| Parâmetros em serviço                                    | Concentração de sais em alvenarias (mg/Kg)                     |                      |                 |
|--|--|----------------------|-----------------|
|  | Sem risco  | Avaliação necessária | Remoção de sais |
| Concentração de cloretos (Cl <sup>-</sup> )              | <500   | 500 – 1500           | > 1500          |
| Concentração de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | <300   | 300 -1000            | >1000           |
| Parâmetros em serviço                                    | Concentração de sais em argamassa de assentamento em pasta (%) |                      |                 |
|  | Sem risco  | Limite máximo        |                 |
| Concentração de cloretos (Cl <sup>-</sup> )              | < 0,01   | ≥ 0,01               |                 |

### 3.5 Conclusão

No presente capítulo, pretendeu-se demonstrar a mais valia que o estabelecimento das atividades de inspeção e diagnóstico possui face à totalidade das etapas de intervenção em edifícios. Como tal, procurou-se descrever várias metodologias aplicadas e sistemas de inspeção e diagnóstico utilizados, como via de entendimento aos estádios imprescindíveis para a obtenção de diagnósticos coerentes e objetivos de anomalias.

Desta forma percebeu-se que é realmente difícil alcançar uma única metodologia de inspeção e diagnóstico que satisfaça todos os detalhes dos diversos elementos construtivos, visto que cada edifício é um caso isolado, o qual é caracterizado por situações estruturais, construtivas e funcionais bastante particularizadas. Porém, a fase de recolha de informação e de tratamento de dados observados/obtidos a partir das inspeções periódicas realizadas, assim como das técnicas de diagnóstico efetuadas, torna-se numa fase bastante importante, visto que a forma de identificação e classificação das ocorrências é determinante para a obtenção de um diagnóstico plausível das mesmas.

Em igualdade de circunstâncias, foi realizado um levantamento profundo dos processos e meios de inspeção e diagnóstico realizados em edifícios contemporâneos (**Quadro 3.19**), fazendo ênfase às técnicas de diagnóstico realizadas no edifício em estudo. Para tal, foi consultada bibliografia da especialidade, de forma a selecionar as técnicas mais usuais em edifícios recentes que, como tal, possuem modos de execução já normalizados ou com eficácia bem conhecida. Assim sendo, em todas as técnicas de diagnóstico apresentadas, procurou-se realizar uma caracterização completa das

mesmas, a fim de se conhecer os materiais necessários, as vantagens e condicionantes das suas utilizações, assim como a utilidade das mesmas, tendo em conta os tipos de anomalias a analisar. Porém, tentou-se transmitir as significativas divergências na realização de ensaios *in situ* face aos ensaios realizados em laboratório.

**Quadro 3.19** – Representação da associação das técnicas de diagnóstico utilizadas com as distintas fases de inspeção e diagnóstico de edifícios recentes (adaptado de Cóias, 2006).

| Ensaio, dispositivos e técnicas de diagnóstico | I&E Preliminar | I&E Complementares                      |   |                              |                     | I&E de técnicas e materiais | I&E de controlo da qualidade | I&E Finais | Monitorização |
|--|----------------|---|---|------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|------------|---------------|
|  |                | Levantamento da geometria das anomalias | Caracterização das propriedades mecânicas dos materiais | Caracterização da Envolvente | Validação do Modelo |                             |                              |            |               |
| Ensaio de ultra-sons                           |                | X                                       |   |                              |                     |                             | X                            | X          |               |
| Fitas colorimétricas                           | X              |   |   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Humidímetro                                    | X              | X                                       |   | X                            |                     |                             |                              | X          |               |
| Martelo de Schmidt ou esclerómetro             | X              |   | X   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Medição da Resistividade elétrica              |                | X                                       |   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Averiguação da presença de cloretos            | X              | X                                       |   |                              |                     |                             | X                            | X          |               |
| Comparador de fissuras                         | X              |   |   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Medidor de recobrimento de armaduras           |                | X                                       |   |                              |                     |                             | X                            |            |               |
| Reação Fenolftaleína                           | X              |   |   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Termografia                                    |                | X                                       |   |                              |                     |                             |                              |            |               |
| Termómetro                                     |                |   |   | X                            | X                   |                             |                              |            | X             |

De facto, em circunstâncias *in situ*, as condições de observação e de inspeção nem sempre são as mais favoráveis e as expectáveis, em que a informação estrutural, por vezes, é desconhecida e em algumas situações, por motivos arquitetónicos e funcionais, a execução de determinados ensaios torna-se numa atividade bastante difícil de se concretizar. Como tal, há que ter em consideração que algumas técnicas de diagnóstico utilizadas, possuem carácter qualitativo (ensaio da fenolftaleína, identificação da presença de cloretos e comparador de fissuras), ou seja não evidenciam resultados precisos e quantitativos quanto a possíveis dimensões, valores de teores de concentração ou outros resultados de observações mais coerentes.

## 4 Caso de estudo: Edifício e Aplicação do SIDER

### 4.1 Introdução

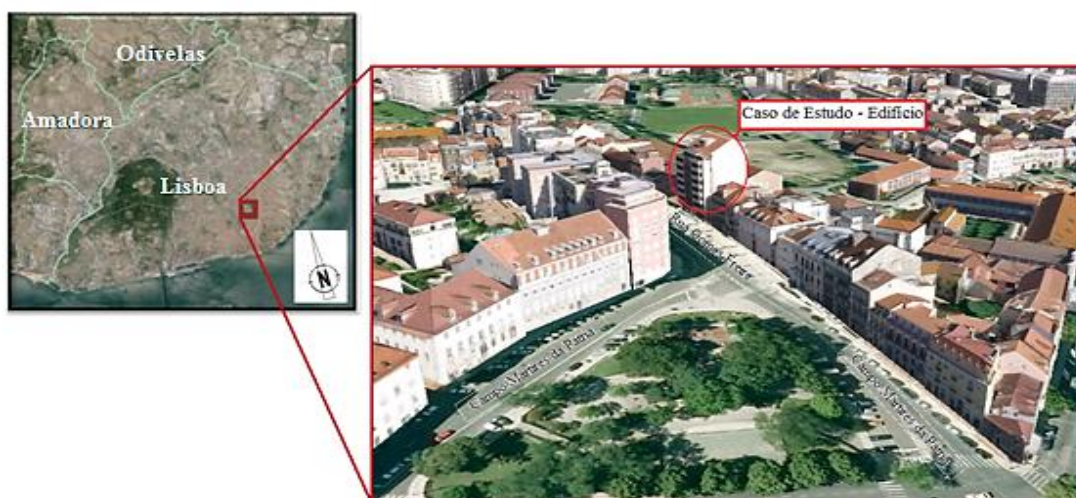
O presente capítulo tem como principal objetivo apresentar e descrever os procedimentos realizados durante as sucessivas inspeções e consequentes diagnósticos das diversas situações anómalas, presenciadas no edifício em estudo. Como tal, inicialmente, ir-se-á descrever o caso de estudo e, posteriormente, apresentar-se-á a metodologia de inspeção e diagnóstico aplicada no mesmo.

### 4.2 Descrição do edifício

No presente sub-capítulo pretende-se realizar uma descrição minuciosa do edifício em causa, em que numa primeira fase o mesmo será caracterizado tendo em conta a localização, a envolvente e a respetiva composição. Posteriormente, procede-se à descrição das particularidades dos distintos elementos construtivos, incluindo a distinção genérica dos respetivos revestimentos e acabamentos empregues nos mesmos. Será importante referir, que durante a metodologia dos trabalhos propostos no presente caso de estudo, teve-se em consideração a informação de alguns documentos disponibilizados pelo proprietário, entre os quais: a caderneta predial urbana, a certidão permanente do registo predial urbano e as plantas da totalidade de pisos e nos respetivos cortes longitudinais e transversais, em formato digital com representação à escala 1:100. Houve também a possibilidade do acesso limitado ao projeto de estruturas, assim como das alterações que foram realizadas posteriormente.

#### 4.2.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício em estudo situa-se no centro da cidade de Lisboa (**Fig. 4.1**), mais concretamente na freguesia da Pena, localizando-se na Rua Gomes Freire nº 18 e 18A.



**Figura 4.1** - Representação da localização do edifício.

Encontra-se numa zona maioritariamente habitacional com algum comércio, possuindo um excelente enquadramento urbanístico, ao proporcionar bons acessos para qualquer ponto da cidade de Lisboa.

## 4.2.2 ANÁLISE GERAL

O edifício em questão é do tipo administrativo, o qual era destinado ao Tribunal Central de Instrução Criminal de Lisboa, encontrando-se atualmente em estado devoluto (desde do ano de 2009). A construção do edifício teve lugar no ano de 1990, com uma tipificação construtiva própria de edifícios recentes, embora os materiais de acabamento e técnicas de construção empregadas sejam do tipo corrente. Na **Figura 4.2**, poder-se-á observar a representação das quatro fachadas do edifício em análise.



**Figura 4.2** - Representação das quatro fachadas principais do edifício: a. Fachada Norte; b. Fachada Frontal (Oeste); c. Fachada Sul; d. Fachada Tardoz (Este).

Toda a sua estrutura é constituída por betão armado, com três caves baixo do solo e nove pisos acima, com uma área bruta de construção e de construção locável, de cerca de 5.488,66 m<sup>2</sup> e de 5.225,77 m<sup>2</sup>, respetivamente, possuindo um comprimento máximo de 35,5m e uma largura de 18,2m. No **Quadro 4.1**, encontra-se uma síntese dos parâmetros dimensionais do edifício em estudo, baseados nos elementos indicados no levantamento arquitetónico, realizado ao edifício.

**Quadro 4.1** – Representação dos parâmetros dimensionais resumo do edifício.

| Parâmetros dimensionais              | Área Bruta de Construção (m <sup>2</sup> ) | Área Bruta Locável (m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Área de Implantação                  | 604, 15                                    | -                                    |
| Área Total do Lote                   | 604, 15                                    | -                                    |
| Área Total Coberta                   | 604, 15                                    | -                                    |
| Área Bruta acima da cota de soleira  | 3.676,20                                   | 3.409,34                             |
| Área Bruta abaixo da cota de soleira | 1.812,46                                   | 1.735,44                             |

Será importante referir que o levantamento arquitetónico do edifício apresenta um quadro de áreas que difere dos registos da Caderneta Predial Urbana (CPU) em todos os pisos (diferença da totalidade de área bruta de construção cerca de 829 m<sup>2</sup>). Como tal, teve-se em consideração as informações disponibilizadas através do levantamento arquitetónico do edifício, visto que o mesmo se afigura como o mais coerente e próximo da situação real. Contudo, embora tal documento seja datado do ano de 2010, apresenta algumas discrepâncias, em relação à compartimentação verificada no local.

No **Quadro 4.2**, poder-se-á observar a quantificação das áreas brutas de construção e locáveis de cada piso do edifício, assim como a discrepância de valores de área bruta de construção, comparativamente à informação adquirida na CPU e no levantamento arquitetónico. Assim sendo, os três pisos de cave e o rés-do-chão possuem uma área bruta de cerca de 600m<sup>2</sup>, onde ao nível do

primeiro piso, dá-se uma redução de área bruta de construção e de área bruta locável cerca de 56,87 m<sup>2</sup> e de 45,31 m<sup>2</sup>, respetivamente. Ao nível do segundo piso dá-se uma redução brusca de profundidade para 23m ficando com uma área de cerca de 433 m<sup>2</sup>, onde o terceiro piso apresenta novamente uma redução de profundidade para os 16m, permanecendo-se, desta forma, até ao sétimo piso. No oitavo piso encontra-se um terraço acessível com uma área de cerca de 40,10 m<sup>2</sup>, e por fim o nono piso caracteriza-se pela sua menor área bruta de construção e locável, cerca de 222 m<sup>2</sup> e 206 m<sup>2</sup>, respetivamente.

**Quadro 4.2** – Representação das principais características métricas da totalidade de pisos do edifício.

| Designação dos Pisos | Dados da CPU                               |  | Levantamento Arquitetónico                 |                                      |
|----------------------|--|--|--|--------------------------------------|
|                      | Área Bruta de Construção (m <sup>2</sup> ) | Área Bruta de Construção (m <sup>2</sup> ) | Área Bruta de Construção (m <sup>2</sup> ) | Área Bruta Locável (m <sup>2</sup> ) |
| Cave -3              | 524,28                                     | 604,15                                     | 604,15                                     | 578,48                               |
| Cave -2              | 534,28                                     | 604,15                                     | 604,15                                     | 578,48                               |
| Cave -1              | 504,28                                     | 604,15                                     | 604,15                                     | 578,48                               |
| Rés-do-Chão          | 522,28                                     | 604,15                                     | 604,15                                     | 570,28                               |
| 1º Piso              | 410,26                                     | 547,28                                     | 547,28                                     | 524,97                               |
| 2º Piso              | 284,28                                     | 449,42                                     | 449,42                                     | 433,21                               |
| 3º Piso              | 284,28                                     | 313,99                                     | 313,99                                     | 297,78                               |
| 4º Piso              | 284,28                                     | 313,99                                     | 313,99                                     | 297,78                               |
| 5º Piso              | 284,28                                     | 313,99                                     | 313,99                                     | 297,78                               |
| 6º Piso              | 284,28                                     | 313,99                                     | 313,99                                     | 297,78                               |
| 7º Piso              | 229,28                                     | 313,99                                     | 313,99                                     | 297,78                               |
| 8º Piso              | <sup>6</sup>                               | 282,89                                     | 282,89                                     | 266,68                               |
| 9º Piso              | 201,28                                     | 222,53                                     | 222,53                                     | 206,33                               |
| Galeria              | 519,28                                     | -  | -  | -                                    |
| Totalidade dos Pisos | 4.659,63                                   | 5.488,66                                   | 5.488,66                                   | 5.225,77                             |

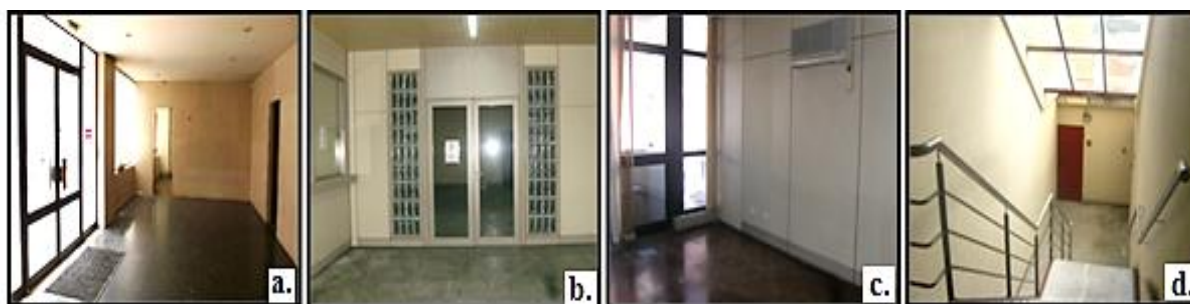
Iniciando uma apreciação geral ao edifício em estudo, poder-se-á constatar que para além da grande diversidade de áreas entre os pisos existentes, persistem particularidades construtivas distintas entre os mesmos. Os três pisos inferiores são essencialmente destinados ao estacionamento de viaturas, tendo capacidade para parqueamento de cerca de quarenta veículos, com bastante facilidade de circulação para veículos ligeiros. Nestes pisos subterrâneos, para além dos locais de parqueamento de viaturas, poder-se-á observar locais com fins de compartimentação, de arquivo e de celas (câmaras localizadas na cave -1, com cerca de 82 m<sup>2</sup>) (**Fig. 4.3**).



**Figura 4.3** - Alguns locais particulares dos pisos inferiores do edifício: a. Local das celas no Piso -1; b. Sala localizada no Piso -2; c. Pormenor de compartimento no Piso -1; d. Local de Estacionamento do Piso -3.

Relativamente à caracterização dos pisos superiores, poder-se-á dividi-la em quatro grupos de andares. O piso de rés-do-chão e o primeiro piso (**Fig. 4.4**) constituem o primeiro conjunto de andares, devido à semelhança de revestimentos em pavimentos e em paredes.

<sup>6</sup> Este nível não é referido na Caderneta Predial Urbana do edifício em estudo.



**Figura 4.4** - Alguns locais do piso rés-do-chão e primeiro piso do edifício: a., b. Compartimentações do piso rés-do-chão; c. Compartimentos do primeiro piso; d. Lanternim sobre escada do 1º piso que dá acesso ao 2º piso.

O segundo grupo de andares é composto por três pisos (**Fig. 4.5**): o segundo, o terceiro e o quarto andar. Não obstante ao facto que a área bruta do segundo andar é francamente superior aos restantes dois pisos considerados (cerca de 135 m<sup>2</sup>), este grupo de pisos é caracterizado pela significativa observação de diversas e distintas anomalias, em locais semelhantes, em relação aos diferentes pisos considerados.



**Figura 4.5** - Alguns locais característicos do segundo, terceiro e quarto piso: a., b. Compartimentações do segundo piso; c. Compartimento do terceiro piso; d. Compartimento do quarto piso.

O terceiro grupo de andares (**Fig. 4.6**) é constituído por três pisos (desde do quinto até ao sétimo piso), devendo-se essencialmente à igualdade de superfícies e disposição de espaços interiores. Será importante referir a simetria, que os referidos pisos apresentam entre si, ao distribuírem-se de uma forma simétrica em relação a um eixo longitudinal central.



**Figura 4.6** - Alguns locais característicos do quinto, sexto e sétimo piso: a. Compartimentação do quarto piso; b. Local de circulação comum no quinto piso; c. Compartimentação do sétimo piso; d. Compartimento do sexto piso.

Embora o oitavo piso e o nono piso (**Fig. 4.7**) possuam áreas brutas de construção bastante distintas, entendendo à circunstância da divergência de organização espacial interior, dos pisos considerados,

ambos apresentam anomalias particulares de pisos próximos da cobertura (infiltrações em tetos e em pavimentos). Tais ocorrências provêm da presença de uma cobertura plana no oitavo piso e de uma cobertura inclinada, sobre o nono piso. Como tal estes dois últimos pisos aéreos constituem o último e quarto grupo de pisos superiores.



**Figura 4.7** - Alguns locais característicos do oitavo e nono piso: a. Compartimentação orientada a oeste do oitavo piso; b. Sala orientada a este do nono piso; c. Cobertura plana do oitavo piso; d. Local de varanda de grande extensão, localizada no nono piso.

Relativamente à quantificação de instalações sanitárias em cada piso do edifício, no terceiro e segundo piso inferiores não existe qualquer tipo de instalações sanitárias, em contraste com o primeiro piso inferior até ao primeiro piso superior que contemplam três instalações desta natureza. No seguimento dos pisos, desde do segundo piso até ao oitavo piso superior ocorre uma média de quatro instalações sanitárias por piso, excetuando o caso do nono piso, com duas instalações.

Os locais destinados a circulação comum, apresentam diferentes características ao longo do desenvolvimento de pisos (**Fig. 4.8**). Tendo em consideração os pisos superiores, os referidos locais, na sua generalidade, caracterizam-se pelas suas extensas profundidades, encontrando-se envolvidos pelas estruturas amovíveis (representativas de paredes secundárias) e com boas condições de iluminação natural, proporcionadas através de estruturas de blocos de vidro incorporadas nos sistemas de compartimentação amovível (**Fig. 4.8d**).



**Figura 4.8** - Locais de circulação comum do edifício.

A circulação vertical é possibilitada por dois ascensores verticais em paralelo e um núcleo de escadas principais. O *layout* interior é específico para o tipo de utilização característica do edifício em causa (serviço-administrativo), com uma definição rígida de pavimentos, sendo perceptível, ao longo do desenvolvimento do edifício, um pé-direito extremamente reduzido (verificando-se essencialmente no átrio de entrada, com um pé-direito de 2,63m). O primeiro e segundo piso superiores apresentam uma relação desequilibrada entre a profundidade e a largura. De uma forma conclusiva, apresenta-se, seguidamente, o **Quadro 4.3** representando as descrições de uso dos diversos pisos do edifício em questão.

**Quadro 4.3** – Indicação do tipo de utilização da totalidade dos pisos do edifício.

| Designação dos Pisos | Designação do tipo de utilização   |
|----------------------|--|
| Cave -3              | Estacionamento, rampas viárias e bloco de acessos verticais.   |
| Cave -2              | Estacionamento, rampas viárias, bloco de acessos verticais e dois espaços de arrumos.  |
| Cave -1              | Estacionamento, rampas viárias, bloco de acessos verticais, espaços de arrumos, informática, posto de transformação, cofres, instalações sanitárias, celas e área administrativa.  |
| Rés-do-Chão          | Átrio de entrada no edifício, bloco de acessos verticais, entrada no estacionamento e rampa viária, receção, central telefónica, secretárias, gabinetes, sala polivalente, instalações sanitárias, sala reservada e arrumos. |
| 1º Piso              | Bloco de acessos verticais, instalações sanitárias, gabinetes, salas e secretárias.  |
| 2º Piso              | Bloco de acessos verticais; instalações sanitárias, secretarias e gabinetes.   |
| 3º Piso ao 5º Piso   | Bloco de acessos verticais, instalações sanitárias, gabinetes, secretaria, salas de espera e salas de audiência.   |
| 6º Piso              | Bloco de acessos verticais, instalações sanitárias, gabinetes, secretarias e salas.  |
| 7º Piso              | Bloco de acessos verticais; instalações sanitárias, gabinetes, secretaria, biblioteca e sala de reuniões.  |
| 8º Piso              | Bloco de acessos verticais, instalações sanitárias, gabinetes e secretarias.   |
| 9º Piso (Sótão)      | Escadas de acesso, casa de máquinas de elevadores, instalações sanitárias, salas polivalentes e arrumos.   |

### 4.2.3 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

Para sistematizar a descrição construtiva do edifício optou-se por a dividir em elementos primários, elementos secundários, revestimentos, acabamentos construtivos e instalações especiais. A opção por este tipo de classificação prende-se com uma lógica de descrição que se pretende essencialmente construtiva. No entanto será imprescindível referir que para além da informação provinda de documentos, projetos e de peças desenhadas relativas ao edificado, teve-se, igualmente, em consideração as observações dos furos realizados em distintas paredes, de certos pisos, durante o acto de inspeção do edifício em estudo.

#### 4.2.3.1 ELEMENTOS PRIMÁRIOS

No presente subcapítulo, consideram-se os elementos primários, do edifício em questão, todos os elementos com função estrutural e não estrutural, que contribuem para a definição da compartimentação do edifício em questão. Em igualdade de circunstâncias ir-se-á descrever os tipos de revestimentos/acabamentos empregues em tais elementos construtivos.

##### 4.2.3.1.1 FUNDAÇÕES

Tendo em conta que o terreno, do edifício em questão, é predominantemente constituído por calcários coníferos e silte argiloso de grande compacidade e coesão, o que evidencia um solo com características estáveis (diminuindo a probabilidade de existência de assentamentos diferenciais), proporcionou-se a realização de fundações do tipo diretas. Assim sendo, as fundações são constituídas por sapatas isoladas e por sapatas contínuas.

No que diz respeito ao tipo de contenção periférica (muros laterais de suporte de terras), foi adotada a realização de muros de betão armado com uma espessura de 0,30m, à exceção do terceiro piso subterrâneo (Piso -3), em que os muros de contenção periférica possuem uma espessura de 0,35m, em toda a periferia do piso considerado.

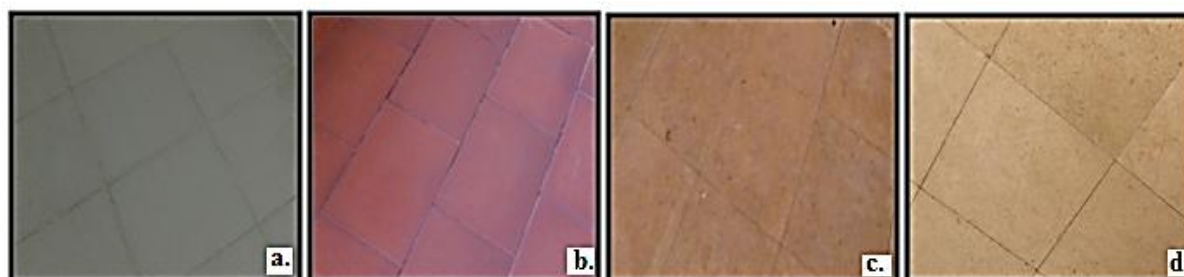
#### 4.2.3.1.2 PAVIMENTOS

A estrutura dos pavimentos do edifício é constituída por lajes fungiformes maciças com 20 cm de espessura nos pisos elevados (**Fig. 4.9**) e 22 cm de espessura nos restantes, descarregando diretamente nos pilares sem capitéis, nos muros de suporte e nas paredes da caixa de escada. As lajes das rampas de estacionamento são maciças com uma espessura de 20cm, de betão armado.



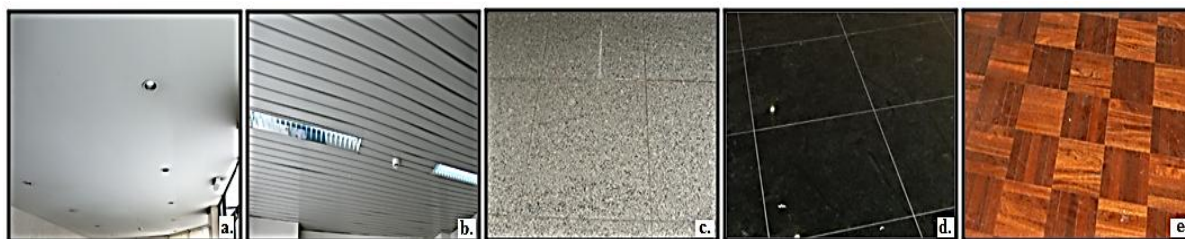
**Figura 4.9** - Representação da realização da laje do rés-do-chão do edifício (Arquivo nº 3 do nº de obra: 59 194, CML).

No que diz respeito aos acabamentos finais empregues nos pavimentos, observa-se uma grande variedade ao longo do desenvolvimento dos pisos. Na sua generalidade, poder-se-á dividir o tipo de revestimentos de pavimento em 3 grandes grupos: revestimentos cerâmicos (**Fig. 4.10**), revestimentos de pedra (**Figs. 4.11c, 4.11d**) e revestimento de madeira (**Fig. 4.11e**).



**Figura 4.10** - Representação dos quatro tipos de revestimento cerâmico hidráulico empregue nos pavimentos: a. Revestimento de um compartimento do Piso -1; b. Revestimento de uma extremidade tardoz do primeiro piso; c. Revestimento de uma instalação sanitário do primeiro piso; d. Revestimento de uma instalação sanitário no piso -1.

Nos pisos inferiores, é frequente a presença de betonilha afagada, nos locais destinados a estacionamento, e em compartimentos (ou locais de apoio técnico) e instalações sanitárias são empregues mosaicos de grês porcelânico, de tonalidade cinzenta (**Fig. 4.10a**) e pedras de calcário de Moleanos (**Fig. 4.10d**), respetivamente. Os restantes pisos do edifício, apresentam maior diversidade de revestimentos de pavimentos do que os pisos inferiores: nos locais de circulação é frequente um revestimento de pedra de granito cinza (**Fig. 4.11c**), nos compartimentos administrativos, de cada piso, é empregue um revestimento colado de tacos de *parquet* de madeira de mogno, com módulos de 12x12cm envernizados ou encerados (**Fig. 4.11e**), nas instalações sanitárias é utilizado um revestimento cerâmico hidráulico com tonalidade rosada (**Fig. 4.10c**), e por fim, num local (no primeiro piso), destinado à deposição dos aparelhos de ventilação das caves de parqueamento, poder-se-á observar um revestimento mosaico cerâmico retangular de cor vermelha (**Fig. 4.10b**).



**Figura 4.11** - Representação dos tipos de revestimento de pavimentos e de tetos empregados no edifício: a. Teto falso em gesso cartonado pintado; b. Representação de teto falso realizado com perfis de alumínio lacados; c- Pedra de granito cinza tipo; d Lajedo de pedra de granito tipo impala negro; e. Revestimento de tacos de *parquet* de madeira de mogno.

Contudo será importante referir que o rés-do-chão, é o que apresenta maior qualidade em revestimentos de pavimentos, comparativamente aos restantes pisos, onde para além da presença dos revestimentos referidos anteriormente (dos pisos aéreos), no *hall* da entrada encontra-se revestido por lajedo de pedra de granito tipo impala negro (**Fig. 4.11d**).

Os tetos dos diferentes espaços administrativos e das compartimentações do edifício, na sua generalidade são estucados e pintados. Contudo no piso rés-do-chão, primeiro piso e nos locais de circulação poder-se-á observar tetos falsos realizados com perfis de alumínio lacados (**Fig. 4.11b**) e somente no átrio da entrada, persiste um teto falso composto por gesso cartonado pintado, com tonalidade branca (**Fig. 4.11a**).

#### 4.2.3.1.3 PAREDES

Tendo em consideração a análise das observações nos sete ensaios, pouco intrusivos até meio-termo das paredes (**Fig. 4.71**) (realizados aos paramentos exteriores do edifício) e no levantamento arquitetónico da totalidade dos pisos, as paredes do edifício, poderão ser caracterizadas da seguinte forma:

- Paredes Exteriores:
  - a) Inspeção nº 1: Paredes duplas de alvenaria de tijolo cerâmico com as dimensões presumíveis de 7 cm (pano interior) e de 11 ou 9cm (pano exterior), com uma caixa-de-ar não ventilada de cerca de 15cm, sem qualquer elemento de isolamento pelo interior (ver **Anexo 1.II**) (**Fig.4.12e**);
  - b) Inspeção nº 2, 6 e 7: Alvenaria de tijolo cerâmico duplo, com espessura de 7cm (pano interior) e 7 ou 9 cm (pano exterior), com caixa-de-ar de cerca de 10cm, sem preenchimento de isolamento térmico (Ver **Anexo 1.III**) (**Fig. 4.12a**);
  - c) Inspeção nº 3: Parede de maciço de betão simples com cerca de 15cm de espessura (ver **Anexo 1.III**) (**Fig. 4.12d**);
  - d) Inspeção nº 5: Paredes duplas de alvenaria de tijolo cerâmico de 7cm, com caixa-de-ar de 6cm não ventilada e sem qualquer preenchimento de isolamento térmico (ver **Anexo 1.IV**) (**Fig. 4.12c**);
  - e) Inspeção nº 4: Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico de espessura de 7 ou 9cm (ver **Anexo 1.III**).
- Paredes Interiores:
  - a) Paredes Simples de tijolo de 11cm de espessura;

- b) Paredes Simples de tijolo de 7cm de espessura;
- c) Divisórias amovíveis com estrutura metálica e painéis de termolaminado de boa qualidade, com espessura variável entre os 2cm a 12cm (**Fig. 4.12b**);
- d) Parede da caixa de escadas principal em betão armado, com 20 cm de espessura.

Os pisos subterrâneos são caracterizados pela presença de muros de betão armado (30 cm), associados a panos simples de tijolo de 20 cm de espessura rebocados e pintados com tinta plástica ou texturada em toda a periferia, onde as paredes de compartimentação são constituídas por pano simples de tijolo com 11 cm de espessura, encontrando-se rebocado e pintado com tinta plástica. Relativamente aos pisos superiores, as paredes de compartimentação são do tipo amovível em locais administrativos, ou em panos de tijolo simples de 11 cm e de 7cm em instalações sanitárias, ao longo do desenvolvimento dos pisos.

A fachada principal é caracterizada por uma espessura de cerca de 34cm, sendo composta por dois panos de alvenaria de tijolo cerâmico com as dimensões presumíveis de 7 cm (pano interior) e de 11 ou 9cm (pano exterior), com uma caixa-de-ar não ventilada de cerca de 15cm, sem qualquer elemento de isolamento pelo interior. Porém, na fachada tardoz (parede este) do edifício apenas persiste panos opacos sob as janelas, possuindo diferentes particularidades entre os diversos pisos, no que diz respeito à composição da mesma. Desde do piso de rés-do-chão até ao segundo piso, incluindo o nono piso, a referida parede detém cerca de 31cm de espessura, em que o pano interior e exterior tem 7 e 9 cm de espessura, respetivamente. A caixa-de-ar tem a dimensão de cerca de 10cm, não conferindo por esse facto, melhor isolamento. Nos restantes pisos superiores (terceiro até ao sétimo piso inclusive), o pano opaco sob as janelas da fachada de tardoz é composto por um maciço de betão com 15cm de espessura e os panos de parede da empena junto a esta fachada são de tijolo cerâmico de 7/9cm, possuindo uma espessura de 12cm ao todo (**Fig. 4.12c**). Crê-se que, originalmente, esta zona teria sido projetada para configurar varandas, tal como no piso 9. O facto de ter sido transformada em espaço normal de gabinetes teria obrigado a uma alteração de materiais ou correção térmica, o que não foi feito.

Por fim, na generalidade dos locais das empenas, a parede é dupla, com dois panos de tijolo de 7 cm e caixa-de-ar ventilada, com 6 cm. Será importante referir que existe uma parede sul exterior, no primeiro piso (que faz a separação da divisão interior com o local onde se encontram depositados o sistema de ventilação das caves e o sistema de ar condicionado do piso referido), que é composta por um único pano de tijolo de 0,15 m de espessura.



**Figura 4.12** - Representação de alguns tipos de paredes que compõem o edifício: a. Parede exterior tardoz no nono piso; b. Parede de compartimentação do tipo amovível no quinto piso; c. Parede exterior dupla no nono piso; d. Parede de betão simples no quarto piso; e. Parede exterior frontal, no primeiro piso.

Relativamente às particularidades de revestimento de paredes nos pisos, na envolvente interior, a maioria das paredes interiores fixas (casas de banho, núcleo de escadas) são rebocadas e pintadas com tinta plástica de tonalidade branca (**Fig. 4.13c**) quando confinada com circulações e gabinetes, e na fachada principal e tardo, as paredes encontram-se rebocadas e estucadas, interiormente. Contudo em alguns locais de gabinetes, nas paredes de empena não se proporcionou a aplicação de qualquer tipo de revestimento, utilizando painéis de termolaminado, (**Fig. 4.13a**), como sistema de revestimento, proporcionando por detrás um espaço para cablagens.

No *hall* da entrada no piso de rés-do-chão, as paredes encontram-se revestidas por pedra calcária de cor clara (**Fig. 4.13b**), as paredes das instalações sanitárias são revestidas por mosaico cerâmico hidráulico de tonalidade branca (**Fig. 4.13d**) (até à altura de 2,50m, onde restante troço de parede e o teto são estucados e pintados), e por fim, alguns pilares, situados no rés-do-chão, encontram-se revestidos por pedra granítica (**Fig. 4.13e**).



**Figura 4.13** - Representação dos diferentes tipos de revestimentos utilizados nas paredes do edifício: a. Colocação de estrutura amovível como revestimento final em parede exterior; b. Revestimento de pedra calcária; c. Parede rebocada e pintada; d. Revestimento cerâmico hidráulico em instalação sanitária; e. Revestimento em pilar de pedra granítica.

No que diz respeito aos revestimentos utilizados nas quatro fachadas exteriores do edifício, poder-se-á constatar o seguinte:

- Fachada Frontal (Oeste):
  - a) Parede revestida por pedra calcária do tipo encarnado Negrais, aplicada através de colagem (**Fig. 4.14a**).
- Fachada Tardo (Este):
  - a) Parede revestida através de pastilha cerâmica (**Fig. 4.14c**);
- Fachada Norte e Sul:
  - a) Parede rebocada e pintada com tinta de membrana de tonalidade branca (**Fig. 4.14b**).

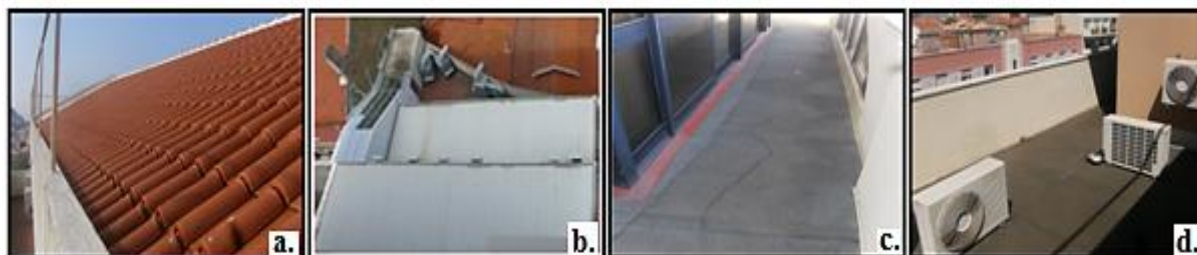
A fachada principal apresenta um desenvolvimento simétrico com a porta de entrada ao centro com uma pala de sombreamento superior e envolta lateral e superiormente por uma parede opaca revestida a calcário do tipo encarnado Negrais, com cerca de 1cm de espessura pelo exterior. Ao nível do rés-do-chão, primeiro piso e de ambos os lados da entrada, as paredes são constituídas por painéis envidraçados, excetuando o portão de acesso à garagem (**Fig. 4.2b**). Entre o segundo e o sétimo piso, inclusive, a fachada é regular, constituída por um painel central envidraçado. No alçado de tardo os vãos envidraçados estendem-se em toda a largura da fachada (excluindo o rés-do-chão, visto não persistir nenhuma abertura para o exterior), da altura do peitoril até ao teto. Inferiormente existe um pano opaco revestido pelo exterior a pastilha cerâmica.



**Figura 4.14** - Representação dos diferentes revestimentos empregues nas paredes exteriores do edifício: a. Parede Norte rebocada e pintada com tinta de membrana de cor branca; b. Fachada frontal revestida por pedra calcária; c. Fachada tardez revestida com sistema de pastilha cerâmica hidráulica.

#### 4.2.3.1.4 COBERTURA

No que diz respeito ao tipo de cobertura, no edifício existe uma cobertura plana acessível (em terraço), no oitavo piso (**Figs. 4.15c, 4.15d**), revestida por uma tela betuminosa com uma proteção leve de gravilha, e no último piso, encontra-se uma cobertura sobre uma laje inclinada de betão sem isolamento térmico, revestida com telha cerâmica, de barro vermelho (**Fig. 4.15a**). Porém nos locais avançados do rés-do-chão e primeiro piso, na fachada tardez, poder-se-á observar uma cobertura revestida em chapa metálica canelada lacada, de tonalidade clara (**Fig. 4.15b**), sobre uma laje plana de betão.



**Figura 4.15** - Representação do tipo de revestimentos empregues nas coberturas do edifício: a. Cobertura inclinada; b. Cobertura nos locais avançados do r/c e primeiro piso; c., d. Cobertura plana revestida com impermeabilizante em toda a sua extensão.

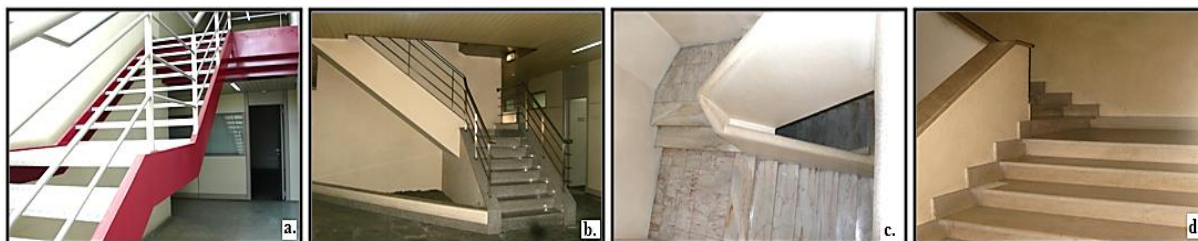
#### 4.2.3.1.5 ESCADAS

Existem três tipos de escadas, no edifício:

- Escadas Principais: Núcleo de escadas, localizado no interior do edifício, que se desenvolve na totalidade de pisos;
- Escadas Secundárias: Escadas interiores, que dão acesso único e exclusivo a um piso, presentes no r/c e no primeiro piso;
- Escadas de Emergência: Escadas localizadas na extremidade posterior do edifício mais distante da fachada principal, que se desenvolve desde do piso -3 (3ª Cave) até ao primeiro piso, possuindo uma função de caminho de fuga da ocasião de incêndio nas caves.

As escadas principais e as de emergência são constituídas por betão armado, acentuando-se o facto que as escadas principais, situadas numa posição central, constituem um núcleo de grande rigidez, conferindo à estrutura grande resistência às solicitações horizontais provenientes dos sismos ou vento.

O pavimento (degraus, cobertores e patamares) do núcleo de escadas principal (**Fig. 4.16d**) encontra-se revestido por pedra de calcário do tipo Moleanos, em contraste com o revestimento empregue no pavimento das escadas de emergência (**Fig. 4.16c**), onde poder-se-á constatar a presença de pedra mármore. Relativamente ao revestimento de paredes, instaurado nas escadas principais e de emergência, permanece um acabamento final caracterizado pela utilização de tinta esmalte do tipo *kerapas*, em toda a totalidade de altura das paredes, em que os tetos encontram-se rebocados e pintados, possuindo um aspeto areado. A escada secundária entre o rés-do-chão (**Fig. 4.16b**) e o segundo piso, apresenta os degraus revestidos com pedra de granito cinza, da mesma natureza do pavimento adjacente, possuindo corrimão e guardas em inox.



**Figura 4.16** - Representação dos quatro tipos de revestimentos utilizados nas estruturas de escadas do edifício: a. Escada metálica situado no primeiro piso; b. Escada secundária do rés-do-chão; Escada de emergência; d. Núcleo de escadas principal.

Por fim, existe uma segunda escada secundária (**Fig. 4.16a**), no primeiro piso, com acabamento metálico, que permite o acesso ao segundo piso. Esta zona de ligação é saliente em relação à fachada de tardoz e é iluminada superiormente por um grande lanternim (**Fig. 4.4d**).

#### 4.2.3.1.6 VARANDAS

Em todos os pisos aéreos, excluindo o primeiro, o oitavo piso e o nono piso, poder-se-ão encontrar na fachada frontal do edifício varandas dispostas simetricamente, com guardas opacas e revestidas com pedra calcária do tipo encarnado Negrais (pedra da mesma natureza da fachada principal com uma tonalidade mais clara).



**Figura 4.17** – Pormenor das varandas: a. Representação de varanda do piso quinto piso; b. Representação do revestimento empregue no pavimento e na parede dos locais de varanda.

Os referidos locais são acessíveis e caracterizados com uma área de cerca de 6 m<sup>2</sup>, onde na maioria das situações são destinados à deposição dos aparelhos de climatização dos respetivos piso (**Fig. 4.17a**), tendo como principal objetivo não alterar (de uma forma negativa) a estética da fachada frontal do edifício.

No que diz respeito aos materiais de revestimento utilizados no pavimento, é observável a utilização de revestimento cerâmico hidráulico de tonalidade castanha (**Fig. 4.17b**), e as paredes, na sua envolvente interior, são rebocadas e pintadas com tinta de membrana com tonalidade clara. Por fim, nos parapeitos das varandas, foram colocadas pedras mármores, como material de acabamento de superfície.

No nono piso existe uma varanda (com cerca de 20m<sup>2</sup>) que se estende em toda a largura (**Fig. 4.7d**), onde conjuntamente com o terraço do oitavo piso, e as restantes varandas, proporcionam uma amplitude de vistas de rara beleza sobre a cidade de Lisboa.

#### 4.2.3.2 ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

No presente subcapítulo apenas ir-se-á descrever os materiais utilizados nos caixilhos exteriores do edifício.

##### 4.2.3.2.1 CAIXILHOS DE JANELAS

Nas fachadas frontais e posteriores (**Fig. 4.18**), observa-se uma caixilharia de alumínio anodizado de cor castanho-escuro, sem corte térmico com vidros duplos de cor bronze (5mm+5mm).



**Figura 4.18** - Representação do caixilho de alumínio anodizado em janelas de alguns locais do edifício.

#### 4.2.3.3 INSTALAÇÕES ESPECIAIS

Semelhante à generalidade dos edifícios recentes, o edifício em estudo possui diversas e distintas instalações especiais. Contudo ter-se-á em conta apenas os elementos e locais, em que se considera imprescindível a sua respetiva caracterização, devido à existência de anomalias de caráter estrutural e não estrutural, nos mesmos.

##### 4.2.3.3.1 LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE APARELHOS DE VENTILAÇÃO DAS CAVES

Numa extremidade no local posterior do edifício, encontra-se uma zona exterior, sem cobertura, destinada à deposição dos aparelhos de ventilação das caves de estacionamento (**Fig. 4.19**), assim como

o armazenamento dos aparelhos de climatização individuais, do piso referido. Este local é acessível, possuindo uma área de cerca de 52 m<sup>2</sup>, sendo adjacente ao lanternim, já referido anteriormente.



Figura 4.19 - Representação do local destinado à deposição dos aparelhos de ventilação e de climatização.

#### 4.2.3.3.2 REDE DE SEGURANÇA CONTRA RISCO DE INCÊNDIO

O edifício possui rede de segurança contra riscos de incêndio, composta por rede de *sprinkler's* nos locais de estacionamento dos três pisos inferiores (Figs. 4.20a, 4.20c) e carretéis, presentes no núcleo de escadas principal, na totalidade dos pisos. Porém, nos locais de estacionamento ocorrem algumas anomalias em pavimentos e em paredes, devendo-se, essencialmente a roturas e a outras ocorrências da tubagem do sistema *sprinkler's*.



Figura 4.20 - Representação da presença da rede de *sprinkler's* nas três caves do edifício.

#### 4.2.3.3.3 CASA DAS MÁQUINAS

No nono piso, poder-se-á observar um local destinado à deposição do sistema de funcionamento dos dois elevadores, assim como outros sistemas operacionais de outro tipo de natureza de instalações (Fig. 4.21), do edifício. Este local possui uma área de cerca de 7,5 m<sup>2</sup>, onde é visível a ocorrência de anomalias em estruturas de betão armado expostas.



Figura 4.21 - Representação de alguns elementos presentes na casa das máquinas, localizado no nono piso.

#### 4.2.3.3.4 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

A rede interna de abastecimento de água apresenta uma idade de cerca de 23 anos, o que significa que está próxima do final da sua vida útil, não tendo sido possível porém, aferir o material nesta fase. No entanto e por observação no local, não se apresentam sinais de degradação da mesma. Contudo, a rede interna de drenagem de águas residuais domésticas apresenta algumas anomalias (rotura e má vedação nas juntas), em locais de arquivo e de estacionamento dos pisos inferiores, provocando, por consequência, graves problemas de infiltrações em distintos elementos construtivos adjacentes.

#### 4.2.4 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Como referido anteriormente, a estrutura do edifício é constituída por lajes fungiformes, com um vão máximo de 7,5m (**Fig. 4.20b**), descarregando diretamente nos pilares, muros de suporte e nas paredes da caixa de escada principal. Contudo são consideradas vigas para apoio de laje das rampas de estacionamento, apoio parcial da laje do rés-do-chão e sustentação das escadas de emergência. Os pilares são de betão armado sem capitel, com uma distribuição que permite definir pórticos ortogonais. Tais elementos possuem um recobrimento entre 0,038 a 0,070 m e um afastamento entre armaduras de 0,10 a 0,35m (valores obtidos através da utilização do medidor de recobrimento de armaduras). Será importante referir que os pilares periféricos assentam diretamente nos muros de suporte de terras, sendo as suas cargas distribuídas uniformemente pelos muros e sapatas contínuas.

Nos elementos estruturais, empregou-se betão B 225 e o aço A 40T (aço de alta resistência da classe A40 endurecidos a frio por torção) em todas as peças de betão armado, à exceção das sapatas isoladas nas quais o betão utilizado é da classe B 180. Importará referir a existência de uma divisão estrutural, situada a 15m da fachada principal, que estabelece a fronteira entre a parte do edifício mais elevada e as partes avançadas, em planta, que ficam ao nível do rés-do-chão, primeiro e segundo piso. Tal divisão estrutural é materializada por uma junta de dilatação de 0,15m, detetável na duplicação do pilar na zona de encosto dos dois módulos (**Fig. 4.22**).



**Figura 4.22** - Representação da divisão estrutural, através da realização de uma junta de dilatação no rés-do-chão.

Em alguns locais da realização da junta de dilatação, são observáveis infiltrações de água (nas lajes dos pisos subterrâneos), fissurações e destacamentos de revestimentos em pilares (**Fig. 4.22a**). Não obstante a tais factos, não se detetou nenhum tipo de fissura num revestimento de um pavimento (**Fig. 4.22b**), no rés-do-chão, que não apresenta junta. Dadas as circunstâncias anteriores, torna-se difícil comprovar a existência de indícios de deslocamentos relativos às duas estruturas (Módulo A e Módulo B).

Os elementos resistentes das ações sísmicas encontram-se, essencialmente, nos elementos verticais de grande rigidez localizados no centro do edifício, sendo as caixas de escadas e de elevadores os mais generalizados. Não obstante a tais factos, as solicitações horizontais provindas da ação sísmica não são relevantes no que diz respeito à estabilidade do conjunto do edifício, devendo-se essencialmente à existência dos muros de suporte de terras, nos pisos subterrâneos, aliados às favoráveis características do terreno de fundação do edifício.

### 4.3 Descrição da metodologia aplicada

Como mencionado em §3.3, do presente trabalho, são vários os sistemas de inspeção e diagnóstico implementados em diversos tipos de trabalhos de investigação e de projeto, concretizados em Portugal como também na Europa. Tais métodos, na sua generalidade, são empregues na compreensão de anomalias evidenciadas em elementos construtivos particulares, assim como em específicos materiais de revestimento. Porém, é bastante escassa, a utilização de procedimentos/metodologias de inspeção e diagnóstico de anomalias em edifícios, na sua generalidade, englobando a totalidade de elementos construtivos, e, em circunstâncias semelhantes, analisando as potenciais e divergentes situações anómalas em distintos materiais de revestimentos, presentes nos mesmos.

Visto que os procedimentos de inspeção e diagnóstico, na sua grande maioria, são caracterizados pela incoerência e subjetividade de resultados (descrita em §3.1), tais factos amplificam-se em circunstâncias de análise de anomalias em edifícios, visto tratar-se de conjuntos de diferentes elementos construtivos com características, funcionalidades e comportamentos distintos, onde se poderá aplicar, em tais componentes, um conjunto infundável de materiais de revestimento e de acabamento, com particularidades físico-mecânicas bastante diferenciadas. Tais situações dificultam significativamente a identificação, a interpretação e a compreensão das anomalias, assim como a atribuição das (s) causas (s) que provocaram tais ocorrências.

Assim sendo, apresentar-se-á, seguidamente, o sistema/método utilizado para a identificação, registo, classificação das anomalias evidenciadas, assim como das suas respetivas causas e técnicas de diagnóstico associadas, em edifícios recentes – SIDER, tendo como modelo o edifício em estudo. Os procedimentos empregues são caracterizados pela objetividade, pela sistematização e pela organização do estabelecimento e análise das relações entre as anomalias, causas, efeitos, materiais e técnicas de diagnóstico. Como tal a metodologia apresentada é composta por seis etapas (**Fig. 4.24**), sendo que a sexta etapa (validação do sistema) será descrita em §5, no presente trabalho.

A primeira fase do referido sistema caracteriza-se pela recolha de informações do edifício em análise (descrito em §4.2), tendo como principal finalidade descrever, minuciosamente, as particularidades existentes no mesmo, tais como:

- Tipo de utilização, na sua generalidade e em cada piso particular;
- Caracterização minuciosa da localização, assim como da orientação das fachadas exteriores;
- Caracterização construtiva da composição de elementos primários, secundários e de instalações especiais relevantes a designar (incluindo o tipo de revestimentos/acabamentos empregues nos mesmos);
- Caracterização estrutural.

Porém, em circunstâncias de desconhecimento de técnicas construtivas, assim como da composição dos diversos elementos construtivos, tornou-se imprescindível a realização de sondagens em paredes exteriores do edifício através da realização de sete furos nas mesmas. Será importante salientar que nesta primeira fase de procedimentos é fundamental o levantamento de informações através dos utentes do edifício em análise, tendo como principal objetivo o conhecimento de circunstâncias ou acidentes ocorridos no edificado, assim como de situações que não evidenciam as condições necessárias de salubridade, de comodidade e de segurança dos indivíduos, em questão.

A segunda fase de procedimentos encontra-se relacionada com a inspeção única e exclusiva às situações anómalas evidenciadas no edifício em causa, concretizada, fundamentalmente através de inspeção visual apoiada pelos registos fotográficos e videográficos (descrito em **§4.3.1**). Esta etapa tem como principal objetivo quantificar as ocorrências anómalas evidenciadas, assim como as possíveis observações/informações necessárias para a obtenção posterior de um diagnóstico coerente e plausível. Porém, este estágio específico do SIDER poderá assumir a função de um pré-diagnóstico, onde sem qualquer tipo de realização de técnicas e de meios de diagnóstico específico alcança-se uma possível avaliação de diagnóstico, alicerçada apenas pelo conhecimento, na área da Patologia da construção, do presumível inspetor, assim como pela utilização de alguns sentidos (visão, olfato, palato, tato, audição), do mesmo. Depois da quantificação das anomalias, inicia-se o processo de identificação e de classificação de tais ocorrências (terceira fase). Após uma descrição e uma análise qualitativa, desenvolve-se um sistema de classificação das anomalias manifestadas, caracterizado pela atribuição de níveis de degradação, baseados nas necessidades de intervenção, assim como na segurança e bem-estar dos utentes, do referido edifício. Tal etapa do SIDER encontra-se descrita e desenvolvida em **§4.3.2**.

A quarta e a quinta fase do SIDER encontram-se relacionadas com a atribuição de um possível diagnóstico para o conjunto significativo de anomalias observadas, em que a quarta fase (Realização de meios de diagnóstico) se associa aos trabalhos preparatórios e à realização das técnicas de diagnóstico, estrategicamente selecionadas para cada situação anómala registada (descrito e desenvolvido em **§4.3.3**). A quinta fase refere-se à correlação entre as situações anómalas e as possíveis causas associadas, através de uma correspondência quantitativa em percentagem (descrito e desenvolvido em **§4.3.4**). Será importante referir que em certas circunstâncias anómalas em que o diagnóstico não seja conclusivo, será necessário a utilização de mais do que um meio e/ou técnica de diagnóstico, assim como a repetição cíclica dos mesmos, tendo como finalidade uma satisfatória correlação entre a (s) possível (eis) causa (s) e as respetivas anomalias.

Depois das exaustivas e sucessivas inspeções e posterior obtenção do diagnóstico admissível para cada anomalia, estão reunidas as condições necessárias para o desenvolvimento das fichas de anomalias (**Anexo 3**). Tais documentos são caracterizados pela apresentação sintetizada e objetiva das

informações e particularidades, assim como dos procedimentos de inspeção e diagnóstico que se realizaram os tipos de anomalias, observáveis no edifício em estudo.

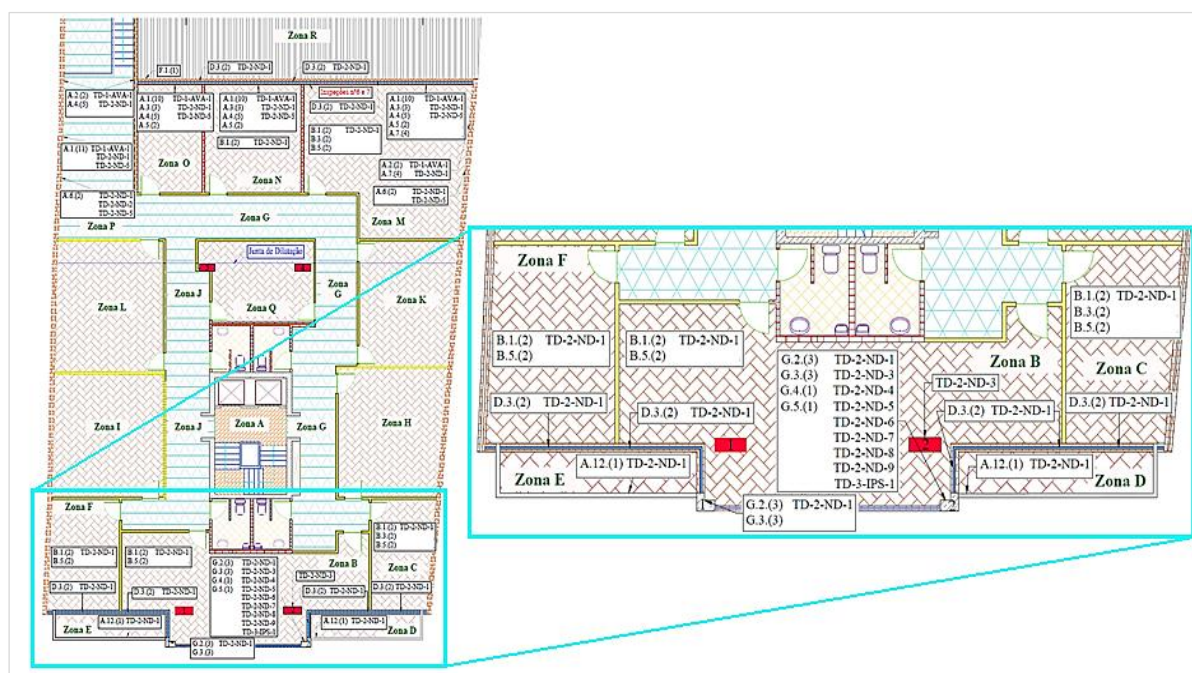
A fase final, da metodologia apresentada, encontra-se relacionada com a validação do sistema, a qual corresponde ao tratamento estatístico dos dados provenientes das inspeções e das técnicas de diagnóstico realizadas às situações registadas na segunda fase do presente sistema (avaliação detalhada das anomalias. Será importante mencionar, que no presente trabalho, apenas se analisou as anomalias, que devido às suas circunstâncias de localização, extensão ou até mesmo de grau de degradação, necessitavam de ser intervencionadas, e por consequência diagnosticadas. Como tal, menosprezou-se a quantificação de algumas situações anómalas (e por consequência não se considerou a análise e a obtenção dos respetivos diagnósticos), embora sejam caracterizadas qualitativamente na análise de anomalias, de cada grupo de pisos considerados.

Para finalizar, em §4.4 será descrita e analisada, separadamente, a totalidade dos procedimentos pertencentes à segunda, terceira, quarta e quinta fase do SIDER, para cada grupo de pisos considerado.

### 4.3.1 AVALIAÇÃO DETALHADA DAS ANOMALIAS

Tendo em conta os procedimentos apresentados na **Figura: 4.24**, relativamente à metodologia de inspeção e diagnóstico efetuada no edifício em estudo, após uma inspeção-geral ao edifício, há que realizar uma análise pormenorizada e minuciosa às situações anómalas.

Não obstante o facto das avaliações das anomalias e respetivos diagnósticos serem efetuadas através de grupos de pisos, foi realizada a quantificação das situações anómalas na totalidade dos pisos, individualmente. Como tal, elaborou-se documentos esquemáticos (**Anexo 1.**), com o objetivo de quantificar e de mapear as ocorrências anómalas, assim como as técnicas de diagnóstico selecionadas para cada situação (**Fig. 4.23**), na integridade dos pisos do edifício.



**Figura 4.23** - Representação do mapeamento de anomalias e das respetivas técnicas de diagnóstico utilizadas, no segundo piso do edifício.

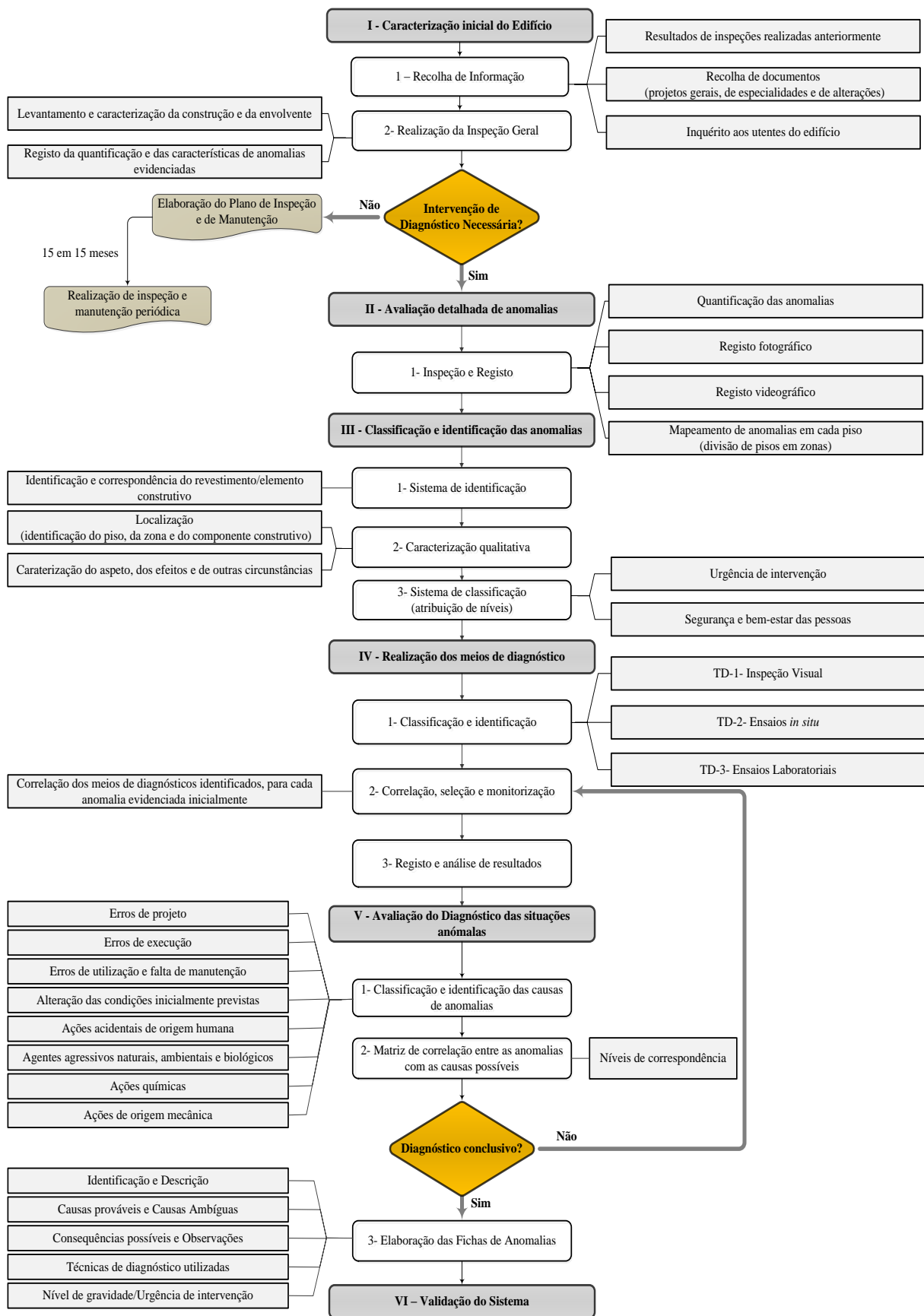


Figura 4.24 - Representação da metodologia de aplicação do SIDER proposta na presente dissertação.

### 4.3.2 CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS

Verificou-se a existência de um significativo conjunto de estudos relacionados com as anomalias evidenciadas em específicos tipos de elementos construtivos existentes nas envolventes exteriores, interiores ou em ambas as circunstâncias (descrito em §3.2). Tais trabalhos são compostos por sistemas de classificação e identificação de anomalias bastante específicos, que têm como principal finalidade sintetizar a informação, assim como facilitar a apreensão das situações anómalas possíveis de serem observadas.

Os métodos de organização da classificação e da identificação das ocorrências anómalas são caracterizados pela sua variedade de procedimentos. Na maioria das situações, as classificações têm por base o critério da localização da manifestação da anomalia (Garcia (2006); Neto (2008); Gonçalves (2004); Gonçalves *et al.*, 2003) consoante as zonas específicas dos elementos construtivos ou revestimentos em consideração. Porém um outro critério de classificação e de identificação de anomalias encontra-se associado às possíveis causas que as suscitou (Pereira (2008); Garcez (2009)), ou através das características visuais (Amaro *et al.*, 2012) das manifestações ocorridas, sendo este critério maioritariamente fundamentado pela inspeção visual do inspetor.

Um outro exemplo de sistema de classificação de anomalias foi adotado por Brito (1992), associado a obras de arte em betão armado. Contudo existem investigações associadas a peritagens de edifícios (Barrelas; Pereira; Marques (2012)), que embora não utilizem nenhum critério distintivo de classificação de anomalias, procuram evidenciar uma metodologia de identificação através de nomenclaturas (metodologia igualmente adotada em trabalhos fundamentados pela utilização de matrizes de correlação).

Gonçalves (2004) apresentou um sistema de classificação de anomalias não estruturais em envolventes exteriores de edifícios correntes, possuindo um critério de localização geográfica, de funcionalidade e por partes do edifício.

Será importante salientar que o processo de distinção, identificação e classificação de anomalias não é imediato. De facto, na maioria das circunstâncias torna-se bastante difícil adaptar estes sistemas a casos concretos de edifícios, podendo ocorrer, em casos extremos, a não correspondência de certas situações anómalas.

Como tal, a classificação e identificação de anomalias proposta, no presente trabalho, terá como base o tipo de revestimento, assim o tipo de elemento construtivo onde as anomalias se manifestam. Visto que as anomalias mais susceptíveis de serem detetadas nas inspeções correntes são as superficiais (Brito, 2009), adotou-se os critérios o tipo de revestimentos e de elementos construtivos, na classificação e identificação das anomalias, tendo em conta a significativa diversidade de revestimentos e/ou acabamentos presentes nos componentes construtivos exteriores e interiores do edifício em estudo. Assim sendo, as 581 anomalias observadas no edifício em análise, foram classificadas em oito grupos distintos de anomalias (**Quadro 4.4**), proporcionando cerca de 46 tipos de anomalias distintos (**Quadro 4.6**).

**Quadro 4.4** – Representação da quantificação de grupos de classificação das anomalias verificadas no edifício.

| Grupo de Anomalias | Designação  |
|--------------------|---|
| A.                 | Anomalias em revestimentos interiores e exteriores de paredes e tetos.      |
| B.                 | Anomalias em revestimento de <i>parquet</i> de madeira.                     |
| C.                 | Anomalias em revestimentos de pedra.  |
| D.                 | Anomalias em caixilhos de alumínio exteriores.                              |
| E.                 | Anomalias em revestimento impermeabilizante da cobertura em terraço.        |
| F.                 | Anomalias em revestimentos de coberturas inclinadas.                        |
| G.                 | Anomalias em elementos estruturais interiores e exteriores de betão armado. |
| H.                 | Anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes colados.                     |

Como já referido anteriormente, a totalidade de procedimentos realizados, na metodologia apresentada, foram ajustados ao edifício em estudo, englobando as particularidades presentes nos materiais e nas técnicas de construção empregues. Logo a disposição dos grupos de anomalias tiveram como base as frequências de observação, assim como as circunstâncias em que as situações anómalas eram evidenciadas. Assim sendo, a seleção e a identificação dos diferentes tipos de anomalias do edifício (**Quadro 4.6**), tiveram em conta a consulta da bibliografia mencionada em §2.

No que diz respeito ao grupo de anomalias A., quantificou-se e analisou-se todas as anomalias observáveis em paramentos interiores de paredes interiores e exteriores, assim como em revestimentos de tetos interiores (**Quadro 4.5**). Existe cerca de dez tipos de anomalias (**A.1.**, **A.2.**, **A.3.**, **A.4.**, **A.5.**, **A.6.**, **A.7.**, **A.8.**, **A.9.**, **A.11.**) características de paramentos interiores de paredes exteriores e/ou interiores. Será importante referir o modo de análise das ocorrências de fissuração nestes elementos construtivos, o qual teve como base a largura da fissuração (**Quadro 3.11**), sendo tais anomalias caracterizadas pelas suas orientações definidas ou pela aleatória configuração das mesmas.

Relativamente ao grupo B., caracteriza-se pelas anomalias evidenciadas em revestimento de *parquet* de madeira em pavimentos de compartimentos administrativos interiores do edifício. Essencialmente, tais ocorrências encontram-se associadas à permanência duradoura de humidade excessiva (**B.1.**, **B.2.**, **B.4.**) no revestimento, à ação de agentes naturais ou da proveniência de ações de limpeza incorretas (**B.5.**), à carência de trabalhos de manutenção ou até mesmo à utilização de materiais inadequados à utilização prevista (**B.3.**).

O terceiro grupo de anomalias diz respeito aos revestimentos de pedra (**Quadro 4.5**) de pavimentos interiores e de paredes exteriores, assim como o revestimento pétreo localizado, apenas, na fachada frontal do edifício (**C.2.**, **C.3.**, **C.4.**).

O grupo D. encontra-se associado às ocorrências anómalas localizadas em caixilhos exteriores das fachadas frontal e posterior do edifício. Será importante referir que para além das anomalias manifestadas no revestimento do caixilho, considerou-se igualmente as anomalias provenientes nos vidros, assim como em materiais de revestimento impermeabilizante (**Quadro 4.5**).

Os grupos E. e F. correspondem às anomalias provenientes dos revestimentos da cobertura (**Quadro 4.5**) em terraço e inclinada, respetivamente. Porém, será importante referir que as possibilidades de acesso à cobertura inclinada foram bastante escassas (em comparação com a cobertura em terraço, que

é acessível), onde tal facto acabou por prejudicar, significativamente a inspeção e o consequente diagnóstico neste local específico do edifício.

Referente ao sétimo grupo de anomalias, correspondente a elementos estruturais de betão armado, considerou-se as anomalias superficiais, assim como outro tipo de anomalias fundamentadas através da realização de técnicas de diagnóstico, nos mesmos locais (**Quadro 4.5**). Por fim, o grupo H. encontra-se associado às anomalias manifestadas em revestimentos cerâmicos, existentes em pavimentos interiores ou em pavimentos exteriores de varandas.

Será importante referir que utilizou-se um meio de numeração para distinguir semelhantes anomalias (i.e. A.1), quer no mesmo grupo de pisos (ver **Quadro 4.24**) ou em pisos diferentes (ver **Quadro 4.26**).

**Quadro 4.5** – Síntese da informação dos oito grupos de anomalias consideradas no edifício.

| Grupo de Anomalias | Revestimentos/Materiais/Elementos Construtivos        | Locais  |
|--------------------|---|---|
| A.                 | Tinta plástica.                                       | Paredes exteriores de varandas.                                 |
|                    | Reboco.   | Paredes interiores.   |
|                    | Gesso cartonado.                                      | Paramentos interiores de paredes exteriores.                    |
| B.                 | Tacos de <i>parquet</i> de madeira de mogno.          | Pavimentos interiores.  |
| C.                 | Granito cinza e preto.                                | Pavimentos interiores.  |
|                    | Calcário do tipo encarnado Negrais.                   | Fachada frontal.  |
| D.                 | Caixilhos de alumínio anodizado.                      | Fachada frontal e tardoz.                                       |
|                    | Vidros duplos.  |   |
|                    | Material de impermeabilização (mastique)              |   |
| E.                 | Tela betuminosa com proteção leve mineral (gravilha). | Cobertura em terraço.   |
| F.                 | Telha cerâmica.                                       | Cobertura inclinada.  |
|                    | Chapa canelada lacada.                                |   |
| G.                 | Tinta Plástica.                                       | Pilares e/ou pilaretes interiores.                              |
|                    | Reboco.   | Lajes de pavimentos interiores.                                 |
|                    | Superfície do elemento construtivo estrutural.        | Lajes de pavimentos de varandas exteriores.<br>Parede interior. |
| H.                 | Cerâmicos hidráulicos.                                | Pavimentos interiores.  |
|                    |   | Pavimentos exteriores de varanda.                               |

#### 4.3.2.1 PRIORIDADE DE REPARAÇÃO/INTERVENÇÃO

No que diz respeito aos procedimentos adotados na classificação das anomalias, tendo em conta o seu respetivo grau de degradação, adotou-se a metodologia apresentada em §3.2.4, proposta por Brito (1992).

Este sistema de classificação das irregularidades encontra-se composto por três classes e diferentes níveis de avaliação, em que a última classe, Pseudo – Quantitativa, representa a pontuação global considerando as duas classes anteriores (1 e 2) (**Quadro 3.2**). A cada classe foram definidos níveis representados por ordem decrescente de gravidade com a respetiva pontuação.

**Quadro 4.6** – Representação da identificação e classificação das anomalias observáveis do edifício em estudo.

| Classificação por grupos de anomalias | Abrev. | Designação  |
|---------------------------------------|--------|---|
| A.                                    | A.1.   | Fissuração definida e orientada.  |
|                                       | A.2.   | Fissuração sem orientação e indefinida.                                       |
|                                       | A.3.   | Destacamento da película de pintura.  |
|                                       | A.4.   | Eflorescência/criptoflorescências/carbonatação no revestimento aplicado.      |
|                                       | A.5.   | Destacamento da camada de suporte de revestimento aplicado.                   |
|                                       | A.6.   | Espectro fantasmas interiores.  |
|                                       | A.7.   | Empolamento da película de pintura.   |
|                                       | A.8.   | Erosão do reboco.   |
|                                       | A.9.   | Aparecimento de biodeterioração em reboco.                                    |
|                                       | A.10.  | Manchas de infiltração e de condensações interiores.                          |
|                                       | A.11.  | Pulverulência em revestimentos de tinta.                                      |
|                                       | A.12.  | Escorrências.   |
| B.                                    | B.1.   | Destacamento/descolamento.  |
|                                       | B.2.   | Deformação, levantamento e empeno.  |
|                                       | B.3.   | Desgaste prematuro e acentuado da camada superficial                          |
|                                       | B.4.   | Desenvolvimento de fungos.  |
|                                       | B.5.   | Descoloração, manchas e alterações de textura e brilho da camada superficial. |
| C.                                    | C.1.   | Eflorescência na superfície.  |
|                                       | C.2.   | Colonização biológica.  |
|                                       | C.3.   | Eflorescências nas juntas do revestimento.                                    |
|                                       | C.4.   | Degradação do revestimento.   |
| D.                                    | D.1.   | Condensações interiores na caixa-de-ar dos vidros duplos.                     |
|                                       | D.2.   | Degradação do acabamento de caixilho.   |
|                                       | D.3.   | Infiltrações de água.   |
|                                       | D.4.   | Acumulação de detritos.   |
|                                       | D.5.   | Degradação do revestimento impermeabilizante (elemento de vedação).           |
|                                       | D.6.   | Vidros quebrados.   |
|                                       | D.7.   | Mecanismos de fecho danificados.  |
| E.                                    | E.1.   | Destacamento.   |
|                                       | E.2.   | Colonização biológica.  |
|                                       | E.3.   | Empolamentos.   |
|                                       | E.4.   | Fissuração.   |
|                                       | E.5.   | Permanência prolongada de água.   |
| F.                                    | F.1.   | Desenvolvimento de colonização biológica.                                     |
|                                       | F.2.   | Levantamento/desalinhamento.  |
| G.                                    | G.1.   | Fissuração do elemento construtivo e/ou do revestimento aplicado.             |
|                                       | G.2.   | Destacamento/empolamento da película de pintura e/ou do suporte aplicado.     |
|                                       | G.3.   | Eflorescência no revestimento aplicado.                                       |
|                                       | G.4.   | Carbonatação.   |
|                                       | G.5.   | Presença de cloretos.   |
|                                       | G.6.   | Formação de estalactites.   |
|                                       | G.7.   | Deficiente funcionamento de junta de dilatação.                               |
| H.                                    | H.1.   | Eflorescências.   |
|                                       | H.2.   | Fissuração.   |
|                                       | H.3.   | Descoloração, manchas e alterações de textura e brilho da camada superficial. |
|                                       | H.4.   | Crescimento vegetativo/biológico.   |

Tal método é dividido em duas avaliações: urgência de atuação e bem-estar das pessoas. Relativamente à primeira classificação é dependente da apreciação de quem está a inspecionar o edifício (Gonçalves, 2004), onde tal atividade é fundamentada pelos registos de valores e de informações das anomalias (evolução, consequências e efeitos das anomalias) em visitas regulares ou solicitas aos referidos locais. Assim sendo poder-se-á atribuir quatro níveis de urgência de atuação, às situações anómalas evidenciadas, com as suas respetivas pontuações (**Quadro 4.7**) (Brito, 1992):

- **Nível 0** - Perigo iminente, atuação imediata (até 6 meses): Segurança de bens e pessoas comprometida (i.e. degradação avançada do revestimento pétreo em paredes exteriores);
- **Nível 1** – Urgência de atuação a curto prazo (6 meses a um ano): Não coloca em causa a segurança de bens e pessoas mas impõe a realização de trabalhos de manutenção/reabilitação (i.e. degradação de revestimento de caixilhos exteriores);
- **Nível 2** – Urgência de atuação a médio prazo: Observação e análise da evolução da anomalia a fim de se constatar a estabilização da mesma; (i.e. fissuração ligeira em revestimento de pintura, com fissuras inferiores a 0.5 mm);
- **Nível 3** – Urgência de atuação a longo prazo: O efeito da anomalia é apenas visual (i.e. alteração de cor em tacos de *parquet* de madeira de mogno. por influência dos raios ultra - violeta, ou pela inadequada utilização do material).

**Quadro 4.7** - Classificação das anomalias em função da urgência de atuação (Brito, 1992).

| Nível | Apreciação da urgência de atuação | Pontuação |
|-------|-----------------------------------|-----------|
| 0     | Intervenção imediata              | 50        |
| 1     | Intervenção a curto prazo         | 30        |
| 2     | Intervenção a médio prazo         | 20        |
| 3     | Intervenção a longo prazo         | 10        |

A classificação das anomalias, tendo como base a segunda classe (segurança estrutural/ bem-estar das pessoas), é atribuída no mesmo estágio da classificação da primeira classe, referida anteriormente, possuindo, igualmente, uma vertente subjetiva relacionada com a avaliação do inspetor. Como tal são definidos três níveis, com as suas respetivas pontuações (**Quadro 4.8**) (Brito, 1992):

- **Nível A** - Não cumpre as exigências de segurança de pessoas e bens ou não são respeitadas as condições mínimas de funcionalidade (salubridade, térmicas e acústicas);
- **Nível B** - Cumpre as exigências de segurança de pessoas e bens mas não cumpre as condições mínimas de salubridade, exigências térmicas e acústicas;
- **Nível C** - Não afecta o bem-estar das pessoas mas provoca um impacto visual desagradável.

**Quadro 4.8** - Classificação das anomalias em função da segurança estrutural / bem-estar das pessoas (Brito, 1992).

| Nível | Apreciação da urgência de atuação                  | Pontuação |
|-------|--|-----------|
| A     | Não cumpre as exigências de segurança              | 50        |
| B     | Não cumpre as exigências mínimas de funcionalidade | 20        |
| C     | Cumprir as exigências mínimas de funcionalidade    | 10        |

Para finalizar, a classificação pseudo - quantitativa das anomalias, poderá ser ordenada de acordo com a pontuação global atribuída a cada ocorrência observada (**Quadro 4.9**).

**Quadro 4.9** - Classificação pseudo - quantitativa das anomalias em edifícios correntes (Brito, 1992).

| Nível | Pontuação Global <sup>7</sup> | Prioridade de Reparação |
|-------|-------------------------------|-------------------------|
| 1     | $\geq 80$ e $\leq 100$        | Prioridade máxima       |
| 2     | $\geq 60$ e $\leq 70$         | Grande prioridade       |
| 3     | $\geq 40$ e $\leq 50$         | Pequena prioridade      |
| 4     | $\geq 20$ e $\leq 30$         | Prioridade mínima       |

<sup>7</sup>  $20 \leq$  Pontuação Global (**Quadro IV** + **Quadro V**),  $\leq 100$

A partir desta tabela, as classificações tipo possíveis ficam ordenadas nos grupos de prioridade de atuação (Gonçalves, 2004), como indicado no **Quadro 4.10**.

**Quadro 4.10** - Classificação tipo por grupo de prioridade de atuação (Gonçalves, 2004 citando Brito, 1992).

| Grupo | Classificação tipo |
|-------|--------------------|
| 1     | 0A; 1A             |
| 2     | 0B; A2; 0C; 3A     |
| 3     | 0C; 1B; 2B; 1C     |
| 4     | 2C; 3B; 3C         |

### 4.3.3 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Propõe-se no **Quadro 4.11** um sistema classificativo para as técnicas de diagnóstico no edifício em estudo, constituído por três grupos, mediante o tipo de funcionamento das mesmas, tratando-se de ensaios auxiliares à inspeção visual, de ensaios *in situ* e de ensaios laboratoriais.

Segundo Brito (2009), preferencialmente, todas as técnicas de diagnóstico selecionadas deverão ser caracterizadas pela rapidez de funcionamento, pela económica, pela obtenção de resultados fiáveis, úteis (qualitativamente e quantitativamente) e fáceis de interpretar, pela aplicação de equipamentos portáteis (sem fonte de energia exterior), pela indispensável utilização de mão-de-obra especializada, assim como pelo seu carácter não destrutivo (nos elementos construtivos ensaiados).

Tendo em consideração o que foi referido em §3.4, optou-se por realizar, no edifício em estudo, apenas técnicas de diagnóstico com baixo grau de complexidade e de destruição (**Fig. 4.25**). Assim desta forma, evita-se o recurso a pessoal e equipamentos muito especializados, assim como a técnicas bastante complexas e onerosas.



**Figura 4.25** - Técnicas de diagnóstico utilizadas no edifício: a. TD-1-AVA-1; b. TD-2-ND-1; c. TD-2-ND-2; d. TD-2-ND-3; e. TD-2-ND-4; f. TD-2-ND-5; g. TD-2-ND-6; h. TD-2-ND-7; i. TD-2-ND-8; j. TD-3-IPS-1; k. TD-2-ND-9.

Assim sendo, durante o decorrer da totalidade da inspeção-geral ao edifício, assim como da inspeção pormenorizada às ocorrências anómalas utilizou-se, fundamentalmente, a inspeção visual, uma vez

que o seu emprego é imprescindível a qualquer trabalho desta natureza (Aguiar *et al.*, 2006). Como tal, todas as situações em que as anomalias detetadas e as respetivas causas possam ser caracterizadas através de observações visuais não assistidas por qualquer tipo de equipamento, não serão consideradas na classificação das técnicas de diagnóstico do SIDER. Em § 3.4.1 encontram-se descritos as particularidades da utilização dos métodos de inspeção visual assistida e não assistida. O segundo grupo de técnicas de diagnóstico corresponde à realização de nove ensaios *in situ* não destrutivos. Estes ensaios podem ser necessários para se caracterizar a gravidade, extensão e estabilidade das anomalias, e também para confirmar as causas prováveis das mesmas (Silvestre, 2005).

Cerca de seis ensaios *in situ* foram utilizados, exclusivamente em elementos estruturais de betão armado (pacómetro, ensaio comprovativo da presença de cloretos, esclerómetro, ultra-sons, ensaio da fenolftaleína, medição da resistividade elétrica) e os restantes ensaios foram utilizados na colaboração de diagnóstico em anomalias presentes em paramentos de paredes exteriores e interiores, em pavimentos interiores e, igualmente, em elementos de betão armado. Contudo, será importante referir que a realização dos ensaios exclusivos aos elementos estruturais de betão armado (dois pilaretes) resultou de uma campanha de inspeção, tendo como principal finalidade apreender, qualitativamente, o estado/grau de conservação dos mesmos. Em §4.4.3.3.6.1 e em §4.4.4.3.5.1 serão descritos e apresentados os resultados provenientes das inspeções realizadas a tais elementos estruturais. Em § 3.4.2 encontram-se descritos as particularidades da utilização dos ensaios *in situ* utilizados.

Por fim o terceiro grupo diz respeito à realização de um ensaio (TD-3-IPS-1: Fitas colorimétricas), tendo como principal finalidade o conhecimento da concentração de sais em amostras, previamente extraídas, de materiais e/ou revestimentos incorporados em elementos construtivos. Este ensaio foi realizado em laboratório (§3.4.3.1), em que se analisou sete composições de amostras, associadas a eflorescências em paredes interiores e em elementos estruturais de betão armado.

**Quadro 4.11** - Conjunto de técnicas de diagnóstico utilizadas no edifício em estudo.

| <b>TD - 1 Ensaios Auxiliares à Inspeção Visual</b> |              |  |
|--|--------------|--|
| Tipo   | Nomenclatura | Designação                                   |
| TD-1- AVA- Análise Visual Assistida.               | TD-1-AVA-1   | Comparador de Fissuras e/ou Fendas.          |
| <b>TD - 2 Ensaios In Situ</b>                      |              |  |
| Tipo   | Nomenclatura | Designação                                   |
| TD-2-ND - Ensaios Não Destrutivos.                 | TD-2-ND-1    | Humidímetro.                                 |
|  | TD-2-ND-2    | Termografia.                                 |
|  | TD-2-ND-3    | Medidor de recobrimento (Pacómetro).         |
|  | TD-2-ND-4    | Ensaio Comprovativo da Presença de Cloretos. |
|  | TD-2-ND-5    | Termómetro.                                  |
|  | TD-2-ND-6    | Esclerómetro.                                |
|  | TD-2-ND-7    | Ultra-Sons.                                  |
|  | TD-2-ND-8    | Ensaio da Fenolftaleína.                     |
|  | TD-2-ND-9    | Medição da Resistividade Elétrica.           |
| <b>TD - 3 Ensaios Laboratoriais</b>                |              |  |
| Tipo   | Nomenclatura | Designação                                   |
| TD-3-IPS-Quantificação de Sais.                    | TD-3-IPS-1   | Fitas Colorimétricas.                        |

Na avaliação de anomalias teve-se em consideração a associação das técnicas de diagnóstico mais ajustadas para cada situação anómala, assinalando e identificando qual (ais) a (s) técnica (s) utilizada (s) selecionada (s) a cada ocorrência.

### 4.3.4 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS SITUAÇÕES ANÓMALAS

Primeiramente ir-se-á apresentar a metodologia de classificação das possíveis causas das anomalias observadas, e posteriormente serão apresentadas e descritas as particularidades do processo de correlação entre as ocorrências e as proveniências.

#### 4.3.4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CAUSAS DAS ANOMALIAS

Neste ponto, é apresentado um sistema classificativo de causas possíveis para as ocorrências evidenciadas no edifício em estudo, encontrando-se estas, dependentes o tipo de materiais de revestimentos/acabamentos em elementos construtivos, assim como do uso e comportamento em serviço de tais componentes construtivos avaliados. Semelhante ao que se sucedia na classificação e identificação de anomalias evidenciadas em diversos componentes construtivos, a generalidade das classificações das causas não possui um tratamento sistemático da totalidade dos erros e circunstâncias que induzem ao aparecimento de tais ocorrências anómalas (Gonçalves, 2004), evidenciando-se demasiado generalista ou excessivamente especializada em certos materiais de revestimento ou em determinados componentes construtivos.

Como tal, elaborou-se oito classificações de causas, tendo em conta cada tipo de material de revestimento/acabamento e de elemento construtivo avaliado, sendo associadas aos erros de projeto, de execução, de utilização e de falta de manutenção, à ação de acidentes naturais, às possíveis alterações das condições inicialmente previstas, às ações acidentais de origem humana, às ações químicas e às ações mecânicas. Porém nem todos os tipos de anomalias possuem as nove classificações de causas, sendo que as ações químicas e ações de acidentes naturais só foram consideradas na classificação das anomalias do grupo A., em contraste com os erros de projeto, erros de execução, de utilização e de falta de manutenção e com os agentes agressivos, naturais, ambientais e biológicos que foram associados aos oito grupos de anomalias propostos. Assim sendo, a totalidade das causas propostas (156) encontram-se classificadas desde do **Quadro 4.12** até ao **Quadro 4.19**.

**Quadro 4.12** – Classificação das causas das anomalias do grupo B. (Aguiar *et al.*, 2006; Cruz & Aguiar, 2009; Sousa, 2011).

| Erros de projeto                                     |   |
|--|---|
| C - B.P.1.   | Resistência mecânica, compatibilidade e aderência insuficiente dos produtos de fixação do revestimento. |
| C - B.P.2.   | Estrutura do revestimento de pavimento não adequada ao uso previsto.                                    |
| C - B.P.3.   | Higroscopicidade da espécie de madeira.   |
| Erros de execução                                    |   |
| C - B.E.1.   | Erros de execução de aplicação e de colagem.  |
| C - B.E.2.   | Ausência de juntas perimetrais e de expansão.   |
| Erros de utilização e falta de manutenção            |   |
| C - B.U.1.   | Inadequados ou inexistentes trabalhos de manutenção.  |
| C - B.U.2.   | Ataque de produtos domésticos e agentes químicos.   |
| C - B.U.3.   | Lavagem excessiva com água abundante.   |
| C - B.U.4.   | Ocorrência de infiltrações providas de caixilhos exteriores.  |
| C - B.U.5.   | Condições de ventilação insuficientes.  |
| Ações acidentais de origem humana                    |   |
| C - B.H.1.   | Excesso de humidade na base de assentamento devido à ocorrência de inundação.                           |
| Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos |   |
| C - B.A.1.   | Exposição excessiva aos raios solares.  |
| C - B.A.2.   | Variação da humidade relativa do ar ambiente.   |
| C - B.A.3.   | Ocorrência de humidade relativa elevada (superior a 75%).   |

**Quadro 4.13** – Classificação das causas das anomalias do grupo A. (Pereira, 2005; Flores-Colen & Brito, 2012).

| <b>Erros de projeto</b>                                     |  |
|---|--|
| C - A.P.1.  | Inadequação de materiais, técnicas empregues ou de componentes construtivos.                   |
| C - A.P.2.  | Deformabilidade excessiva da estrutura de suporte / má conceção do projeto de estabilidade.    |
| C - A.P.3.  | Humidade do terreno.   |
| C - A.P.4.  | Humidade de condensação.   |
| C - A.P.5.  | Inexistência ou insuficiência de isolamento térmico.   |
| C - A.P.6.  | Inexistência ou insuficiência de ventilação.   |
| C - A.P.7.  | Assentamento diferencial de fundações.   |
| C - A.P.8.  | Inadequada conceção de junção de diferentes materiais.   |
| C - A.P.9.  | Produtos não adequados às condições de exposição e ao tipo de suporte.                         |
| <b>Erros de execução</b>                                    |  |
| C - A.E.1.  | Erros na aplicação/execução da atividade.  |
| C - A.E.2.  | Condições atmosféricas desfavoráveis durante a aplicação.                                      |
| C - A.E.3.  | Humidade elevada do suporte.   |
| C - A.E.4.  | Temperatura demasiado elevada ou baixa.  |
| C - A.E.5.  | Má qualidade dos materiais/degradação dos materiais.   |
| C - A.E.6.  | Revestimento com insuficiente permeabilidade ao vapor de água.                                 |
| C - A.E.7.  | Aplicação de tintas impróprias sobre o revestimento.   |
| C - A.E.8.  | Humidade de precipitação (infiltração de água).  |
| C - A.E.9.  | Incompatibilidade de materiais utilizados.   |
| C - A.E.10.   | Deficiente preparação do suporte (limpeza, rugosidade, molhagem).                              |
| C - A.E.11.   | Existência de sais solúveis na água e nos materiais utilizados.                                |
| C - A.E.12.   | Excesso de água / humidade na construção (argamassa e/ou suporte).                             |
| C - A.E.13.   | Espessura de revestimento inadequada.  |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |  |
| C - A.U.1.  | Condições de ventilação e de aquecimento insuficientes.  |
| C - A.U.2.  | Ausência de manutenção/conservação/reparação.  |
| C - A.U.3.  | Ações de choque e atrito inerentes ao uso, ocupação e circulação dos utentes e/ou de veículos. |
| <b>Ação de acidentes naturais</b>                           |  |
| C - A.N.1.  | Sismos.  |
| <b>Alteração das condições inicialmente previstas</b>       |  |
| C - A.C.1.  | Acréscimo (excesso) de cargas atuantes.  |
| C - A.C.2.  | Elevadas tensões de compressão/tração/corte.   |
| C - A.C.3.  | Ocorrências de movimentações/vibrações bruscas.  |
| <b>Ações acidentais de origem humana</b>                    |  |
| C - A.H.1.  | Humidade provinda de causas fortuitas.   |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |  |
| C - A.A.1.  | Variações térmicas.  |
| C - A.A.2.  | Variações de humidade.   |
| C - A.A.3.  | Elevada radiação solar.  |
| C - A.A.4.  | Ação biológica.  |
| C - A.A.5.  | Envelhecimento natural.  |
| C - A.A.6.  | Presença de água / vapor de água.  |
| <b>Ações químicas</b>                                       |  |
| C - A.Q.1.  | Carbonatação.  |
| <b>Ações de origem mecânica</b>                             |  |
| C - A.M.1.  | Retração excessiva do revestimento ou do suporte aplicado.                                     |
| C - A.M.2.  | Concentrações excessivas de tensões no suporte   |
| C - A.M.3.  | Movimentações higroscópicas.   |
| C - A.M.4.  | Movimentações térmicas.  |
| C - A.M.5.  | Retração de elementos de betão armado.   |

O grupo de anomalias A., engloba a máxima quantificação total de causas associadas (cerca de 41 causas), seguido do grupo de anomalias D. (22 causas), E. (21 causas), G. (14 causas), F. (18 causas) e B. (14 causas). Porém, os grupos de anomalias C. e H. detêm, individualmente, cerca de 13 casos de proveniências, materializando-se, desta forma, os grupos de anomalias com a menor quantificação de causas associadas.

Será importante referir que a seleção das causas para cada grupo de anomalias teve como fundamento a consulta da bibliografia referida em §2 conforme o tipo de revestimento/acabamento e de elemento construtivo considerados na avaliação das anomalias.

**Quadro 4.14** – Classificação das causas das anomalias do grupo C. (Aguiar *et al.*, 2006; Silva, 2009).

| <b>Erros de projeto</b>                                     |   |
|---|---|
| C - C.P.1.  | Seleção incorreta do tipo de pedra, de acabamento, das dimensões e da espessura das placas pétreas. |
| C - C.P.2.  | Inadequado dimensionamento de juntas.   |
| C - C.P.3.  | Incorreta seleção de tipos ou de materiais de fixação.  |
| <b>Erros de execução</b>                                    |   |
| C - C.E.1.  | Aplicação do revestimento em suportes preparados de forma inadequada.                               |
| C - C.E.2.  | Revestimento com defeitos adquiridos na produção, transporte ou colocação no revestimento.          |
| C - C.E.3.  | Existência de sais solúveis nos materiais de colagem utilizados.                                    |
| C - C.E.4.  | Degradação do material de juntas.   |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |   |
| C - C.U.1.  | Trabalhos de reparação e de limpeza insuficientes ou inexistentes.                                  |
| <b>Ações acidentais de origem humana</b>                    |   |
| C - C.H.1.  | Permanência de água no revestimento devido a inundação.   |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |   |
| C - C.A.1.  | Sujidade acumulada.   |
| C - C.A.2.  | Ação da precipitação.   |
| C - C.A.3.  | Envelhecimento natural.   |
| C - C.A.4.  | Ação biológica.   |

**Quadro 4.15** – Classificação das causas das anomalias do grupo D. (Santos, 2012; Torres, 2009; Vicente, 2012).

| <b>Erros de projeto</b>                                     |   |
|---|---|
| C - D.P.1.  | Conceção / pormenorização incorreta do sistema de evacuação de águas.                         |
| C - D.P.2.  | Conceção incorreta / inexistência de elementos de ventilação e de aquecimento.                |
| C - D.P.3.  | Conceção incorreta do suporte.  |
| C - D.P.4.  | Consideração incorreta ou inexistente da agressividade do meio.                               |
| C - D.P.5.  | Escolha inadequada do perfil, materiais, geometria ou sistema de caixilho em função do vão.   |
| C - D.P.6.  | Escolha / preparação / espessura incorreta do revestimento.                                   |
| C - D.P.7.  | Especificação inadequada das folgas entre aro e vão.  |
| <b>Erros de execução</b>                                    |   |
| C - D.E.1.  | Colocação / fixação incorreta do aro no vão.  |
| C - D.E.2.  | Colocação / fixação incorreta do vidro.   |
| C - D.E.3.  | Colocação incorreta dos elementos de vedação.   |
| C - D.E.4.  | Execução incorreta do sistema de evacuação de águas.  |
| C - D.E.5.  | Preenchimento incompleto da folga entre aro e vão.  |
| C - D.E.6.  | Utilização de materiais de baixa qualidade, inadequados e/ou não certificados ou homologados. |
| C - D.E.7.  | Montagem / instalação incorreta da caixilharia.   |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |   |
| C - D.U.1.  | Lavagens excessivas ou com produtos de limpeza inadequados.                                   |
| C - D.U.2.  | Manuseamento incorreto do mecanismo de fecho.   |
| C - D.U.3.  | Manutenção e limpeza inexistente.   |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |   |
| C - D.A.1.  | Ação química dos detritos / sujidade acumulada.   |
| C - D.A.2.  | Radiação solar.   |
| C - D.A.3.  | Variação de temperatura.  |
| C - D.A.4.  | Ventos fortes.  |
| C - D.A.5.  | Ação biológica.   |

**Quadro 4.16** – Classificação das causas das anomalias do grupo E. (Aguiar *et al.*, 2006; Ginga, 2008; Lopes, 2011).

| <b>Erros de Projeto</b>                                     |   |
|---|---|
| C - E.P.1.  | Conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar.                     |
| C - E.P.2.  | Conceção / pormenorização inadequada ou inexistente de produtos de colagem.     |
| C - E.P.3.  | Conceção / pormenorização deficiente dos pontos de evacuação de águas pluviais. |
| C - E.P.4.  | Escolha errada dos materiais a utilizar.  |
| C - E.P.5.  | Inexistência de bandas de dessolidarização.                                     |
| C - E.P.6.  | Inexistência de proteção térmica.   |
| C - E.P.7.  | Inutilização de uma inclinação mínima em superfícies quase horizontais.         |
| <b>Erros de Execução</b>                                    |   |
| C - E.E.1.  | Utilização de materiais inapropriados / não especificados.                      |
| C - E.E.2.  | Estrangulamento dos pontos de evacuação de águas pluviais.                      |
| C - E.E.3.  | Deficiente limpeza do suporte.  |
| C - E.E.4.  | Deficiente colocação da membrana de impermeabilização.                          |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |   |
| C - E.U.1.  | Falta de limpeza de detritos em sistemas de drenagem de águas pluviais.         |
| C - E.U.2.  | Ausência de inspeções / manutenção.   |
| <b>Alteração das condições inicialmente previstas</b>       |   |
| C - E.C.1.  | Modificação da acessibilidade da cobertura.                                     |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |   |
| C - E.A.1.  | Vento.  |
| C - E.A.2.  | Presença prolongada de água.  |
| C - E.A.3.  | Temperaturas elevadas.  |
| C - E.A.4.  | Envelhecimento natural.   |
| C - E.A.5.  | Radiação ultravioleta.  |
| C - E.A.6.  | Colonização biológica.  |
| <b>Ações de origem mecânica</b>                             |   |
| C - E.M.1.  | Colocação de diversos equipamentos não planeados.                               |

**Quadro 4.17** - Classificação das causas das anomalias do grupo F. (Aguiar *et al.*, 2006; Garcez, 2009).

| <b>Erros de projeto</b>                                     |  |
|---|--|
| C - F.P.1.  | Fraca pendente.  |
| C - F.P.2.  | Conceção / pormenorização incorreta da sobreposição dos elementos.                               |
| C - F.P.3.  | Conceção / pormenorização incorreta das zonas de remates.  |
| C - F.P.4.  | Inadequada opção de tipos de materiais de revestimento tendo em conta as condições de exposição. |
| <b>Erros de execução</b>                                    |  |
| C - F.E.1.  | Falta de rigor na execução do alinhamento e posicionamento dos elementos.                        |
| C - F.E.2.  | Fixações demasiado rígidas ou quantidade insuficiente / excessiva de elementos de fixação.       |
| C - F.E.3.  | Utilização de materiais de baixa qualidade e/ou não certificados ou homologados.                 |
| C - F.E.4.  | Utilização de materiais com heterogeneidades devidas ao processo de fabrico.                     |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |  |
| C - F.U.1.  | Substituição de elementos por outros de geometria diferente.                                     |
| C - F.U.2.  | Alteração das condições de acessibilidade inicialmente previstas.                                |
| C - F.U.3.  | Manutenção inexistente ou inadequada.  |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |  |
| C - F.A.1.  | Ventos fortes.   |
| C - F.A.2.  | Radiação solar.  |
| C - F.A.3.  | Ação biológica.  |
| C - F.A.4.  | Ciclos gelo / degelo.  |
| C - F.A.5.  | Temperatura.   |
| <b>Ações de origem mecânica</b>                             |  |
| C - F.M.1.  | Deformação da estrutura de suporte da cobertura.   |
| C - F.M.2.  | Circulação de pessoas e carga sobre os revestimentos.  |

Seguidamente em §4.3.4.1.1 até §4.3.4.1.9 serão descritas individualmente os nove tipos de proveniências consideradas, em cada classificação de causas de anomalias, utilizando, sempre que possível, circunstâncias do edifício em estudo.

**Quadro 4.18** - Classificação das causas das anomalias do grupo G. (Aguiar *et. al.*, 2006).

| <b>Erros de Projeto</b>                                     |   |
|---|---|
| C - G.P.1.  | Conceção deficiente para ações sísmicas e outras ações horizontais.   |
| C - G.P.2.  | Não consideração da encurvadura no cálculo de elementos verticais.  |
| C - G.P.3.  | Não consideração do efeito diferido da retração no betão armado, após aplicação.                              |
| C - G.P.4.  | Conceção/pormenorização inadequada de armaduras, tendo em conta a ação das sobrecargas.                       |
| <b>Erros de Execução</b>                                    |   |
| C - G.E.1.  | Execução deficiente ou inexistente das juntas de dilatação.   |
| C - G.E.2.  | Utilização de areia em condições desfavoráveis de aplicação (presença de cloretos) para a execução do ligante |
| C - G.E.3.  | Humidade de precipitação.   |
| <b>Erros de utilização e falta de manutenção</b>            |   |
| C - G.U.1.  | Manutenção escassa ou inexistente.  |
| C - G.U.2.  | Condições de ventilação e de aquecimento insuficientes.   |
| <b>Alteração das condições inicialmente previstas</b>       |   |
| C - G.C.1.  | Aumento da carga máxima permitida.  |
| C - G.C.2.  | Assentamento de fundações.  |
| <b>Ações acidentais de origem humana</b>                    |   |
| C - G.H.1.  | Humidade fortuita.  |
| <b>Agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos</b> |   |
| C - G.A.1.  | Variações de humidade (ciclos seco/molhado).  |
| C - G.A.2.  | Dióxido de carbono.   |

**Quadro 4.19** - Classificação das causas das anomalias do grupo H. (Aguiar *et al.*, 2006; Sousa, 2008; Silvestre, 2005).

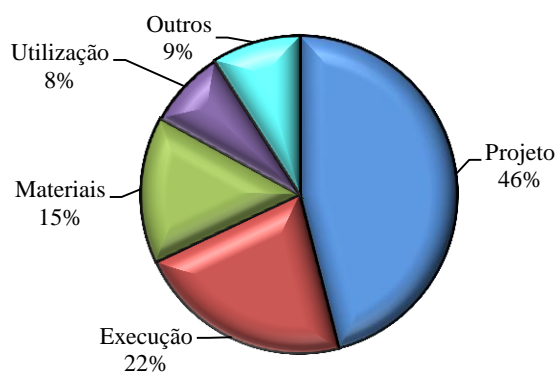
| <b>Erros de Projeto</b>                               |   |
|---|---|
| C - H.P.1.  | Escolha de materiais incompatíveis, omissa, ou não adequada à utilização.                 |
| C - H.P.2.  | Inexistência de juntas periféricas, de esquadramento ou construtivas.                     |
| C - H.P.3.  | Inexistência ou insuficiência de pendentos em pavimentos exteriores.                      |
| C - H.P.4.  | Deformações excessivas do suporte.  |
| <b>Erros de Execução</b>                              |   |
| C - H.E.1.  | Utilização de material de assentamento ou de preenchimento de juntas de retração elevada. |
| C - H.E.2.  | Contacto incompleto ladrilho - material de assentamento.                                  |
| C - H.E.3.  | Degradação do material de junta.  |
| <b>Alteração das condições inicialmente previstas</b> |   |
| C - H.C.1.  | Cargas excessivas em pavimentos.  |
| <b>Ações acidentais de origem humana</b>              |   |
| C - H.H.1.  | Permanência de água devido a inundações.  |
| <b>Agentes naturais, ambientais e biológicos</b>      |   |
| C - H.A.1.  | Cristalização de sais presentes na superfície do revestimento ou nos materiais de juntas. |
| C - H.A.2.  | Choque térmico.   |
| C - H.A.3.  | Envelhecimento natural.   |
| <b>Ações de origem mecânica</b>                       |   |
| C - H.M.1.  | Concentração de tensões no suporte.   |

#### 4.3.4.1.1 ERROS DE PROJETO

Segundo um estudo realizado pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) e apresentado por CNUDE (1991), as principais anomalias que ocorrem nas construções devem-se a erros na fase de projeto (**Fig. 4.26**), como conceções / pormenorizações omissas e ambíguas, especificações inadequadas de materiais, erros de cálculo e conceção geral incorreta das soluções construtivas (Garcez, 2009; Pereira, 2008).

Apesar de ser a fase de conceção da solução de revestimento a ocasião em que é oportuna a otimização económica e técnica pelos diversos intervenientes, esta é muitas das vezes menosprezada, sendo um dos fatores que mais contribui para o aparecimento de patologia em obra (Neto & Brito,

2011). Uma das razões de tamanha percentagem associada a erros de projeto reside no facto de o desenvolvimento de um projeto de um edifício envolver, nas suas várias fases, numerosos intervenientes (Pereira, 2008). De facto, segundo o CIB (1993), a origem dos defeitos de construção deve-se à falta de conhecimento e de experiência e às falhas de informação e comunicação entre os intervenientes no processo, assumindo que as anomalias não dependem dos materiais de construção, mas sim da deficiente escolha e má aplicação dos mesmos (Chai, 2011). Porém, os erros relativos à conceção são os mais fáceis de analisar, através da sua deteção na examinação das peças escritas e desenhadas, recriando cronologicamente a execução do projeto (Neto & Brito, 2011).



**Figura 4.26** - Principais causas de anomalias segundo o CSTC (adaptado de Pereira, 2008 citando CNUdde, 1991)

A generalidade dos erros provenientes na fase de projeto de um edificado encontra-se associada à ausência de ponderação do tipo de revestimento a utilizar, da localização do edifício e do tipo de ações que o mesmo suporta, assim como as condições de exposição do mesmo. Tais exemplos poderão ser observados na conceção/pormenorização incorreta de pendentes na generalidade das coberturas (**C - E.P.7.**) e de armaduras em elementos estruturais de betão armado (**C - G.P.4.**), na incorreta seleção de materiais com inadequada e/ou insuficiente espessura de revestimento em caixilharias exteriores (**C - D.P.6.**), ou em acabamentos e dimensões de elementos pétreos e cerâmicos, na pormenorização incorreta do peitoril e/ou na disposição incorreta do sistema de evacuação de águas (**C - D.P.1.**), na inadequada pormenorização do tipo de fixação (**C - C.P.3.**), assim como dos respetivos elementos de fixação, de revestimentos pétreos em fachadas exteriores e na incorreta conceção da quantificação de camadas (**C - E.P.1.**), assim como do tipo de materiais a utilizar em coberturas planas.

Outro tipo de anomalias inteiramente associadas aos erros providos na fase de projeto são as deformações dos revestimentos (**C- A.P.2.**). Tais ocorrências encontram-se relacionadas com o inadequado dimensionamento das estruturas de suporte, na medida em que quando estas não apresentam a capacidade resistente necessária para suportar as solicitações a que se encontram sujeitas ao longo da sua vida útil, os seus elementos cedem e provocam deformações nos revestimentos (Garcez, 2009).

#### 4.3.4.1.2 ERROS DE EXECUÇÃO

A execução é um dos períodos mais críticos da vida de um edifício. De facto, é nesta fase que ocorrem muitos procedimentos e decisões que afetam de forma definitiva a construção, e que podem

estar na origem de inúmeras anomalias (Silva, 2009 citando INH, 2006). Ao contrário dos erros de projeto, a análise dos erros de execução encontra-se dificultada pela ausência de registos, ou devido à relação causa - efeito não imediata, podendo levar anos até à manifestação da patologia (Neto & Brito, 2011).

Na realidade são diversos os motivos que levam à má execução das diversas atividades na construção de edifícios, destacando-se a utilização de mão-de-obra inexperiente e não qualificada, assim como a utilização de materiais com defeito de fabrico (C – A.E.5.), ou de materiais com defeitos de fabrico (não prescritos) (C – G.E.2.; C – C.E.2.; C – F.E.4.), incorretos (C – E.E.1.; C – F.E.3.) ou incompatíveis entre si (C – A.E.9.) (Pereira, 2008).

Como tal, a generalidade das ocorrências mais comuns (para além dos defeitos de materiais e da utilização de mão de obra não qualificada) consideradas, nesta etapa particular de realização de edifícios, foram as seguintes:

- Condições de aplicação desfavoráveis e inapropriadas (C – A.E.2.);
- Inadequada colocação e proteção dos elementos de fixação (C – F.E.2.);
- Preparação inadequada de suportes de aplicação de revestimentos (C – A.E.10.);
- Desrespeito pelas dimensões das juntas, prescritas no projeto (C – B.E.2.);
- Utilização de métodos construtivos inadequados (C – A.E.1.).

As condições inadequadas de ligação entre materiais diferentes também são frequentemente associadas à fase de execução de edifícios. Tais circunstâncias são evidenciadas através da fendilhação ao longo da continuidade da ligação entre os distintos materiais (Fig. 4.35), resultante das distintas características dos mesmos (módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica, entre outras), que têm, portanto, deformações diferentes, quando sujeitos a ações térmicas, higrométricas e de carregamento (Pereira, 2008). Como tal, o comportamento diferente, do ponto de vista termo-higrométrico, bem como do ponto de vista da retracção e da fluência e, ainda, mecânico (no que se refere à deformação sob cargas), dará origem ao aparecimento de tensões de corte entre os distintos materiais que se transmitem ao revestimento, podendo provocar fendilhação deste, ao longo das ligações (Pereira, 2008 citando Veiga, 1997).

Este tipo de fendilhação manifesta-se, frequentemente, na ligação entre elementos de betão armado e de paredes de alvenaria de tijolo (Quadro 4.20), quer em situações de tetos, quer em paredes não estruturais, agravando-se em circunstâncias de aplicação de revestimento contínuo.

**Quadro 4.20** – Características físicas dos suportes de betão e de alvenaria de tijolo (adaptado de Silvestre, 2005).

| Característica do material  | Betão                    | Alvenaria de Tijolo    |
|---|--------------------------|------------------------|
| Retrações ou expansões máximas irreversíveis com a humidade (mm/m). | -0,6                     | +0,8                   |
| Coeficiente de dilatação térmica linear (mm/mm/°C <sup>-1</sup> ).  | 10 a 13x10 <sup>-6</sup> | 5 a 8x10 <sup>-6</sup> |

Porém, as ações ambientais, humidade e radiação solar podem provocar deformações diferenciais significativas entre o suporte e diferentes tipos de revestimentos aplicados. Nesses casos, o material de assentamento tem de possuir uma deformabilidade que lhe permita degradar as tensões geradas pelas deformações diferenciais referidas, não as transmitindo aos elementos de revestimentos que são

materiais frágeis (Silvestre, 2005). No **Quadro 4.21**, encontram-se as distintas características físicas entre dois tipos de revestimentos e a respetiva argamassa de assentamento.

**Quadro 4.21** - Características físicas de revestimentos cerâmicos e pétreos (adaptado de Silvestre, 2005; Gonçalves *et al.*, 2008).

| Característica do material  | Argamassa de assentamento de base cimentícia | Ladrilhos cerâmicos    | Placas pétreas de xisto |
|---|--|------------------------|-------------------------|
| Retrações ou expansões máximas irreversíveis com a humidade (mm/m). | -1   | +0,6                   | -                       |
| Coefficiente de dilatação térmica linear (mm/mm/°C <sup>-1</sup> ). | 10 a 13x10 <sup>-6</sup>                     | 4 a 8x10 <sup>-6</sup> | 8x10 <sup>-6</sup>      |

Posto isto, poder-se-á concluir que na fase de execução, ocorrem muitos procedimentos e decisões que afetam de uma forma definitiva a construção, podendo estimular o desencadeamento de um processo patológico, em diversas materiais utilizados nos edificados.

#### 4.3.4.1.3 ERROS DE UTILIZAÇÃO E DE FALTA DE MANUTENÇÃO

Segundo Neto & Brito (2011), a obtenção de durabilidade num sistema de revestimento carece de manutenção regular preventiva para a deteção precoce de anomalias e adequada resolução (**Fig. 4.27**). A ausência de manutenção em edifícios permite que os processos patológicos, uma vez iniciados, progridam livremente e, através dos seus efeitos, provoquem o aparecimento de novas anomalias, contribuindo deste modo para o agravamento dos fenómenos de degradação (Garcez, 2009). Gonçalves (2004) chega mesmo a considerar que a omissão de trabalhos de manutenção em edifícios correntes (devido à incapacidade técnica ou financeira, à falta de informação ou ao simples desinteresse por parte dos utentes) constitui a mais significativa causa humana de degradação dos mesmos.

Como tal, considerou-se que a ausência de ações como a inspeção, a limpeza, a reparação e a substituição em revestimentos, incorporassem os fundamentais erros provindos da falta de manutenção em edifícios. Relativamente aos lapsos provindos da utilização considerou-se as técnicas e os processos de limpeza inadequados (**C – B.U.2.**; **C – B.U.3.**; **C – D.U.1.**), assim como as incorretas condutas de utilização (**C – A.U.3.** - Ações de choques provindos da circulação de pessoas e/ou de veículos). Porém, considerou-se, igualmente, as atitudes dos utentes evidenciam e/ou aceleram determinadas manifestações anómalas, ao não usufruírem, como por exemplo, de dispositivos de aquecimento e de ventilação (**C – A.U.3.**; **C- B.U.5.**), existentes no edificado em estudo.



**Figura 4.27** - Representação de corretas ações de manutenção e de limpeza em elementos secundários e revestimentos de edifícios: a. Lubrificação dos mecanismos de caixilhos exteriores (Santos, 2012); b. Limpeza de revestimento colado aderente com produto apropriado (Silvestre, 2005).

Os inadequados trabalhos de reparação ou de substituição de materiais também são considerados nos erros provindos de manutenção em edifícios, traduzindo-se, por exemplo, na substituição de elementos construtivos com diferentes tonalidades e de dimensões dos materiais de revestimento inicialmente aplicados (**C – F.U.1.**).

A ocorrência de técnicas de limpeza, utilizando produtos inadequados, abrasivos e bastante agressivos (como ácidos e bases fortes), ou empregando lavagens excessivas com água abundante poderá provocar a degradação da camada de revestimento de diversos tipos de materiais, tais como os ladrilhos cerâmicos, os revestimentos pétreos, de caixilhos exteriores ou até mesmo revestimentos de madeira em pavimentos. De facto a utilização de certos produtos de limpeza poderá provocar a deterioração de elementos que constituem os sistemas de revestimentos, principalmente os que possuem menor resistência às agressões, como os materiais de preenchimento das juntas (Silvestre citando Rosenbom; Garcia, 2004).

Porém, a ausência prolongada de trabalhos de limpeza em componentes construtivos traduz-se numa ação bastante propícia ao aparecimento de novas anomalias nos mesmos. Tal facto manifesta-se, regularmente, na acumulação excessiva de detritos em lugares singulares de coberturas inclinadas (**C-F.U.3.**), permitindo o desenvolvimento de líquenes e plantas herbáceas que se fixam aos elementos de revestimento, dificultando o escoamento da água (Garcez, 2009), ou em calhas de caixilhos exteriores (**C – D.U.3.**), provocando o aparecimento de colonização biológica (fungos, líquenes, verdetes, musgos), assim como o mau funcionamento do sistema de evacuação de águas, que por sua vez teria repercussões ao nível da humidificação e consequente degradação dos materiais (Santos, 2012).

#### **4.3.4.1.4 AÇÃO DE ACIDENTES NATURAIS**

Os desastres naturais são fenómenos violentos, causadores em geral de danos profundos e, por vezes, irreparáveis, encontrando-se caracterizados pela sua imprevisibilidade de ocorrência (Gonçalves, 2004).

Como tal, considerou-se neste grupo de causas de anomalias, a possível ocorrência de um sismo (**C-A.N.1.**), devendo-se essencialmente à manifestação de fissurações delineadas a 45° em cunhais (referido em §2.4.2.) de portas do edifício (**Fig. 4.42a**).

#### **4.3.4.1.5 ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES INICIALMENTE PREVISTAS**

As causas relativas à alteração das condições inicialmente previstas dizem respeito ao uso inadequado de componentes construtivos, tais como repetida alteração aos usos, tipo ou intensidade das cargas aplicadas definidos inicialmente (**C – A.C.1.**; **C – G.C.1.**), a utilização de cargas excessivas em pavimentos (**C- H.C.1.**) ou a aplicação de cargas verticais excessivas que podem promover o desgaste, fractura ou outras anomalias (Neto & Brito, 2011).

Na maior parte das situações, as causas aqui apresentadas têm origem em alterações de severidade, do tipo ou da intensidade, da utilização dos espaços ou elementos revestidos, onde tais modificações poderão suceder em pavimentos e/ou paredes. Porém, considerou-se igualmente o assentamento de fundações (**C- G.C.2.**), assim como possíveis movimentações bruscas provenientes da circulação de

veículos (C – A.C.3.) como causas possíveis para manifestações de fissurações e fendilhações ocorridas em pisos subterrâneos do edifício em estudo (Fig. 4.34).

#### 4.3.4.1.6 AÇÕES ACIDENTAIS DE ORIGEM HUMANA

As ações acidentais de origem humana consideradas (C – A.H.1.; C – B.H.1.; C – C.H.1.; C – G.H.1.; C – H.H.1.), foram a ocorrência de uma inundação e de roturas em tubagem do sistema *sprinkler's*, que degradaram, significativamente, componentes construtivos presentes no piso térreo e no primeiro piso, assim como de pisos subterrâneos do edifício em estudo.

Segundo Gonçalves (2004), a primeira consequência de uma inundação é a humedificação dos materiais (revestimentos de pinturas, de pavimentos de madeira, cerâmicos e pétreos) e elementos construtivos estruturais (pilares, pavimentos) e não estruturais (paredes de alvenaria), dando assim origem aos processos de degradação característicos da presença de sais solúveis em tais componentes (fenómenos de eflorescências e de criptoflorescências devido à dissolução e à cristalização de sais), assim como da permanência exagerada de água nos mesmos (provocando o apodrecimento e a degradação de certos elementos construtivos).

Por fim, será importante referir que tal ocorrência, poderá degradar irremediavelmente certos materiais de acabamento (revestimento de madeira em pavimentos).

#### 4.3.4.1.7 AGENTES AGRESSIVOS NATURAIS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICOS

Neste grupo particular de causas de anomalias, procurou-se aglutinar a totalidade de agentes agressivos presentes no desencadeamento de certas anomalias do edifício em causa, dividindo-os em três grupos:

- Agentes agressivos naturais: considerou-se o envelhecimento natural dos materiais (C - A.A.5.; C - C.A.3.; C – E.A.4.; C - H.A.3.), assim como a ação de agentes naturais, como a presença do dióxido de carbono no ar, desencadeando os fenómenos de carbonatação (C – G.A.2.) em elementos estruturais de betão armado (Fig. 4.105);
- Agentes agressivos ambientais: ação da chuva, do vento (C – D.A.4.; C – E.A.1.; C – F.A.1.) de diferenciais de temperatura (C – D.A.3.; C - E.A.3.; C – F.A.5.; C – H.A.2.) e de humidade do ar (C - B.A.2.; C - B.A.3.), da incidência de radiação solar e de ciclos de gelo/degelo;
- Agentes agressivos biológicos: ação química de detritos acumulado (C – D.A.5.; C – F.A.3.) e de agentes biológicos (C – A.A.4.; C. – C.A.4.) tais como líquenes, musgos e bactérias, englobando, igualmente, as ocorrências de fungos e de bolores.

Como referido em §2.5.1.1.1.3, a ação da chuva (C - C.A.2.; C - G.A.1.) só é potencialmente nociva à degradação dos materiais, quando a componente do vento se encontra associada. Como tal, as fachadas orientadas segundo o quadrante S-W, encontram-se mais susceptíveis de serem afetadas por chuvas e ventos fortes, proporcionando o aumento da probabilidade de infiltrações de água para interiores (através de caixilhos exteriores), do destacamento e degradação de possíveis revestimentos aplicados em paramentos de paredes e de pavimentos exteriores, assim como a degradação de caixilhos exteriores e de vidros incorporados nos mesmos. Importará salientar a ação do vento em

coberturas inclinadas, que poderá proporcionar o levantamento de revestimentos descontínuos (i.e. telhas cerâmicas) (**Fig. 4.123a**).

A radiação solar (**C – A.A.3.**; **C – B.A.1.**; **C – D.A.2.**; **C – E.A.5.**; **C – F.A.2.**), assim como as variações de humidade (devido à ação da chuva ao pelo efeito da condensação do vapor de água existente no ambiente) constituem um factor potenciador de degradação para os potenciais materiais ou revestimentos aplicados. Na generalidade dos materiais, a incidência da radiação solar poderá provocar alterações do aspeto, perda de substâncias, e desenvolvimento de superfícies quebradiças e a perda de substância (Gonçalves, 2004).

De facto, são as variações de temperatura que desencadeiam alterações temporárias ou permanentes, nas características físicas e químicas das superfícies, destacando as modificações no comprimento dos materiais, o qual determinado pela seguinte Expressão 5 (Flores-Colen, 2008):

$$\Delta L \cong L \cdot \alpha_1 \cdot \Delta t \quad (5)$$

em que:

- $\Delta L$  = variação de comprimento por ação da temperatura (m);
- $L$  = comprimento inicial (m);
- $\alpha_1$  = Coeficiente de dilatação térmica linear no valor de  $10 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m/m}$  para argamassas;
- $\Delta t$  = variação da temperatura ( $^\circ\text{C}$ ).

Por sua vez a humidade poderá provocar o aceleramento da degradação da maior parte dos materiais comuns em edifícios, proporcionando o desenvolvimento de manchas, a desagregação de argamassas e o apodrecimento de elementos orgânicos (Gonçalves, 2004). Também a ação isolada da humidade ambiente, quando apresenta um nível elevado no momento da aplicação de revestimentos, pode levar não só ao descolamento precoce dos revestimentos, como também à ocorrência de criptoflorescências ou eflorescências (**Fig. 4.51**), devidas à humidificação dos sais solúveis presentes principalmente no material de assentamento ou no suporte (Silvestre, 2005).

Será importante referir a ação de degradação que os ciclos gelo/degelo (**C – F.A.4.**) na generalidade dos materiais (essencialmente em revestimentos pétreos e de coberturas), provocando a fragmentação, envelhecimento precoce e fissuração e/ou fendilhação dos mesmos (Silva, 2009).

Relativamente aos agentes agressivos biológicos (líquenes, musgos e bactérias) são favorecidos, essencialmente, pela radiação solar (Silva, 2009), surgindo em locais propícios à presença de água e de humidade. Na generalidade, para além da alteração cromática, estes agentes agressivos degradam, por via indireta os materiais, ao retardarem o processo de secagem de humedecimento dos mesmos (Gonçalves, 2004). Por sua vez, os fungos e bolores não necessitam de radiação solar para o seu desenvolvimento, dependendo o seu crescimento e propagação dos seguintes aspetos: substrato com a presença de matéria orgânica, água, oxigénio e temperatura (Gonçalves, 2004). Surgem sobretudo em superfícies de madeira (**Fig. 4.58e**), podendo também ser afetadas superfícies nas quais existam depósitos de matéria orgânica.

#### **4.3.4.1.8 AÇÕES QUÍMICAS**

Considerou-se a ocorrência de carbonatação em paramentos interiores de paredes exteriores (**C – A.Q.1.**), como uma ação química evidenciada no edifício em estudo.

O fenómeno de carbonatação manifesta-se através de depósitos brancos, facilmente confundíveis com as eflorescências, devidos à carbonatação de cálcio, que se distinguem por serem efervescentes na presença de ácido clorídrico (Flores-Colen, 2008). Segundo Flores-Colen & Brito (2012), tal fenómeno deve-se a condições desfavoráveis (tempo frio e húmido) durante a aplicação do reboco, que dificultam a combinação do hidróxido de cálcio livre ou a excesso de água na amassadura.

#### **4.3.4.1.9 AÇÕES DE ORIGEM MECÂNICA**

As ações de origem mecânica exterior agrupam um conjunto de causas difíceis de prever ou evitar, pelo que será em fase de projeto que se poderá tentar prevenir ou minimizar, através da especificação das características de resistência e desempenhos exigíveis e expectáveis relativamente à tipologia de componentes construtivos a aplicar (Neto & Brito, 2011).

As ações de origem mecânica caracterizam-se pela sua imprevisibilidade, podendo ocorrer mesmo em elementos de revestimento com características de resistência física exigíveis para a sua função (Garcez, 2009).

Como tal, nas situações de coberturas (inclinadas ou horizontais), estas ações consistem em deformações da estrutura de suporte (**C – F.M.1.**), na circulação de pessoas e cargas sobre os revestimentos (**C – F.M.2.**), ou até mesmo na colocação e/ou impactos de equipamentos pesados sobre os revestimentos (**C – E.M.1.**) (**Fig. 4.62c**), proporcionando a ocorrência de fissurações, deformações e deslocamentos em revestimentos de tais componentes construtivos.

A concentração de tensões no suporte (**C – A.M.2.**), ou a deformabilidade excessiva do mesmo, podem transmitir aos diferentes tipos de revestimentos aplicados estados elevados de tensão, caso o material de assentamento não possua características que permitam a degradação das tensões que lhe são transmitidas (Silvestre, 2005).

Assim sendo, neste conjunto de causas de anomalias foram, igualmente, englobadas as movimentações higroscópicas e térmicas (**C – A.M.3.**; **C – A.M.4.**), assim como a retração excessiva do suporte (**C – A.M.1.**; **C – A.M.5.**) (incluindo os elementos de betão armado), devendo-se, essencialmente, à propagação de tensões, das quais certos revestimentos manifestam-se insuficientemente resistentes.

#### **4.3.4.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ANOMALIAS E AS POSSÍVEIS CAUSAS**

O processo de correlação utilizado, entre as anomalias e as causas prováveis, teve como influência a metodologia proposta por Brito (2009), descrita em §3.2.2. Semelhante a tal sistema, ir-se-á elaborar matrizes de correlação entre os tipos de anomalias observados no edifício (**Quadro 4.6**) e as respetivas causas prováveis (**Quadros 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19**), contudo ao invés da

utilização de graus de correlação (0,1,2), ir-se-á utilizar nível de associação em percentagem, como indicado no **Quadro 4.22**.

Como tal, procedeu-se à divisão dos cinco níveis de associação em duas classificações de causas:

- **Causas prováveis:** corresponde ao surgimento de certas causas que constituem umas das razões principais do processo de degradação, sendo indispensável ao seu desenvolvimento.
- **Causas ambíguas:** corresponde às causas relacionadas com o despoletar do processo de deterioração, causando o agravamento dos seus efeitos, embora não seja necessária para o seu desenvolvimento.

Como tal, nas situações de causas associadas cerca de 100% ou 75% a certas situações anómalas, considerou-se que se trata de causas prováveis a tais ocorrências, onde em situações de associação de 50% ou de 25%, considerou-se que se trata de causas ambíguas. Por fim, quando não existe qualquer tipo de correlação entre as situações anómalas e certas causa, impõe-se a utilização do quinto e último nível (**Quadro 4.22**).

Porém, a atribuição do valor (%) dos cinco níveis de associação poder-se-á repetir em múltiplas situações de causas identificadas, evidenciando que o fenómeno anómalo surge e/ou encontra-se influenciado por diversas e divergentes origens.

**Quadro 4.22** – Descrição dos níveis de associação utilizados entre a correlação das anomalias e as respetivas causas possíveis.

| Níveis de associação de anomalias e causas prováveis | Valor (%) | Designação                    |
|--|-----------|-------------------------------|
| Nível 1  | 100       | Relação presumivelmente exata |
| Nível 2  | 75        | Relação significativa         |
| Nível 3  | 50        | Relação mediana               |
| Nível 4  | 25        | Relação medíocre              |
| Nível 5  | -         | Relação inexistente           |

Como tal, para cada anomalia são assim identificadas, através da matriz de correlação, as causas possíveis da sua ocorrência, sendo cada uma delas classificadas de acordo com o nível de associação que possui com a anomalia (Brito, 1992).

Será importante salientar, que atribuição dos cinco diferentes níveis de associação, entre as situações anómalas e as causas possíveis advém da consulta da bibliografia referida em §2, assim como do fundamento das inspeções realizadas, tendo como base os valores/resultados obtidos pelas técnicas de diagnóstico realizadas.

No **Quadro 4.23**, encontra-se um exemplo de uma matriz de correlação entre as anomalias do grupo A. (**Quadro 4.6**) e as respetivas causas identificadas (**Quadro 4.13**) do Grupo I de pisos (**Anexo 2.I**). Porém, a totalidade das matrizes de correlação realizadas encontram-se no **Anexo 2**.

**Quadro 4.23** – Matriz de correlação anomalias do grupo A. e as respetivas causas identificadas do Grupo I - Caves.

| C/ A (%)                     | A.1.(1) | A.1.(2) | A.1.(3) | A.1.(4) | A.1.(5) | A.3.(1) | A.4.(1) | A.4.(2) | A.7.(1) | A.8.(1) | A.11.(1) | Média de associação de Diagnóstico (%) |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|--|
| C - A.P.1.                   | -       | 50      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 25      | -       | -        | 7                                      |
| C - A.P.2.                   | 75      | -       | 50      | 75      | 75      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 25                                     |
| C - A.P.3.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 100     | -       | -       | -       | 75       | 16                                     |
| C - A.P.4.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.P.5.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.P.6.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.P.7.                   | 50      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 5                                      |
| C - A.P.8.                   | -       | 100     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 9                                      |
| C - A.P.9.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 25      | -       | -        | 2                                      |
| C - A.E.1.                   | -       | 100     | -       | -       | -       | -       | 75      | -       | 50      | -       | 75       | 27                                     |
| C - A.E.2.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.E.3.                   | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | 50      | 50      | 50      | 50      | 75       | 32                                     |
| C - A.E.4.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.E.5.                   | -       | -       | -       | -       | -       | 50      | -       | -       | 25      | 100     | 75       | 23                                     |
| C - A.E.6.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 50      | -       | -        | 5                                      |
| C - A.E.7.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | -       | 50       | 11                                     |
| C - A.E.8.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.E.9.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | -       | -        | 7                                      |
| C - A.E.10.                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 50      | -       | -        | 5                                      |
| C - A.E.11.                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | 75      | 50      | -       | -        | 18                                     |
| C - A.E.12.                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | -       | -        | 7                                      |
| C - A.E.13.                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.U.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 50      | -       | -       | -       | -        | 5                                      |
| C - A.U.2.                   | 25      | 25      | -       | -       | -       | 50      | -       | 50      | -       | -       | -        | 14                                     |
| C - A.U.3.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | -        | 7                                      |
| C - A.N.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.C.1.                   | -       | -       | 50      | -       | 75      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 11                                     |
| C - A.C.2.                   | 75      | 50      | 50      | 50      | 50      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 25                                     |
| C - A.C.3.                   | -       | 50      | -       | 75      | 75      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 18                                     |
| C - A.H.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | 100     | -       | 100     | -       | 75      | -        | 25                                     |
| C - A.A.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.A.2.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75      | 75      | -       | -       | -        | 14                                     |
| C - A.A.3.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.A.4.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.A.5.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | 75       | 7                                      |
| C - A.A.6.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.Q.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.M.1.                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -                                      |
| C - A.M.2.                   | 75      | -       | -       | 75      | 50      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 18                                     |
| C - A.M.3.                   | -       | 75      | 100     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 16                                     |
| C - A.M.4.                   | -       | 75      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 7                                      |
| C - A.M.5.                   | -       | -       | 25      | -       | 75      | -       | -       | -       | -       | -       | -        | 9                                      |
| Validação do Diagnóstico (%) | 60      | 88      | 63      | 69      | 67      | 69      | 70      | 70      | 50      | 75      | 71       | 68                                     |

De forma a ilustrar as associações representadas na matriz de correlação anomalias – causas prováveis, apresenta-se um exemplo das causas prováveis e ambíguas, relativas à anomalia **A.4. (2)** – Eflorescências em paredes de alvenaria:

- Causas Prováveis:
  - C - A.E.11. - Existência de sais solúveis na água e nos materiais utilizados;
  - C - A.H.1. - Humidade provinda de causas fortuitas;
  - C - A.A.2. - Variações de humidade.

- Causas Ambíguas:
  - C - A.E.3. - Humidade elevada do suporte;
  - C - A.U.2. - Ausência de manutenção/conservação.

De encontro ao demonstrado no **Quadro 4.23**, na intersecção de cada linha (representando as causas identificadas e classificadas para cada grupo de anomalias adotado) com cada coluna (indicação das anomalias evidenciadas, tendo em conta o grupo de anomalias em que se encontra inscrito), atribuiu-se os valores, em percentagem, de acordo com os níveis de associação considerados em **Quadro 4.22**.

Todavia, nestas matrizes de correlação persistem duas particularidades fundamentais, no que diz respeito à validação do diagnóstico de anomalias efetuado. Como tal, em cada matriz realizada, a última coluna corresponde à média de valores totais de associação atribuídos a cada causa identificada, tendo como base a integridade do tipo de anomalias evidenciadas. Porém, a última linha da matriz corresponde à média de valores, correspondentes aos níveis de associação 2, 3, 4 e 5 (25%, 50%, 75% e 100%, respetivamente), excluindo desta operação todas as situações de relação inexistente, entre as situações anómalas e as respetivas causas identificadas. Esta linha particular da matriz de correlação é essencial para a validação do diagnóstico, visto que caso a média de valores for inferior a 50, não se considera o diagnóstico elaborado conclusivo, ocorrendo a necessidade de efetuar novas inspeções, ou, eventualmente, novas técnicas de diagnóstico (para complementar os resultados de diagnóstico obtidos inicialmente).

Contudo, apenas será apresentado o conjunto de matrizes de correlação entre anomalias e causas possíveis definitivo, isto é, concretizado após a correção de validação de diagnósticos (em situações necessárias), tendo como base o critério anteriormente referido.

#### 4.3.4.3 FICHAS DE ANOMALIAS

A informação relativa a cada anomalia será apresentada de uma forma sintetizada e bastante objetiva, seguindo o formato de fichas de anomalia individuais, as quais constituem o **Anexo 3**, do presente trabalho.

Tendo como base os diversos documentos identificativos e descritivos das anomalias na construção, (desenvolvidos em §3.2.6), para além das informações/observações e descrições particulares de cada tipo de anomalia, serão também incluídos os métodos de diagnóstico, posteriormente utilizados em cada situação considerada. Como tal, tais documentos são constituídas pelos seguintes dados relativos a cada anomalia (Brito, 1992; Garcez, 2009; Gonçalves, 2004; Pereira, 2008; Silvestre, 2005):

- **Cabeçalho** com o nome da anomalia, de acordo com o **Quadro 4.6**;
- **Descrição** sumária das manifestações patológicas características da anomalia em análise;
- **Observações** (informações sobre a anomalia em avaliação, adquiridas durante as inspeções realizadas, ou nos inquéritos aos utentes, que poderão vir a ter interesse no diagnóstico da mesma);
- **Causas prováveis e ambíguas** da ocorrência da anomalia em análise (de acordo com a matriz de correlação anomalias - causas possíveis; as causas são identificadas através de uma descrição

por extenso e sumária (abreviatura de acordo com os **Quadros 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19**));

- **Consequências possíveis** da anomalia;
- **Técnicas de diagnóstico utilizadas** (identificação dos ensaios realizados, de acordo com o **Quadro 4.11**);
- **Nível de gravidade / Urgência da intervenção**, tendo como base a metodologia representada em **§4.3.2.1**, dividindo-se tal classificação em três grupos de pontuação:
  - Pontuação advinda da urgência de atuação, de acordo com o **Quadro 4.7**;
  - Pontuação advinda da segurança estrutural/bem-estar das pessoas, de acordo com o **Quadro 4.8**;
  - Pontuação final, de acordo com o **Quadro 4.9**, atribuindo desta forma os quatro níveis da classificação pseudo - quantitativa de tal anomalia.
- Apresentação de uma fotografia representativa do(s) caso(s) onde as anomalias foram observadas.

Pretende-se com a realização destas fichas de anomalias, apresentar de uma forma objetiva e coerente a metodologia do SIDER, onde a leitura destes documentos terá que ser complementada com as informações provenientes do mapeamento de anomalias observadas, assim como das técnicas de diagnóstico utilizadas, presentes no **Anexo 1**.

## **4.4 Implementação do SIDER**

Optou-se por organizar a metodologia apresentada em **§4.3**, em cinco grupos de pisos distintos, ao invés da análise individual dos doze pisos, constituintes do edifício em estudo. Tal repartição de grupos teve como base a semelhança de revestimentos, em diversos elementos construtivos estruturais e não estruturais, assim como a conformidade de ocorrências anómalas observadas nas quinze visitas realizadas ao edifício em estudo.

Será importante referir que a informação aqui apresentada é complementada pelos dados presentes no **Anexo 1, Anexo 2 e Anexo 3**.

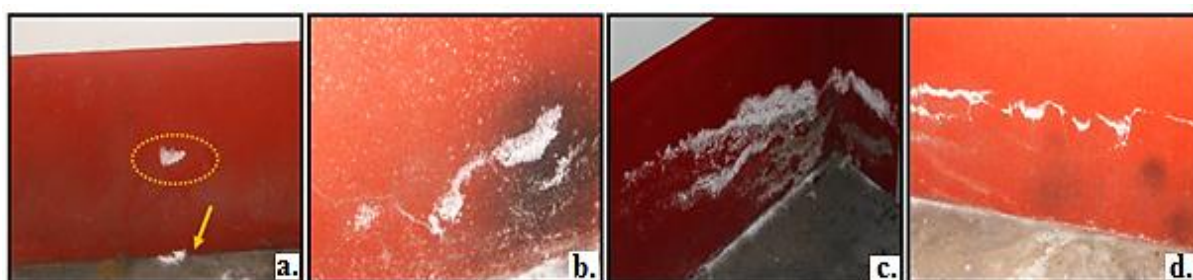
### **4.4.1 GRUPO I – PISOS SUBTERRÂNEOS**

O primeiro grupo de pisos é constituído pelos três pisos subterrâneos do edifício (Piso -3, Piso -2, Piso-1) (**Anexo 1.I**). Neste grupo considerado de pisos, os trabalhos de inspeção e diagnóstico foram, francamente, afetados, na generalidade das zonas, devendo-se essencialmente às insuficientes condições de luminosidade (Piso -3) e à inaccessibilidade das mesmas (Piso -2 e Piso -1).

#### **4.4.1.1 AVALIAÇÃO DETALHADA, CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS**

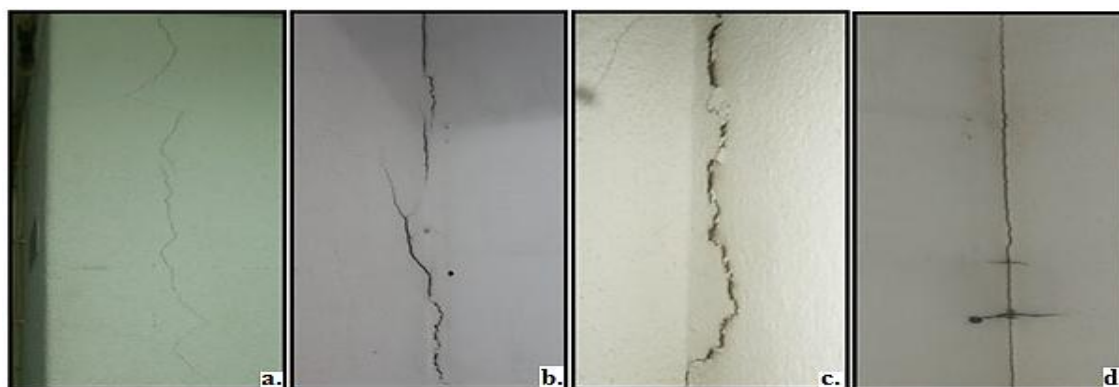
De uma forma generalizada, as anomalias observadas, neste grupo de pisos, encontram-se evidenciadas em paredes de alvenaria interiores e periféricas, adjacentes aos muros de suporte, assim

como em elementos estruturais de betão armado (pilares e lajes). Como tal as anomalias encontram-se inseridas no grupo de anomalias A. (Anomalias em revestimentos de paramentos interiores da generalidade de paredes e tetos) e G. (Anomalias em elementos estruturais interiores e exteriores de betão armado). Iniciando a avaliação das anomalias pela terceira cave (piso -3) constatou-se a presença de 7 anomalias, onde cinco anomalias pertencem ao grupo G. e as restantes ao grupo A.. As anomalias pertencentes ao grupo A. caracterizam-se pela manifestação de eflorescências em paredes de alvenaria da periferia, mais especificamente na zona C do piso em questão (**Figs. 4.28a, 4.28b**). No que diz respeito às anomalias pertencentes ao grupo G., presencia-se manifestações de eflorescências no revestimento final (**Fig. 4.38b**), aplicado no pilar nº 1, assim como a formação de estalactites na laje do teto, na zona C (**Fig. 4.39a**). Por fim evidencia-se a ocorrência da deficiente conceção e funcionamento da junta de dilatação entre os pilares nº 4,5,6 e 7, na zona E.



**Figura 4.28** - Representação dos dois tipos de eflorescências identificadas: a.;b. A.4.(1); c.;d. A.4.(2).

Na segunda cave do edifício (Piso -2), foram constadas cerca de 30 anomalias, onde cerca de 26 anomalias pertencem ao grupo de anomalias A., e as restantes ao grupo de anomalias G.. Relativamente às anomalias do grupo A., no referido piso foram observadas diversas fissurações, bastante acentuadas e definidas em diferentes locais de paredes de alvenaria, possuindo, igualmente, diferentes configurações (**Figs. 4.29b, 4.29c, 4.29d, 4.34, 4.35, 4.36**) (as quais expressam as divergentes causas que lhe deram origem). Tais anomalias foram evidenciadas em paredes de alvenaria interiores ou periféricas, nas zonas B (em paredes próximas à rampa de estacionamento) e C.



**Figura 4.29** - Representação dos dois tipos de fissurações verticais no piso -2: a. A.1.(3); b.; c.; d. A.1.(4).

Constatou-se, igualmente, a manifestação de duas situações de eflorescências esbranquiçadas em revestimentos de paredes interiores de alvenaria (**Figs. 4.28c, 4.28d**), num local bastante particular na zona D, assim como de pulverulência de tinta em paredes de alvenaria periféricas, na zona C (**Fig.**

**4.30a, 4.30b**). Nos elementos estruturais de betão armado observou-se o destacamento de tinta em teto da laje (**Fig. 4.38a**), na zona C, assim como, o deficiente funcionamento e execução de juntas de dilatação, na zona E, entre os pilares nº 4, 5 e 6 (**Fig. 4.39c**).



**Figura 4.30** - Ocorrência da anomalia A.11: a. No piso -2; b.; c. No piso -1.

Por fim, no piso -1, foram identificadas cerca de 8 anomalias, onde a grande maioria das ocorrências foram manifestadas em paredes de alvenaria interior (cerca de 5 anomalias), em relação às anomalias evidenciadas numa laje (3 anomalias), do mesmo piso. Como tal, observou-se fenómenos de erosão de reboco (**Fig. 4.31a**), na zona C, e de fissurações definitiva pouco acentuadas (**Fig. 4.29a**), assim como anomalias de empolamento (**Fig. 4.31c**), de destacamento (**Fig. 4.31 b**) e de pulverulência (**Fig. 4.30c**) em revestimento de tinta de paredes de alvenaria, nas zonas A, C e H. Relativamente à laje de betão armado do teto, verificou-se a ocorrência de um deficiente funcionamento e execução da junta de dilatação, na zona F, entre os pilares nº 7, 8 e 9 (**Fig. 4.39b**).



**Figura 4.31** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.8.(1); b. Ocorrência da anomalia A.3.(1); c. Ocorrência da anomalia A.7.(1).

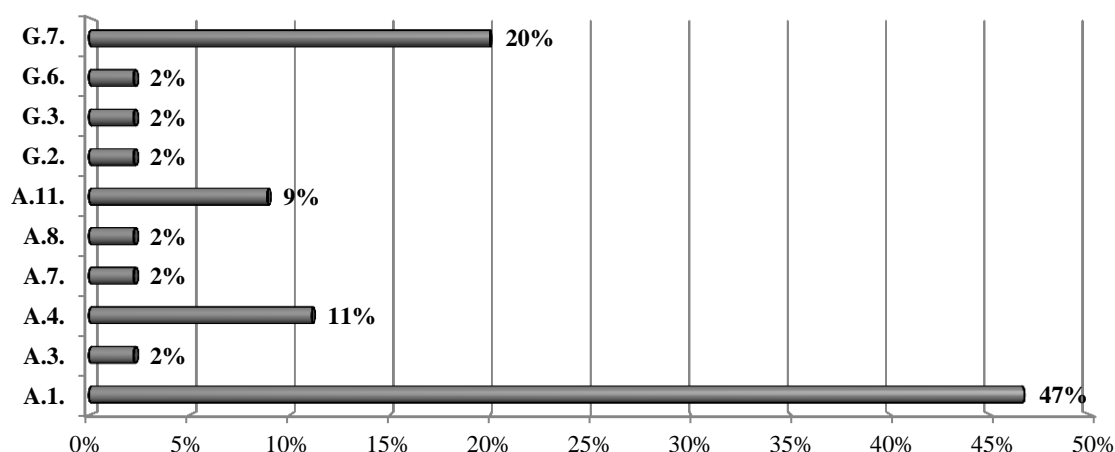
Dadas as circunstâncias de aparecimento de anomalias com as mesmas características de manifestação mas em elementos construtivos diferentes e/ou com causas/origens possivelmente divergentes (**A.4.**), ou com diferentes configurações (**A.1.**), decidiu-se avaliá-las separadamente (em §4.4.1.3.1), onde a sua identificação encontra-se no **Quadro 4.24**.

Como tal, constatou-se a totalidade de 45 anomalias, onde as anomalias do tipo **A.1.** são as mais frequentes (47%), em oposição às anomalias **A.3.**, **A.7.**, **A.8.**, **G.2.**, **G.3.** e **G.6.**, possuindo cerca de 2% de frequência de observação, cada uma. Apesar da anomalia **G.7.** ser manifestada na totalidade dos pisos considerados apenas possui 20% de frequência de observação (**Fig. 4.32**), concretizando-se como o segundo tipo de anomalia mais verificada.

**Quadro 4.24** – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas nos três pisos subterrâneos.

| Identificação do grupo de anomalia | Identificação do tipo de anomalia |  | Quantificação de observação |
|------------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Grupo A.                           | A.1.(1)                           | Fissuração inclinada a 45°.                              | 15                          |
|                                    | A.1.(2)                           | Fissuração horizontal.                                   | 1                           |
|                                    | A.1.(3)                           | Fissuração vertical.                                     | 1                           |
|                                    | A.1.(4)                           | Fissuração vertical em junção de paredes de alvenaria.   | 3                           |
|                                    | A.1.(5)                           | Fissuração acentuada no topo de uma porta.               | 1                           |
|                                    | A.3.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | A.4.(1)                           | Eflorescências em paredes adjacentes a muros de suporte. | 2                           |
|                                    | A.4.(2)                           | Eflorescências em parede de alvenaria interiores.        | 3                           |
|                                    | A.7.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | A.8.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | A.11.(1)                          |  | 4                           |
| Grupo G.                           | G.2.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | G.3.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | G.6.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | G.7.(1)                           |  | 9                           |

Através da **Figura: 4.33**, poder-se-á verificar que a totalidade das anomalias evidenciadas não possui um grau de deterioração significativo, encontrando-se caracterizadas pela prioridade pequena (Nível 3) e mínima (Nível 4) de reparação (**Anexo 2.I**).



**Figura 4.32** - Representação da frequência de ocorrências de anomalias nos três pisos subterrâneos do edifício.

#### 4.4.1.2 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS

Neste grupo de pisos em análise, realizaram-se apenas três tipos de técnicas/meios de diagnóstico. Na maioria das circunstâncias de anomalias do grupo A. privilegiou-se a utilização do comparador de fissuras e/ou fendas (TD-1-AVA-1) e do humidímetro, em contraste com as ocorrências de anomalias do grupo G., analisadas apenas pelo humidímetro (TD-2-ND-1). Porém numa circunstância de eflorescência (**A.4.(2)**) recorreu-se à realização de amostras, para posterior análise laboratorial, através da utilização de fitas colorimétricas (TD-3-IPS-1). Contudo em quatro anomalias (**A.1.(2)**, **G.2.(1)**, **G.6.(1)** e **G.7.(1)**) não foram realizadas técnicas de diagnóstico, devido às condições de inaccessibilidade das mesmas.

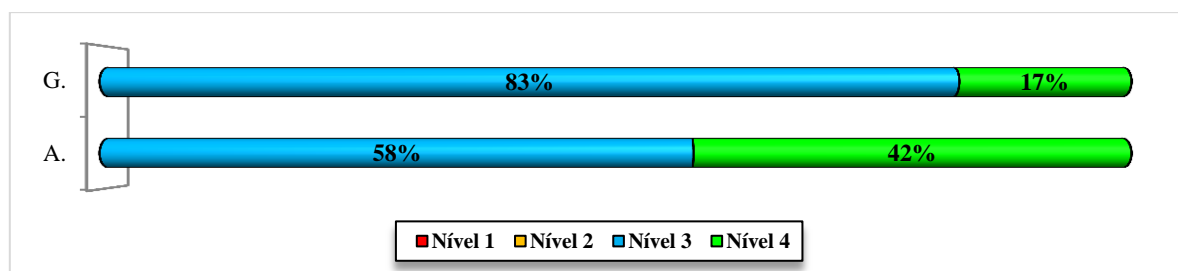


Figura 4.33 - Prioridade de reparação/intervenção do grupo de anomalias A. e G. dos três pisos subterrâneos.

#### 4.4.1.3 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS ANOMALIAS

##### 4.4.1.3.1 ANOMALIAS GRUPO A.

Como indicado no **Quadro 4.24**, existem cerca de seis tipos de anomalias pertencentes ao grupo A., onde ao tipo A.1. subdivide-se em cinco ocorrências de fissurações distintas.

Iniciando a avaliação do diagnóstico nas fendilhações paralelas a 45° (**Fig. 4.34**), localizadas nas extremidades inferiores de paredes de alvenarias, constou-se situações de fendas bastante acentuadas, com uma largura entre os 1,20 mm e os 0,75mm (**Quadro 3.11**), onde as fissurações menos realçadas possuem uma largura inferior (entre os 0,50mm e os 0,30 mm).



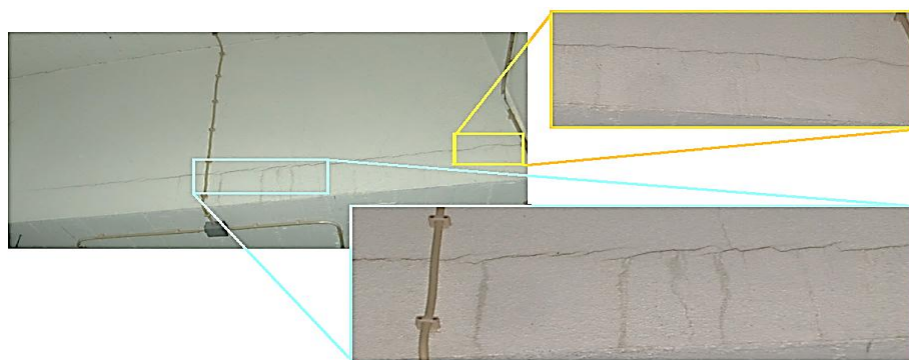
Figura 4.34 – Ocorrências da anomalia A.1.(1).

A média de extensão das fissurações observadas encontra-se entre os 0,30 a 0,50 m, onde, com grandes dificuldades de observação, poder-se-á constatar que a profundidade das fissurações não é elevada, o que significa, provavelmente, que a anomalia em causa ocorreu a nível superficial (apenas no acabamento final e no reboco), não atingindo os tijolos das paredes de alvenaria observadas. Relativamente ao teor de humidade medido, constatou-se valores bastante baixos, entre os 0,85% e 0,90%. Será importante salientar, que a generalidade das fendilhações, na zona B do piso -2, encontrava-se mais acentuada e com uma dimensão de largura maior do que as ocorrências de fendilhações presentes na zona C, do mesmo piso. Contudo, poder-se-á admitir que o surgimento das referidas fissurações não é recente, tendo em conta a sujidade do enchimento das fendilhações mais acentuadas. Assim sendo, e tendo em consideração que não se constatou nenhuma situação de aumento de largura, de rugosidade ou até alterações de alinhamento das fissurações (na totalidade de inspeções realizadas), poder-se-á considerar que as fissurações encontram-se estabilizadas (o que simplifica bastante a seleção de técnica de intervenção a adotar).

Como tal, e tendo em conta o descrito em §2.4.1 e em §2.5.1.1.2.4, poder-se-á admitir que as causas associadas a tais ocorrências encontram-se, essencialmente, relacionadas com o assentamento de

fundações (C – A.P.7.), ou com a deformação excessiva da estrutura de suporte (C- A.P.2.). Porém, acredita-se que a causa mais provável seja a C – A.P.2., visto que tais fissurações não se sucedem no piso inferior (-3), o que em casos de assentamento de fundações, tal não se verificava. Assim sendo e devido à causa C - A.P.2., gere-se tensões de corte na parede (Quadro 2.7) (C - A.C.2.) e concentrações excessivas de tensões no suporte (C - A.M.2.). Importará salientar, que por falta de reparação (C - A.U.2.), as ocorrências tem tendência a acumular sujidade e insetos, provocando o aumento da intensidade de acentuação das mesmas.

Relativamente à ocorrência A.1.(2), verificou-se uma significativa extensão da mesma, cerca de 2,35 m, encontrando-se presente no local de junção entre a laje do teto (com 0,22 m de espessura) e uma parede de alvenaria (com 1,05 m de altura). Porém, por motivos de inaccessibilidade, não se realizaram ensaios/técnicas de diagnóstico, recorrendo-se apenas à inspeção visual no local e à observação dos levantamentos fotográficos e videográficos realizados. Através da observação da **Figura: 4.35**, poder-se-á verificar que a largura das fendilhações é bastante reduzida, permanecendo sempre horizontal em toda a sua extensão, onde em certos locais evidencia-se marcas de escorrências de água.



**Figura 4.35** - Ocorrência da anomalia A.1.(2).

Como tal, poder-se-á admitir que a principal causa para a manifestação da anomalia analisada será a junção de diferentes materiais aplicados (C – A.P.1. e C – A.P.8.), neste caso a ligação entre uma laje de betão armado e uma parede de alvenaria. De acordo com o referido em §4.2.4.1.2, em situações de ligação de materiais com características físicas e higrotérmicas diferentes, é frequente observar-se fissurações no local de junção, devendo-se, essencialmente, ao surgimento de tensões de tração provenientes de movimentações divergentes, por parte dos mesmos. Tendo em consideração o **Quadro 4.20**, poder-se-á observar diferentes valores de retração, assim como divergentes coeficientes de dilatação térmica entre os elementos de betão e de alvenaria de tijolo, o que significa que os materiais considerados possuem movimentações higroscópicas (C – A.M.3.) e térmicas (C - A.M.4.) divergentes, em situações de variação de temperatura e de humidade existentes.

Contudo será importante referir, que na proximidade da observação da anomalia, encontra-se uma rampa de acesso automóvel para os locais de estacionamento existentes nas três caves. Logo, a anomalia poderá ter sido acentuada, eventualmente, pela movimentação brusca da passagem de automóveis (C - A.C.3.) (aumento de cargas dinâmicas), proporcionando divergentes deformações no local de junção da laje de betão e da parede de alvenaria. Tais deformações dão-se essencialmente pela existência de diferentes módulos de deformabilidade dos dois materiais aplicados, em que o betão armado é francamente mais resistente a este tipo de cargas. Por fim, importará referir, que a fissuração

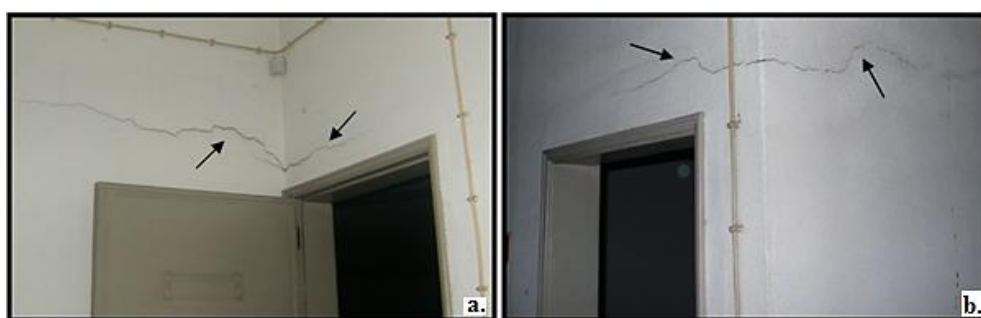
aparenta ser bastante superficial (rotura no acabamento de tinta e no suporte de reboco), onde não se observou qualquer indício de progressão da mesma.

Respeitante à ocorrência da anomalia **A.1.(3)** (**Fig. 4.29a**), verificou-se valores médios de largura de fissurações bastante baixos, cerca de 0,25 a 0,30 mm (**Quadro 3.11**), assim como teores de humidade reduzidos (0,60% a 0,70%). A fissuração observada é superficial, possuindo uma extensão cerca de 1,20m. Como tal, e tendo em conta as informações adquiridas nas técnicas de diagnóstico utilizadas, poder-se-á admitir, primeiramente, que a ocorrência de tal anomalia não é provinda de fenómenos de retração do suporte (reboco).

Assim sendo, admitiu-se que as possíveis causas da anomalia referida encontram-se relacionadas com a deformabilidade excessiva da estrutura de suporte (**C- A.P.2.**) ou com o aumento das cargas atuantes no rés-do-chão (**C- A.C.1.**), devendo-se essencialmente à configuração de fendilhação associada (**Quadro 2.7** e **Quadro 2.6**), proporcionando o surgimento de tensões (**C – A.C.2.**), Porém, tal ocorrência também poderá estar associada a movimentações higroscópicas (**C – A.M.3.**) (**Quadro 2.6**), assim como a fenómenos de retração de elementos de betão armado (**C – A.M.5.**).

Relativamente às fissurações verticais **A.1.(4)** (**Figs. 4.29b, 4.29c, 4.29d**), constatou-se uma largura cerca de 0,70 a 0,80 mm (**Quadro 3.11**), assim como uma acentuada rugosidade e modificações de alinhamentos ao longo da extensão das fissuras evidenciadas (cerca de 3,0 m). Relativamente aos valores do teor de humidade medido, encontram-se entre os 0,80% e 0,90%.

Referente à anomalia **A.1.(5)**, observou-se uma largura de fissuras média entre os 0,60 e os 0,80 mm (**Quadro 3.11**) caracterizando-se pela rugosidade e modificações de alinhamentos acentuados, assim como pela sujidade do preenchimento da fissuração (evidenciando que o fenómeno não é recente). A sua extensão é cerca de 0,85m e observa-se quer no paramento interior do compartimento da zona B, quer no paramento da parede, presente na zona E, onde na **Figura: 4.36**, poder-se-á verificar a simetria da manifestação da fissuração nos dois locais considerados.



**Figura 4.36** - Ocorrência da anomalia A.1.(5)

De facto, as anomalias **A.1.(4)** e **A.1.(5)** poderão estar relacionadas com a deformabilidade excessiva da estrutura de suporte (**C- A.P.2.**), devido à proximidade da junta de dilatação neste local, ou a um potencial acréscimo de cargas atuantes (**C – A.C.1.**), ou até mesmo das cargas dinâmicas proveniente da rampa de estacionamento (**C – A.C.3.**), localizada superiormente à parede de alvenaria. Como tal implicará a ocorrência de concentrações excessivas no suporte (**C – A.M.2.**), devido às elevadas tensões de corte (**C – A.C.2.**). Não obstante a tais factos, a anomalia **A.1.(5)** poderá, também, ter

surgido devido a fenómenos de retração da laje de betão superior (C – A.M.5.), devido à sua configuração horizontal (Quadro 2.8).

Relativamente aos fenómenos de eflorescências, dividiu-se em duas ocorrências. A primeira situação de anomalia A.4.(1) encontra-se em dois locais específicos em paredes de alvenaria periférica, possuindo significativas manifestações de eflorescências esbranquiçadas (Figs. 4.28a, 4.28b), evidentes nos paramentos e no pavimento (Fig. 4.28a). Após a medição dos teores de humidade em toda a extensão das paredes periféricas, na zona C, verificou-se que os locais onde o teor de humidade era mais elevado (valores entre 6% a 10%) coincidiam com os sítios das manifestações de eflorescências, onde nos restantes locais, os valores estabilizavam e encontravam-se, significativamente, mais baixos (0,90% a 1,05%). Como tal, poder-se-á admitir que por motivos secundários (indevidas condições de execução (C – A.E.1.)), persiste passagem de água do terreno envolvente (C - A.P.3.) entre os muros de suporte e as paredes de alvenaria, proporcionando o humedecimento dos materiais (C – A.E.3.), assim como a dissolução e cristalização de sais presentes nos mesmos (C-A.E.11.). Porém as condições insuficientes de ventilação existentes (C - A.U.1.), assim como os fenómenos de variações de humidade (C - A.A.2.), aceleram o processo de degradação da anomalia considerada.

Relativamente à ocorrência A.4.(2), têm o mesmo aspeto de eflorescências esbranquiçado da anomalia A.4.(1), contudo a extensão de tal fenómeno é francamente superior à ocorrência referida anteriormente. Através da realização do ensaio das fitas colorimétricas, na amostra 6, tomou-se conhecimentos que tais sólidos brancos possuem uma concentração moderada de iões sulfatos (> 400mg/l) e reduzida de iões cloretos (>0 e ≤500 mg/l) (Quadro 4.25).

Quadro 4.25 – Descrição da concentração de cloretos e sulfatos nas sete amostras.

| Nº amostra | Data da recolha da amostra | Elemento construtivo | Zona/Piso | Concentração de Cloretos (mg/l) | Concentração de Sulfatos (mg/l) |
|------------|----------------------------|----------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1          | 22/05/2013                 | Pilarete nº 2        | B/ 2º     | 0                               | <200                            |
| 2          | 4/06/2013                  | Pilar nº1            | N/ R/C    | >0 e ≤500                       | > 800                           |
| 3          | 4/06/2013                  | Pilar nº1            | N/ R/C    | >0 e ≤500                       | >800                            |
| 4          | 11/06/2013                 | Parede de alvenaria  | J/ R/C    | >0 e ≤500                       | >400                            |
| 5          | 8/07/2013                  | Pilarete nº 2        | B/6º      | 0                               | <200                            |
| 6          | 19/06/2013                 | Parede de alvenaria  | D/-2      | >0 e ≤500                       | >400                            |
| 7          | 8/07/2013                  | Pilarete nº1         | C/7º      | 0                               | >400                            |

Como tal, as causas que potencialmente levaram ao surgimento da anomalia em análise encontram-se, essencialmente, relacionadas com a absorção de água, por parte da parede, proveniente da rotura da tubagem do sistema *sprinkler's*, (C – A.H.1.) presente no piso -2. Poder-se-á verificar, através da Figura: 4.37, que as manifestações de eflorescências apenas ocorreram nos locais próximos da permanência acumulada de água (evidenciado pelas manchas de pavimento). Como tal, para além das causas referidas na anomalia A.4.(1) (excetuando-se (C - A.P.3., C - A.U.1.)), considerou-se, igualmente, a ausência de manutenção/conservação do sistema *sprinkler's* (C –A.U.2.).

As anomalias A.3.(1), A.7.(1) surgiram num local específico, do piso -1, particularizado pela presença de um teor de água elevado (5% a 8%). Como tal, crê-se que tal facto seja associado à permanência prolongada de água (proveniente da rotura de tubagens do sistema *sprinkler's*) (C – A.H.1.), evidenciando o humedecimento do suporte (C – A.E.3.), que consequentemente proporciona a perda de aderência da película de tinta ao suporte (manifestado através do destacamento e

empolamento da película de tinta). Contudo, a qualidade e as características dos materiais utilizados (C – A.E.5. e C – A.E.6.) também foi considerada como uma potencial causa para a evidência de tais anomalias.



**Figura 4.37** - Representação das manchas de água no pavimento, próximas dos locais de ocorrência da anomalia A.4.(2).

O local de ocorrência da anomalia **A.8.(1)** é caracterizado pela presença elevada de teor de humidade (C – A.E.3.) (8% a 10%), possivelmente proveniente da permanência prolongada de água (C – A.H.1.). As restantes causas associadas a tal anomalia relacionam-se com a degradação dos materiais (C – A.E.5.), assim como pelas possíveis ações de choque (C - A.U.3.).

Relativamente à anomalia **A.11.(1)** (**Fig. 4.30**), detetou-se no local um teor de humidade moderadamente elevado (5 a 6%), crendo-se que seja devido à passagem de água do terreno envolvente, dos muros de suporte para as paredes de alvenaria (C - A.P.3., C – A.E.1.), evidenciando o humedecimento progressivo do suporte (C – A.E.3.). Não obstante a tais factos, o envelhecimento natural (C – A.A.5.), assim como a inadequação (C – A.E.7.) e a qualidade dos materiais aplicados (C – A.E.5.).

#### **4.4.1.3.2 ANOMALIAS GRUPO G.**

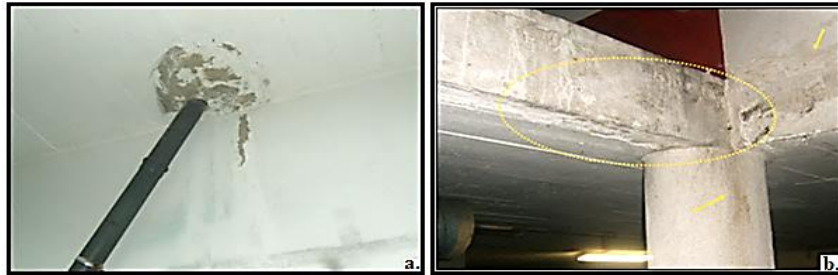
Respeitante à anomalia **G.2.(1)** (**Fig. 4.38a**), foi observada num local bastante específico, na proximidade de uma canalização de drenagem de águas residuais. Como tal a principal causa associada a tal anomalia é a presença de água na laje de betão armado, devido a uma possível rotura da canalização (C – G.H.1., C – G.U.1.). Tal facto evidencia manifestações cíclicas de períodos secos e molhados (C – G.A.1.) do local considerado, proporcionando a perda de aderência entre o revestimento de tinta aplicado e o seu respetivo suporte (laje de betão armado).

A ocorrência **G.3.(2)** evidenciou-se num pilar extremamente próximo do local de ocorrência da anomalia **A.4.(2)**, proporcionando, possivelmente, idênticas causas de desencadeamento (C – G.H.1.). Como tal, e devido à permanência significativa de água nestes locais suscitou o aparecimento de eflorescências de cor branca. Na **Figura: 4.38b** poder-se-á observar, igualmente, as marcas de escorrência de água no pilar considerado. Em circunstâncias semelhantes, a inexistência de uma manutenção periódica (extração da água no pavimento) (C – G.U.1.), assim como as condições insuficientes de ventilação do local (C – G.U.2.), proporcionaram o agravamento da anomalia em análise.

A anomalia **G.6.(1)** encontra-se num local da laje do teto do piso -3, maioritariamente enodado devido à infiltração de água, provinda, possivelmente, da rotura da canalização do sistema de distribuição *sprinkler's* (C – G.H.1.). De facto a permanência da água presente na laje do teto,

proporcionou a dissolução do hidróxido de cálcio (constituente do betão), devendo-se à lixiviação do betão armado.

O fenómeno de lixiviação é definida como sendo a dissolução e o arrasto do hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Alves, 2012 citando Sartorti, 2008). Esta cal dissolvida, ao chegar na superfície do betão armado será carbonatada pelo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, tendo como consequência o aparecimento de estalactites (**Fig. 4.39a**), com dimensões entre os 0,03 e os 0,08m, que evidenciam os locais de passagem de água.



**Figura 4.38** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.2.(1); b. Ocorrência da anomalia G.3.(1).

Porém, para além da formação de estalactites, a permanência de água na laje de betão armado, proporciona a decomposição de outros hidratos presentes no cimento, aumentando, progressivamente, a porosidade do material de betão armado, e diminuindo, conseqüentemente, a resistência do mesmo. Em circunstâncias semelhantes, a inexistência de uma manutenção periódica (à canalização da drenagem de águas residuais) (**C – G.U.1.**), assim como os ciclos secos e molhados (**C – G.A.1.**), proporcionaram o agravamento da anomalia em análise.



**Figura 4.39** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.6.(1); b.; c. Ocorrências da anomalia G.7.(1).

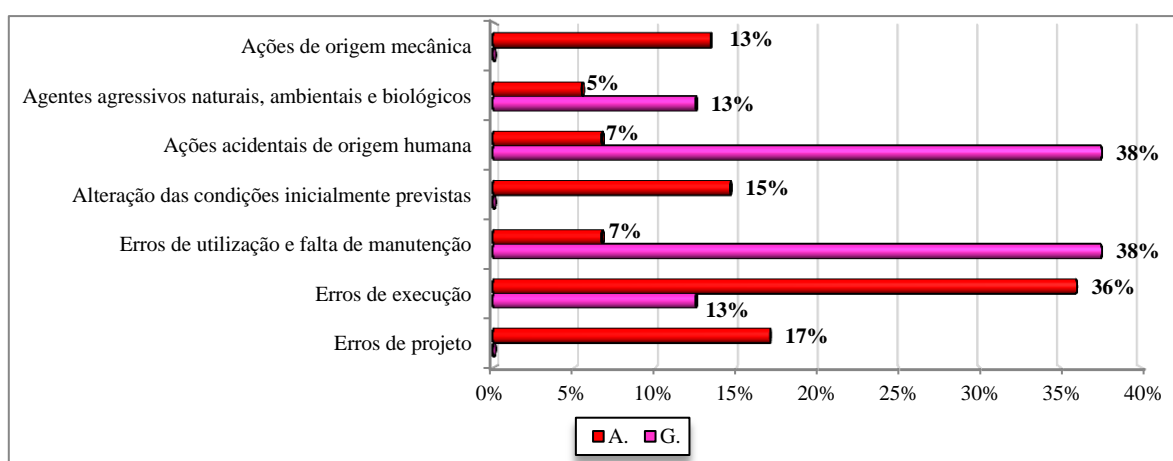
Nos casos das juntas de dilatação, estes elementos devem permitir os movimentos da estrutura sem que se danifiquem os elementos da construção adjacentes. Como tal, o nível de gravidade a atribuir às juntas de dilatação dependerá, diretamente, do nível de gravidade das anomalias evidenciadas (Marques, 2012). Por consequência, a anomalia **G.7.(1)** advém da inexistente colocação de mastique, assim como de outros materiais propícios ao correto funcionamento em locais de junta de dilatação (**C – G.E.1.**). Na **Figura: 4.39b** e **4.39c** poder-se-á observar infiltrações de água em locais de realização de junta de dilatação.

#### 4.4.1.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS ANOMALIAS COM AS POSSÍVEIS CAUSAS

Tendo em conta o que foi mencionado em §4.4.1.3, as matrizes de correlação da totalidade das anomalias evidenciadas com as possíveis causas associadas encontram-se no **Anexo 2.I.**

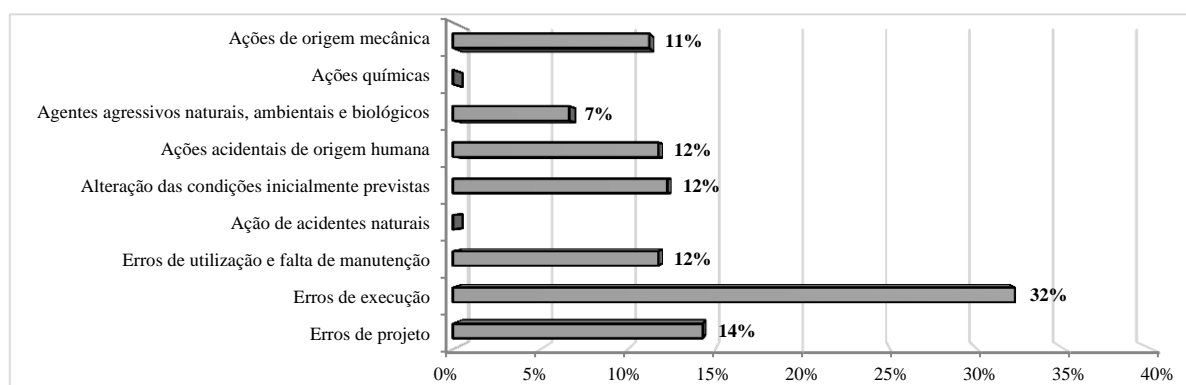
#### 4.4.1.5 RESULTADOS FINAIS

Tendo em conta os valores da **Figura: 4.40**, poder-se-á verificar que as anomalias evidenciadas do grupo A. surgiram, essencialmente, devido a erros da fase de execução (36%), em contraste com os efeitos provocados pelos agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (5%). Relativamente às anomalias do grupo G., foram suscitadas, fundamentalmente, devido às ações de acidentes de origem humana (38%) e a erros ocorridos na fase de utilização e pela falta de manutenção (38%). Porém, os erros na fase de projeto, as ações de origem mecânica e as potenciais modificações nas condições inicialmente previstas não foram associados às anomalias do grupo G..



**Figura 4.40** - Contribuição de cada um dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias dos grupos A. e G..

Como tal, poder-se-á admitir (**Fig. 4.41**) que a generalidade das anomalias evidenciadas no grupo de pisos em análise encontra-se associada a erros surgidos na fase de execução (32%), ao contrário da influência de ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos, as quais foram associadas cerca de 7% das ocorrências anómalas. Porém as ações químicas e as ações provenientes de acidentes naturais não foram associadas a nenhuma ocorrência anómala.



**Figura 4.41** - Contribuição das causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no primeiro grupo de pisos.

#### 4.4.2 GRUPO II – RÉ-DO-CHÃO E PRIMEIRO PISO

O segundo grupo de pisos é constituído pelo rés-do-chão e pelo primeiro piso (**Anexo 1.II**). Devido aos efeitos nocivos ocorridos pela inundação no primeiro piso, evidenciou-se altos níveis de degradação em materiais e elementos construtivos nos pisos em análise.

#### 4.4.2.1 AVALIAÇÃO DETALHADA, CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS

Nos dois pisos em análise evidenciou-se seis tipos de anomalias. Porém a maioria das ocorrências surgiram devido à inundação ocorrida em 2010, causando a inutilização de revestimentos de madeira, assim como a progressiva degradação de outros revestimentos empregues. Como tal, analisando, primeiramente, o rés-do-chão, foram observadas cerca de 54 anomalias distribuídas por seis grupos de anomalias (A., B., C., D., G., H.). Relativamente às anomalias do grupo A., foi observada uma evidência de fissuração (A.1.(6)), surgida a partir de um canto de uma porta interior (Fig. 4.42), na zona B, assim como manifestações de fissurações com configuração mapeada (A.2.(1)), na zona L.



Figura 4.42 - Ocorrência de algumas anomalias A.1. no rés-do-chão e no primeiro piso: a. Anomalia A.1.(6); b.; c. Anomalia A.1.(9).

Por sua vez, na zona K e J (zonas fortemente afetadas pela inundação) evidenciou-se manifestações de eflorescências (A.4.(3)), assim como empolamentos de tinta (A.7.(2)) em paredes interiores. Por fim, nos tetos de algumas instalações sanitárias foi observado a existência de manchas de infiltração (A.10.(1)), e numa parede de alvenaria posterior, na zona L, observou-se espectros fantasmas interiores (A.6.(1)), pouco acentuados.

Relativamente a anomalias em revestimentos de *parquet* de madeira de pavimentos interiores nas zonas C, E, F, G, M, L, H e I, foram observadas quatro tipos de anomalias (B.1.(1) (Fig. 4.43), B.2.(1), B.4.(1), B.5.(1)), onde, numa primeira análise, a totalidade das anomalias surgiram devido à presença prolongada da água da inundação, em tais revestimentos.



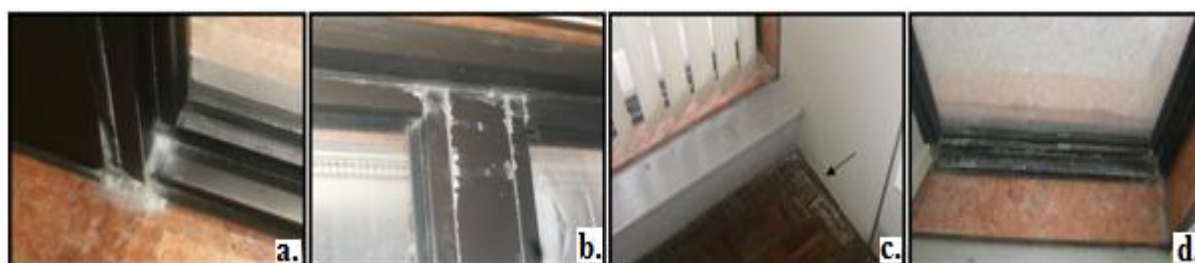
Figura 4.43 - Ocorrências de anomalias B.1.(1) no rés-do-chão e no primeiro piso.

No grupo de anomalias C. e H., apenas foram observadas manifestações de eflorescências de cor branca sobre a superfície dos mesmos, em instalações sanitárias (H.1.(1)), ou em locais de circulação comum (C.1.(1)) (Fig. 4.44). Por fim, evidenciou-se três tipos de anomalias em pilares de betão armado (G1.(1), G.2.(2). e G.3.(2)) (nos pilares nº 1, 4, 5, 7, 8 e 9), e dois tipos de anomalias em revestimento de caixilhos exteriores (D.2.(1) e D.4.(1)).



**Figura 4.44** - Ocorrência de anomalias C.1.(1) no rés-do-chão e no primeiro piso.

Relativamente ao primeiro piso, contabilizou-se cerca de 53 anomalias, onde o tipo de manifestações anómalas é bastante semelhantes ao piso anteriormente analisado, excetuando as ocorrências de anomalias evidentes em revestimentos de caixilhos exteriores de alumínio (D.2.(1), D.3.(1), D.4.(1)) (Fig. 4.45), presentes na fachada frontal e posterior do edifício.



**Figura 4.45** - Anomalias do grupo D. no rés-do-chão e primeiro piso: a.;b. D.2.(1); c. D.3.(1); d. D.4.(1).

As fissurações definitivas (A.1.) caracterizam-se pela sua diversidade, tendo em conta a existência de três tipos desta anomalia, no piso em questão. Como tal, observou-se uma fissuração totalmente vertical (A.1.(7)) (Fig. 4.46), na zona T, assim como uma fissuração horizontal (A.1.(8)) manifestada em toda a extensão dos compartimentos das zonas Q, R e S e uma fissuração inclinada (A.1.(9)), situada a baixo da escada metálica, na zona V (Figs. 4.42b, 4.42c).



**Figura 4.46** - Ocorrência da anomalia A.1.(7).

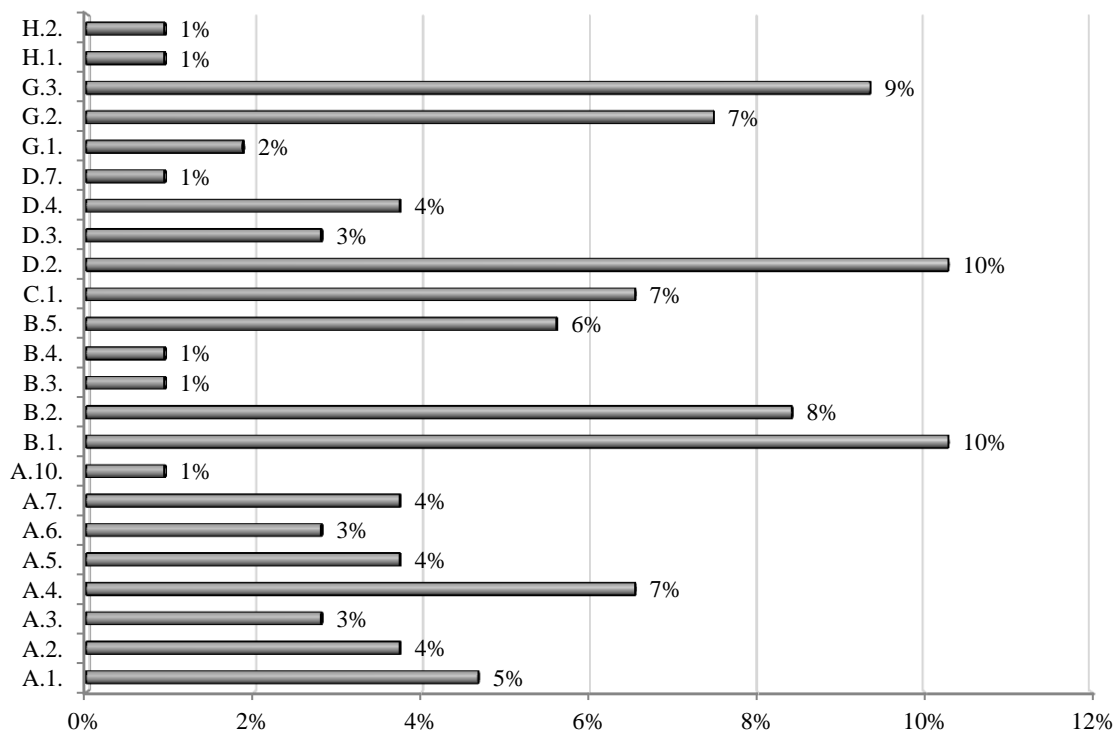
Relativamente às restantes anomalias do grupo A., evidenciou-se na zona V (numa parede orientada a sul), ocorrências de anomalias A.2.(1), A.3.(2), A.4.(4), e A.7.(3), e as eflorações A.4.(3) e empolamentos de tinta A.7.(2) foram observadas em paredes interiores, nas zonas T.

Por fim, importará referir as manifestações de espectros fantasmas (**A.6.(1)**) (com um efeito acentuado em relação ao rés-do-chão) e o destacamento de reboco em paredes exteriores (**A.5.(1)**).

As anomalias do grupo B., C. e H. do primeiro piso, são idênticas às do rés-do-chão, excetuando-se as manifestações de desgaste prematuro e acentuado (**B.3.(1)**) e a ocorrência de fissurações em revestimentos cerâmicos exteriores (**H.2.(1)**), na zona U. Por fim, verificou a ocorrência de eflorescências e de destacamentos de pintura (**G.2(2)** e **G.3.(2)**), nos pilares nº 3 e 4.

Dadas as circunstâncias de aparecimento de anomalias com as mesmas características de manifestação mas em elementos construtivos diferentes e/ou com causas/origens possivelmente divergentes (**A.4., A.7.**), ou com diferentes configurações (**A.1.**), decidiu-se avaliá-las separadamente (em §4.4.2.3.1), em que a sua identificação encontra-se no **Quadro 4.26**.

Como tal, constatou-se a totalidade de 107 anomalias, onde as anomalias do tipo **B.1.** e **D.2.** são as mais frequentes (10%), em oposição às anomalias **A.10., B.3., B.4., D.7., H.1., H.2.**, possuindo cerca de 1% de frequência de observação, cada uma. Através da **Figura: 4.47**, poder-se-á verificar a significativa diversidade de ocorrências anómalas, no grupo de pisos considerado, onde em certas circunstâncias, a frequência de ocorrência de diferentes tipos de anomalias são equivalentes (dando como exemplo as anomalias **D.3., A.6., A.3.** possuindo cerca de 3%, e as anomalias **A.2., A.5., A.7., D.4.** possuindo cerca de 4% de frequência de observação).



**Figura 4.47** - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no rés-do-chão e do primeiro piso.

Relativamente à classificação das anomalias tendo em conta o grau de degradação (**Anexo 2.II**), a anomalia que evidencia prioridade máxima de reparação/intervenção é a degradação do revestimento de caixilhos exteriores de alumínio (**D.2.**), devido à progressiva deterioração dos materiais e elementos construtivos próximos da envolvente exterior, provinda das frequentes infiltrações de água ocorridas nos mesmos. Por sua vez, as anomalias dos grupos A., B., C., H. caracterizam-se pela mínima e

pequena prioridade de intervenção. Por fim, o grupo das anomalias G. possui anomalias com prioridade mínima de reparação/intervenção (G.2. e G.3.), como também, uma anomalia com grande prioridade de intervenção (G.1.) (Fig. 4.48).

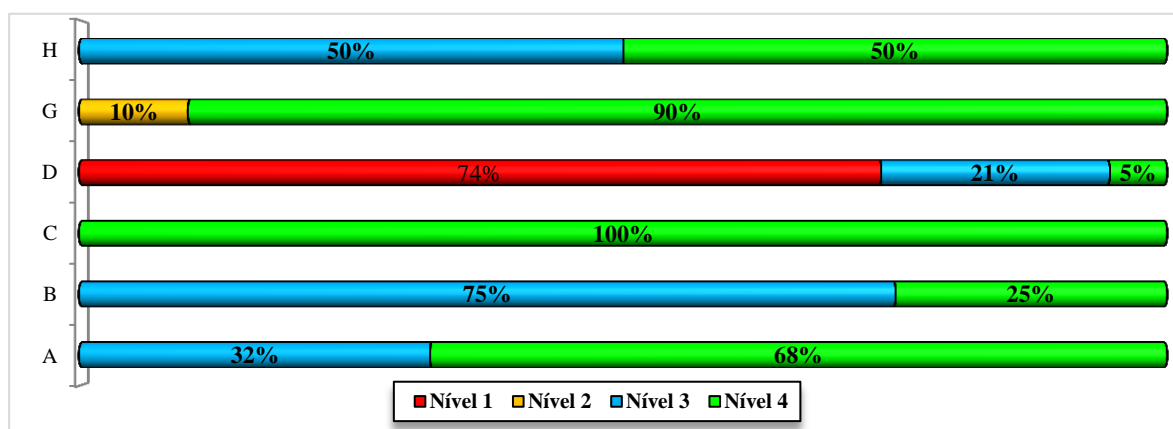


Figura 4.48 - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no rés-do-chão e primeiro piso.

Quadro 4.26 – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no piso do rés-do-chão e no primeiro piso.

| Grupo de anomalia | Identificação do tipo de anomalia |  | Quantificação de observação |
|-------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Grupo A.          | A.1.(6)                           | Fissuração inclinada em canto de porta interior.                           | 1                           |
|                   | A.1.(7)                           | Fissuração vertical.   | 1                           |
|                   | A.1.(8)                           | Fissuração horizontal.   | 2                           |
|                   | A.1.(9)                           | Fissuração inclinada sob a escada metálica.                                | 1                           |
|                   |                                   | A.2.(1)  | 4                           |
|                   |                                   | A.3.(2)  | 3                           |
|                   | A.4.(3)                           | Eflorescências em paredes de alvenaria interiores.                         | 2                           |
|                   | A.4.(4)                           | Eflorescências em paramento interior de uma parede exterior.               | 5                           |
|                   |                                   | A.5.(1)  | 4                           |
|                   |                                   | A.6.(1)  | 3                           |
|                   | A.7.(2)                           | Empolamento de película de tinta em paredes de alvenaria interior.         | 2                           |
|                   | A.7.(3)                           | Empolamento de película de tinta em paramento interior de parede exterior. | 2                           |
|                   |                                   | A.10.(1)   | 1                           |
| Grupo B.          |                                   | B.1.(1)  | 11                          |
|                   |                                   | B.2.(1)  | 9                           |
|                   |                                   | B.3.(1)  | 1                           |
|                   |                                   | B.4.(1)  | 1                           |
|                   |                                   | B.5.(1)  | 6                           |
| Grupo C.          |                                   | C.1.(1)  | 7                           |
| Grupo D.          |                                   | D.2.(1)  | 11                          |
|                   |                                   | D.3.(1)  | 3                           |
|                   |                                   | D.4.(1)  | 4                           |
|                   |                                   | D.7.(1)  | 1                           |
| Grupo G.          |                                   | G.1.(1)  | 2                           |
|                   |                                   | G.2.(2)  | 8                           |
|                   |                                   | G.3.(2)  | 10                          |
| Grupo H.          |                                   | H.1.(1)  | 1                           |
|                   |                                   | H.2.(1)  | 1                           |

#### 4.4.2.2 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS

Neste grupo de pisos em análise, realizaram-se apenas seis tipos de técnicas/meios de diagnóstico. A maioria das circunstâncias de anomalias privilegiou-se a utilização do humidímetro (TD-2-ND-1),

assim como a do termómetro (TD-2-ND-5). Em certas circunstâncias de eflorescências em paredes (A.4.) e em pilares (G.3.) recorreu-se à realização de amostras, para posterior análise laboratorial, através das fitas colorimétricas (TD-3-IPS-1), e na totalidade de ocorrências de fissurações A.1. usou-se TD-1-AVA-1. Por fim, a técnica de termografia (TD-2-ND-2) foi utilizada em certas situações de anomalia A.6. e G.3. Contudo em cinco anomalias (A.10., B.3., B.5., D.2., D.3., D.4. e D.7. e H.2.) não foram realizadas técnicas específicas de diagnóstico, utilizando-se, apenas, o meio de inspeção visual para o possível diagnóstico das mesmas.

#### 4.4.2.3 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS ANOMALIAS

##### 4.4.2.3.1 ANOMALIAS GRUPO A.

Iniciando a avaliação da anomalia A.1.(6) (Fig. 4.42a), constatou-se uma fissuração, pouco acentuada, com uma inclinação entre os 75° a 80°, surgida a partir do canto de uma porta interior do rés-do-chão. Tal ocorrência apresenta uma largura de fissuração entre os 0,20 a 0,30 mm (Quadro 3.11), com uma extensão de 0,18 m, onde o paramento apresenta um baixo valor de teor de humidade, cerca de 0,70% a 0,75%. A fissuração em análise caracteriza-se pela sua superficialidade, onde no decorrer das inspeções efetuadas não se verificou qualquer alteração no alinhamento, rugosidade ou até mesmo na dimensão de largura da mesma. Como tal, poder-se-á admitir que a fissuração encontra-se estabilizada.

Assim sendo, crê-se que a causa possível para o surgimento da anomalia analisada seja o acréscimo de cargas atuantes na parede (C – A.C.1.), provocando uma deformabilidade excessiva da estrutura de suporte em questão (C – A.P.2.). A concentração excessiva de cargas, em especial nas paredes não estruturais, devido a cargas estáticas exteriores e verticais como apoio transversal de vigas na parede ou a suspensão de equipamentos pode provocar fendilhações (Leal, 2009). Tais factos surgem em consequência de uma redução da secção resistente da parede (devido à existência da abertura da porta), evidenciando concentrações excessiva de tensões (C – A.M.2.), junto das zonas de esquinas do vão de porta.

Por sua vez, os efeitos de um possível sismo (C – A.N.1.), assim como a utilização de técnicas construtivas inadequadas (C – A.E.1., C – A.E.5., C – A.E.13.) e ações e choque (C – A.U.3.) foram considerados como potenciais causas ambíguas da anomalia em análise, tendo em conta as suas configurações (Quadro 2.2 e Quadro 2.6), devendo-se essencialmente às divergentes capacidades de deformação das vigas de betão armado e da parede de alvenaria. No entanto, as possíveis movimentações higroscópicas (C – A.M.3.) dos distintos materiais presentes na parede interior (viga de betão armado e parede de alvenaria) também foram consideradas causas ambíguas na presente avaliação de diagnóstico.

Relativamente à fissuração vertical A.1.(7) (Fig. 4.46), constatou-se uma largura superficial entre os 0,35 mm e os 0,40mm, não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocamentos e de alinhamentos ao longo da extensão das fissuras evidenciadas (cerca de 3,0 m). Relativamente à análise de resultados provindos da medição do teor de humidade, foram constatados valores entre os 0,80% e os 0,90%, evidenciando, desta forma, a ausência de humidade neste

paramento em avaliação. Será importante referir que tal anomalia é bastante semelhante à anomalia A.1.(3)(anomalia do Grupo I) (**Fig. 4.29a**), devendo-se essencialmente à configuração da mesma.

Assim sendo, admitiu-se que as possíveis causas da anomalia referida encontram-se relacionadas com a deformabilidade excessiva da estrutura de suporte (**C- A.P.2.**) ou com o aumento das cargas distribuídas uniformemente no segundo piso (**C- A.C.1.**), devendo-se essencialmente à configuração de fendilhação associada (**Quadro 2.7** e **Quadro 2.6**). Tais fenómenos proporcionam o surgimento de tensões de compressão (**C – A.C.2.**), assim como a concentração das mesmas no suporte (**C – A.M.2.**). Porém, tal ocorrência também poderá estar fortemente associada a movimentações higroscópicas (**C – A.M.3.**) (**Quadro 2.6**), e térmicas (**C – A.M.4.**).

A fissuração horizontal **A.1.(8)** (**Fig. 4.49**) é observada em toda o comprimento da parede exterior nascente, das zonas S e R, cerca de 0,15m abaixo do peitoril da janela, apresentando uma extensão total de cerca 7,40 m. Contudo não foi considerado tal fenómeno na zona Q, devido ao seu insignificante destaque. Tal anomalia apresenta uma largura entre os 0,20mm e 0,60 mm (**Quadro 3.11**), não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocações e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Relativamente aos teores de humidade medidos, adquiriu-se valores entre os 2,90% e os 4,80%, onde as temperaturas médias obtidas encontram-se entre o 27° e o 29°. Contudo os teores de humidade mais elevados e as temperaturas mais baixas foram observados nos locais da parede de alvenaria acima da referida fissuração.



**Figura 4.49** - Ocorrência da anomalia A.1.(8) no primeiro piso.

Como tal, crê-se que esta ocorrência tenha surgido devido à transição de diferentes materiais (**C – A.P.8.** e **A – A.E.9.**), visto que na parte superior da fissuração utilizou-se tijolos maciços com 0,30 m de largura, e na parte inferior utilizou-se dois panos de tijolos cerâmicos furados (pano interior com espessura de 7cm e pano exterior com 7 ou 9 cm). Como já referido em §4.3.4.1.2, a fendilhação ao longo da ligação entre materiais diferentes revestidos em continuidade deve-se às diferentes características dos materiais implicados, que por si só levará a movimentos (**C – A.M.3.** e **C – A.M.4.**) e a deformações divergentes, quando sujeitos a ações térmicas (**C – A.A.1.**), higrométricas (**C – A.A.2.**) ou até eventualmente de carregamento. Semelhante ao ocorrido na anomalia A.1.(2) (do grupo de pisos I), devido à inexistência de utilização de técnicas e/ou medidas construtivas (**A – A.P.1.** e **A – A.E.1.**) (tendo como principal finalidade atenuar o efeito das tensões impostas nos locais de junção), a fissuração em avaliação acabou por se manifestar em toda a amplitude da parede exterior, em questão.

Respeitante à fissuração **A.1.(9)** (**Fig. 4.42b, 4.42c**), encontra-se numa parede exterior orientada a sul, no primeiro piso, possuindo uma largura média entre 0,25 mm e os 0,40 mm (**Quadro 3.11**), apresentando uma ligeira rugosidade no início da fissuração (próximo da escada metálica), onde tal efeito tem tendência a atenuar-se ao longo da sua extensão (**Fig. 4.42c**) (cerca de 1,0m de dimensão).

Ao longo das inspeções realizadas, não se verificou nenhum indício de deslocamentos ou de modificações de alinhamentos da fissura em análise, onde se alcançou teores de humidade relativamente elevados (entre os 2% a 6%), derivados, provavelmente, da ocorrência de infiltração de água (visíveis escorrências de água na parede na **Figs. 4.42b, 4.42c**), proveniente do lanternim presente no mesmo local (Zona V).

Como tal, pensa-se que a instalação dos apoios da escada metálica, na parede em questão, tenha desencadeado a anomalia em avaliação, ao proporcionar-se técnicas construtivas não planeadas ou inadequadas (**C – A.P.1.** e **C – A.E.1.**) na aplicação da mesma. Em circunstâncias semelhantes, a circulação de pessoas, na referida escada, proporciona um aumento de cargas atuantes (**C - A.C.1.**) (provavelmente não planeado inicialmente), assim como eventuais ações de choque (**C – A.U.3.**) e movimentações bruscas (**C – A.C.3.**). Porém, devido às condições de exposição da referida parede, considerou-se as possíveis movimentações higroscópicas e térmicas (**C – A.M.3.** e **C – A.M.4.**) ocorridas no local de junção entre os dispositivos de apoio da escada metálica e a parede de alvenaria.

A totalidade das ocorrências de fissurações mapeadas **A.2.(1)** (**Figs. 4.50a, 4.50b**) em revestimentos de tinta, no referido grupo de pisos, é caracterizada pela irregularidade de orientação, de definição e de largura (entre 0,10mm e 0,20 mm). Tais ocorrências evidenciaram-se bastante superficiais, não apresentando qualquer tipo de rugosidade associada, onde foram observadas em locais inferiores de paramentos, quer de paredes interiores (rés-do-chão), como de paredes exteriores (primeiro piso).



**Figura 4.50** – Representação de algumas anomalias no primeiro piso: a.; b. - Ocorrências da anomalia A.2.(1); c. Ocorrência da anomalia A.5.(1).

O surgimento das anomalias em análise advém, essencialmente, da presença excessiva de humidade no suporte aplicado (**C – A.E.3.**) proveniente da absorção, por parte da parede, de água da inundação ocorrida (**C – A.H.1.**). Tal facto é comprovado através dos teores de humidade moderadamente elevados (entre 4% a 8%). Como tal, o processo de retração (**C – A.M.1.**) desencadeia-se, devido às sucessivas variações de temperatura (**C – A.A.1.**) e de humidade (**C – A.A.2.**) ocorridas, sucedendo, possivelmente, movimentações higroscópicas (**C – A.M.3.**) no suporte aplicado. Porém, a presença de excesso de água na argamassa aplicada (**C – A.E.12.**), durante a execução, também foi tida em conta, na avaliação do diagnóstico em questão.

No que diz respeito às anomalias **A.3.(2)**, **A.4.(4)** e **A.7.(3)**, foram observadas num local bastante particular da zona V, mais concretamente na parede exterior orientada a sul (**Fig. 4.51**) (já anteriormente referida nas situação de anomalia A.1.(9)).

Tal parede foi verdadeiramente degradada, devido à presença de água de precipitação (**C – A.E.8.**), proveniente das significativas e recorrentes infiltrações no lanternim (**Fig. 4.52b, 4.52c**). Na realidade, ao analisar o paramento exterior da parede em análise (**Fig. 4.52a**), existe evidências de escorrências

de água a partir do lanternim (devido à utilização de técnicas de execução inadequadas), onde a distância desde da porta até tais anomalias é cerca de 1,20 (distância coincidente com a zona degradada do paramento interior da parede de alvenaria em avaliação). Tendo em consideração os métodos de diagnóstico utilizados (câmara termográfica (**Fig. 3.28**), termómetro e higrómetro), constatou-se uma temperatura média elevada (cerca de 28,5°) (devendo-se à orientação da dita parede), assim como teores de humidade entre os 3% e os 13%.

Assim sendo, os principais fatores que desencadearam o destacamento e empolamento de tinta (**A.3.(2)** e **A.7.(3)**) encontram-se associados à presença excessiva de água no suporte (**C – A.A.6.**), devido à inexistência de trabalhos de reparação/manutenção do lanternim (**C – A.U.2.**). Com a existência de teores de humidade elevados no suporte (**C – A.E.3.**), proporcionar-se-á a perda de aderência entre o revestimento final (película de tinta) e o reboco aplicado, manifestado pelo destacamento parcial ou completo do revestimento.



**Figura 4.51** - Ocorrência das anomalias A.3.(2), A.4.(4) e A.7.(3) no primeiro piso.

Por sua vez, a aplicação de tintas inadequadas (**C – A.E.7.**) face às condições expostas (derivado das variações de humidade no reboco (**C – A.A.2.**) ou devido à exposição de temperaturas elevadas) foram igualmente consideradas no presente diagnóstico. Porém, no caso da anomalia **A.7.(3)**, ainda foi considerada a possível aplicação de tintas com insuficiente permeabilidade ao vapor de água (**C – A.E.6.**) (proveniente da retração do reboco), assim como a possível preparação inadequada do suporte no acto de execução (**C – A.E.10.**). Será importante referir que a expansão dos sais solúveis (na

composição dos materiais utilizados) durante o processo de cristalização (C – A.E.11.) levará ao primórdio de empolamentos na película de tinta.

Após o humedecimento dos materiais, derivado da presença de humidade de precipitação, proporciona-se a dissolução e cristalização dos sais sob ou sobre a camada de revestimento final (criptoflorescências e eflorescências, respetivamente). De facto é visível (Fig. 4.51) na parede em questão, a ocorrência de fissurações (devido a fenómenos de retração), assim como manchas esbranquiçadas na superfície do reboco exposto (eflorescências), e presença de sais sob a camada de tinta (criptoflorescências). Como tal para além da associação das causas anteriormente referidas (C – A.E.3., C – A.E.8., C – A.E.11., C – A.U.2., C – A.A.2.), as condições insuficientes de ventilação e de aquecimento (C – A.U.1.), evidenciadas na zona V, possuem um carácter decisivo para a evolução dos efeitos anómalos considerados.



Figura 4.52 - a. Paramento exterior da parede de alvenaria degradada; b. Representação das degradações manifestadas pela infiltração de água através do lanternim; c. Degradação exterior do lanternim.

As eflorescências (Fig. 4.53b) e os empolamentos (Fig. 4.53c) localizados em paredes de alvenaria interiores (A.4.(3) e A.7.(2) ), foram desencadeadas, essencialmente, devido à inundação sucedida nos dois pisos em análise (C – A.H.1.). Tal facto desencadeia a ocorrência de teores de humidade elevados no suporte, entre os 5% e os 15%, (devido à absorção de água por parte das paredes de alvenaria (Fig. 4.53a)) proporcionando a dissolução e cristalização de sais constituintes dos materiais aplicados (C – A.E.11.) ou de sais derivados da composição da  gua. Através da elaboração do ensaio das fitas colorimétricas, na amostra 4, obteve-se concentrações ligeiramente moderadas de sulfatos (> 400mg/l) e reduzidas de iões cloretos (>0 mg/l e < 500 mg/l) (Quadro 4.25). Tal como referido anteriormente, na situação de ocorrência A.7.(3), considerou-se a provável aplicação de tinta com insuficiente permeabilidade de vapor de água (desencadeando assim a forma avolumada da película de tinta). Porém, será importante referir que as condições insuficientes de aquecimento e de ventilação (quer por negligência dos utentes (C – A.U.1.), quer por inexistência no projeto (C – A.P.6.)) são fulcrais para o desenvolvimento das eflorescências A.4.(1).



Figura 4.53 – Representa o de anomalias: a.; b. Ocorrência de anomalias A.4.(3); c. Ocorrência de anomalias A.7.(2).

Relativamente à ocorrência da anomalia **A.5.(1)** (**Fig. 4.50c**) manifestou-se de paredes exteriores nas zonas S, R e Q, do primeiro piso. Tal situação é consequência da insuficiente capacidade de vedação, por parte dos caixilhos exteriores (**C – A-U-2.**), assim como de fissurações na pedra mármore de peitoris. Na realidade a permanência de teores elevados de humidade (**C – A.E.3.**) (entre os 6% e os 16%), derivado da ação da água de precipitação (**C – A.E.8.**), acabou por desencadear o destacamento do revestimento final aplicado (tinta), assim como a perda de aderência entre as camadas do reboco aplicado, em que na maioria das situações a camada de acabamento separa-se das restantes camadas de suporte.

As anomalias **A.6.(1)** foram observadas quer no rés-do-chão (na zona L), como no primeiro piso (na zona V). Porém tais ocorrências possuem efeitos mais acentuados no primeiro piso. Tal como referido em **§2.5.1.1.1.4**, o aparecimento dos espectros fantasmas interiores proporcionam-se devido à existência de diferentes pontes térmicas entre os tijolos furados e as juntas de argamassa, em que os efeitos são mais frequentes em paredes orientadas a norte. Como demonstrado através dos ensaios termográficos e da utilização do termómetro, na generalidade das paredes, a temperatura dos tijolos cerâmicos (28,8°) é ligeiramente superior à das juntas de argamassa (28,0°), devendo-se essencialmente à presença de divergentes coeficientes de condutibilidade térmica. Tal facto irá proporcionar o aumento de humidade de condensação nos locais de juntas de argamassa, evidenciando-se, desta forma, as marcas de cor escura (**Fig. 4.54**), nestes locais particulares.



**Figura 4.54** - a. Ocorrência de anomalia A.6. no Grupo I de pisos: a. Em parede nascente do rés-do-chão; b. Em parede exterior norte, do primeiro piso; c. Em parede exterior sul, do primeiro piso

Contudo será importante referir que se evidenciou, tal anomalia, numa parede orientada a norte, a sul e a nascente, onde a parede direcionada a norte encontra-se caracterizada pela acentuação dos efeitos dos espectros (devido à diminuição de temperatura existente). A média de teor de humidade medido, na generalidade das paredes avaliadas é cerca de 4,5%, onde a parede orientada a norte (**Fig. 4.54b**) é caracterizada pelo teor de humidade mais elevado (6%). Como tal, a anomalia em análise surgiu, essencialmente, à ocorrência de humidade de condensação (**C – A.P.4** e **C – A.A.6.**), agravada pela inexistência de isolamento térmico (**C – A.P.5.**), no interior da caixa-de-ar, assim como pela incorreta conceção das referidas paredes (**C – A.P.1.**). Por sua vez, as variações térmicas (**C – A.A.1.**) e higroscópicas (**C – A.A.2.**), assim como a inexistência de ventilação (**C – A.P.6.**) e de aquecimento (**C – A.U.1.**) proporcionam o agravamento dos efeitos dos espectros de juntas interiores. Contudo, a possível aplicação de revestimento, com uma espessura reduzida (**C – A.E.13.**), poderá acentuar ainda mais os efeitos da referida anomalia.

Por fim, foram evidenciadas manchas de humidade (infiltração de água) em tetos (Fig. 4.55) de instalações sanitárias, no rés-do-chão, encontrando-se no nível inferior ao local de deposição de aparelhos de ventilação das caves (local exterior, sem cobertura). Como tal, poder-se-á admitir que as possíveis infiltrações de água nos paramentos interiores de tetos advêm da passagem de água através das fissurações ocorridas nos revestimentos cerâmicos (C – A.P.2., C – A.E.3., C – A.U.2. e C – A.C.1.) (Fig. 4.62c), empregues no pavimento da instalação especial (localizada superiormente às instalações sanitárias). Tal facto agrava-se com a reduzida pendente evidente no referido local (C – A.P.1.), proporcionando a permanência exagerada de água de precipitação no revestimento cerâmico (C – A.E.8.).



Figura 4.55 - Ocorrência de anomalias A.10.(1) no rés-do-chão.

#### 4.4.2.3.2 ANOMALIAS GRUPO B.

Relativamente aos revestimentos de *parquet* de madeira, em pavimentos interiores, foram evidenciadas cinco tipos de anomalias (B.1.(1), B.2.(1), B.3.(1), B.4.(1), B.5.(1)). A causa fundamental para o surgimento das anomalias B.1.(1), B.2.(1) (Fig. 4.56), B.4.(1), B.5.(1), foi a ocorrência da inundação (C – B.H.1.), evidenciada pelos teores elevados de humidade (entre os 2,4% e os 8,5%), na generalidade dos revestimentos degradados. Porém associou-se outras possíveis causas para o surgimento de tais situações anómalas. As ocorrências de destacamento do revestimento (B.1.(1)) (Fig. 4.43) poderão ter surgido devido à inadequada seleção do produto de colagem (C – B.P.1.) e da estrutura de revestimento (C – B.P.2.) (tendo em conta as condições de utilização), assim como a erros provindos da execução de aplicação e de colagem (C – B.E.1.). A inexistência ou insuficiência de trabalhos de manutenção (C – B.U.1.) também foi considerada no diagnóstico da anomalia referida.



Figura 4.56 - Ocorrências de anomalias B.2.(1).

As ocorrências de deformação e de empeno de revestimentos (B.2.(1)) encontram-se associadas à presença de água proveniente da inundação ou de infiltrações em caixilhos exteriores (C – B.U.4.)

(humidade de precipitação). De facto, devido às características de higroscopicidade (**C – B.P.3.**), a madeira tem uma grande capacidade de absorção de água o que se expressa num aumento bastante significativo do seu volume (Cruz & Aguiar, 2009). Ora esta ampliação de volume, poderá ser impedido pelas paredes interiores como pelo próprio revestimento que se encontra colado, provocando, desta forma, um acréscimo de tensões no revestimento aplicado, obtendo como efeito principal, o descolamento da base (**Fig. 4.57**). Por sua vez a inexistência de juntas perimetrais e de expansão (**C – B.E.2.**), assim como as condições de ventilação insuficientes (**C – B.U.5.**) e as variações de humidade relativa (**C – B.A.3.**) agravam os efeitos da dita anomalia.



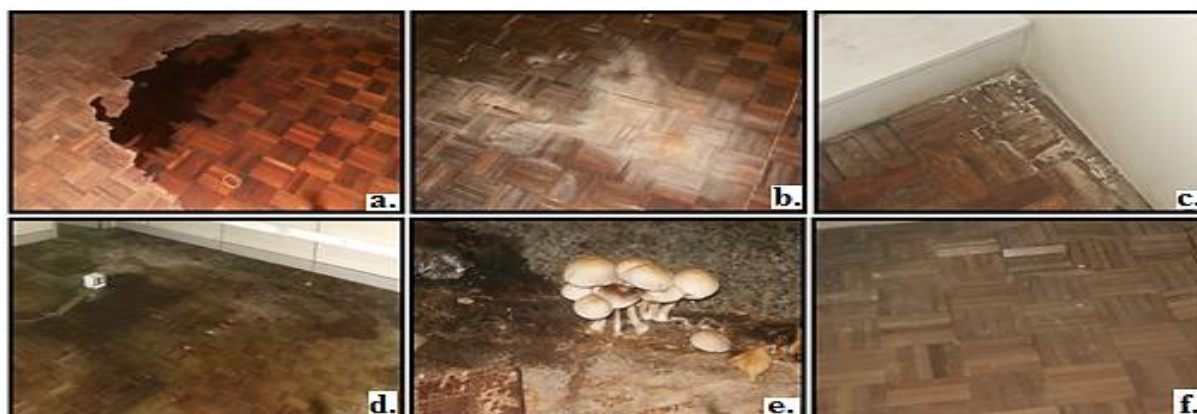
**Figura 4.57** - Representação das tensões provocadas pelo aumento de volume da madeira (Cruz & Aguiar, 2009).

Por sua vez, as anomalias **B.3.(1)** (**Fig. 4.58f**) poderão estar associadas à inadequação da estrutura de revestimento de pavimento, assim como atividades desajustadas de limpeza e de manutenção efetuadas. Respeitante à anomalia **B.4.(1)**, foi apenas observada uma situação, (num compartimento do rés-do-chão) encontrando-se associado à higroscopicidade do material utilizado (**C – B.P.3.**). Contudo as condições de ventilação (**C – B.U.5.**), e as variações de humidade relativa (**C – B.A.2.** e **C – B.A.3.**) (**Quadro 4.27**) poderão suscitar o desenvolvimento significativo de fungos. Será importante referir que o primeiro piso possui temperaturas mais elevadas e teores de humidade relativa relativamente menores, do que os observados no piso do rés-do chão (**Quadro 4.27**).

**Quadro 4.27** – Representação da medição de temperatura e da humidade relativa no segundo grupo de pisos.

| Designação dos pisos | Temperatura (°C) |        | Humidade Relativa (%) |        |
|----------------------|------------------|--------|-----------------------|--------|
|                      | Mínima           | Máxima | Mínima                | Máxima |
| Rés-do-Chão          | 22,5             | 16     | 85                    | 61     |
| Primeiro piso        | 25               | 19     | 70                    | 50     |

Por fim, a anomalia **B.5.(1)** (**Figs. 4.58a, 4.58b, 4.58c e 4.58d**) foi associada a atividades desajustadas de limpeza e de manutenção (**C – B.U.2** e **C – B.U.3.**), assim como a ação dos raios solares (**C – B.A.1.**). Porém, em circunstâncias de observação de tais anomalias próximas de paredes envolventes, associou-se a ocorrência de infiltrações providas de caixilhos exteriores (**C – B.U.4.**).



**Figura 4.58** – Representação de anomalias: a.; b.; c.; d. Ocorrências de anomalias B.5.(1); e. Ocorrência da anomalia B.4.(1); f. Ocorrência da anomalia B.3.(1).

#### 4.4.2.3.3 ANOMALIAS GRUPO C.

Relativamente à única anomalia observada do grupo C., encontra-se associada à manifestação de eflorescências na superfície de elementos pétreos (**C.1.(1)**) (granito cinza), bastante aderentes (**Fig. 4.44**). Tais fenómenos advêm da permanência prolongada de água proveniente da inundação (**C – C.H.1.**) (teores de humidade entre 2% e os 15%), ocorrida nos dois pisos considerados, a qual possibilitou a dissolução da argamassa mista (utilizada na aplicação dos revestimentos pétreos) compostas por elevados teores de cal não hidratada. Como tal, após a dissolução da cal, esta deposita-se sobre a superfície, carbonatando-se, evidenciando os depósitos esbranquiçados sobre a superfície do revestimento pétreo.

Contudo, este tipo de anomalia apresenta somente um efeito estético negativo, onde, a longo prazo, poderá evidenciar a progressão da degradação do revestimento (ao proporcionar um área menor de aderência entre o revestimento e a respetiva argamassa). Será importante referir que os insuficientes ou inexistentes trabalhos de limpeza (**C – C.U.1.**) foram, igualmente, associados ao diagnóstico em questão.

#### 4.4.2.3.4 ANOMALIAS GRUPO D.

Contatou-se cerca de quatro tipo de anomalias no revestimento de alumínio em caixilhos exteriores (**D.2.(1), D.3.(1), D.4.(1), D.7.(1)**) (**Fig. 4.45**). Porém as anomalias **D.2.(1)** e **D.4.(1)** foram observadas nos dois pisos, onde as restantes anomalias apenas foram evidenciadas no primeiro piso. As significativas ocorrências de degradação do revestimento (**D.2.(1)**) (**Figs. 4.45a, 4.45b**) foram associadas à inadequada seleção dos materiais (**C – D.P.5.** e **C – D.E.6.**), relativamente à dimensão de espessura aplicada (**C – D.P.6.**) e do grau de exposição dos mesmos (**C – D.P.4.**). Porém as atividades de limpeza impróprias sobre o revestimento (**C – D.U.1.**), e as ações de agentes biológicos (**C – D.A.1.**), naturais (**C – D.A.3.**) e ambientais (**C – D.A.2.**) foram igualmente associadas ao diagnóstico da referida anomalia.

Relativamente aos fenómenos de infiltração de água (**D.3.(1)**) (**Figs. 4.45c**), devido à deficiente impermeabilidade que os caixilhos exteriores evidenciam, foram associados à possível conceção e execução incorreta do sistema de evacuação de águas (**C – D.P.2** e **C – D.E.3.**), assim como à colocação incorreta dos caixilhos (**C – D.E.4.**, **C – D.E.5.** e **C – D.E.7.**) e à seleção incorreta dos materiais aplicados (**C – D.E.6.**), tendo em conta a utilização de materiais não certificados e /ou homologados. Porém a possível inexistência de manutenção (**C – D.U.3.**) nos elementos secundários em questão, poderão ter desencadeado a acentuação dos efeitos obtidos (destacamento de pinturas e de rebocos, destacamento e empolamento de revestimentos de pavimentos).

Relativamente à acumulação de detritos (**D.4.(1)**) (**Fig. 4.45d**), observada em calhas de caixilhos, foi associada à inadequada seleção do perfil e geometria do sistema de caixilho (**C – D.P.5.**), como também à inexistência ou insuficiência de trabalhos de limpeza (**C – D.U.3.**) e à ação agressiva biológica (**C – D.A.5.**) e de sujidade acumulada (**C – D.A.1.**). Por fim, a anomalia **D.7.(1)**, foi associada à seleção inadequada do perfil e da geometria do sistema de caixilho (**C – D.P.5.**), assim como à montagem/instalação deficiente da caixilharia (**C – D.E.7.**). Porém as prováveis causas para o desencadeamento de tal anomalia encontram-se associados a erros de utilização (**C – D.U.2.**)

(provindos do incorreto manuseamento do mecanismo de fecho) e de manutenção/limpeza (C – D.U.3.).

#### 4.4.2.3.5 ANOMALIAS GRUPO G.

Foram verificados três tipos de anomalias em pilares, nos quais uma anomalia encontra-se associada à ocorrência de fissurações ligeiramente acentuadas (no rés-do-chão), e as restantes anomalias correspondem à manifestação de destacamento de tinta e de eflorescências esbranquiçadas sobre o revestimento aplicado, na maioria dos pilares localizados no rés-do-chão e no primeiro piso.

Relativamente à anomalia **G.1.(1)** (Fig. 4.59a, 4.59b), foram observadas sucessivas fissuras paralelas, com uma largura entre 0,20mm e 0,45mm, onde se obteve teores de humidade bastante reduzidos (entre 0,70 e 0,90%). Será importante referir que não se verificou, durante as inspeções realizadas, qualquer indício de rugosidade, assim como modificações de deslocações e de alinhamentos das fissurações referidas.

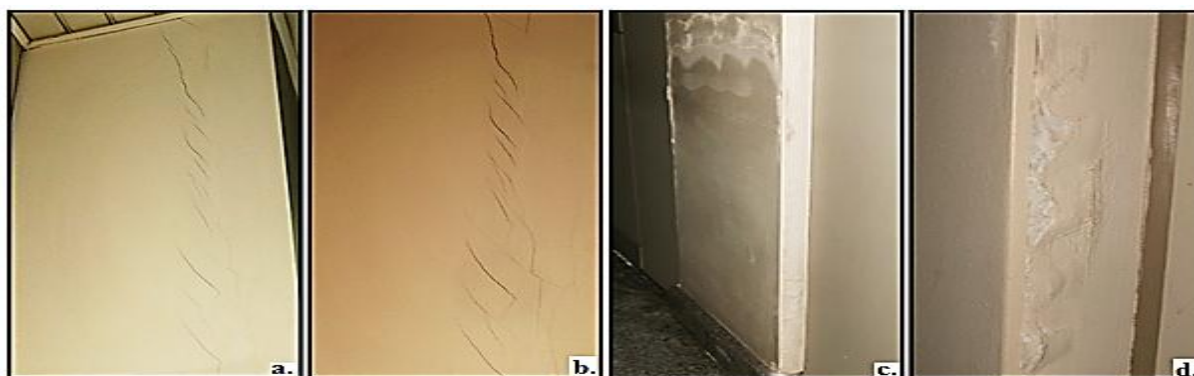
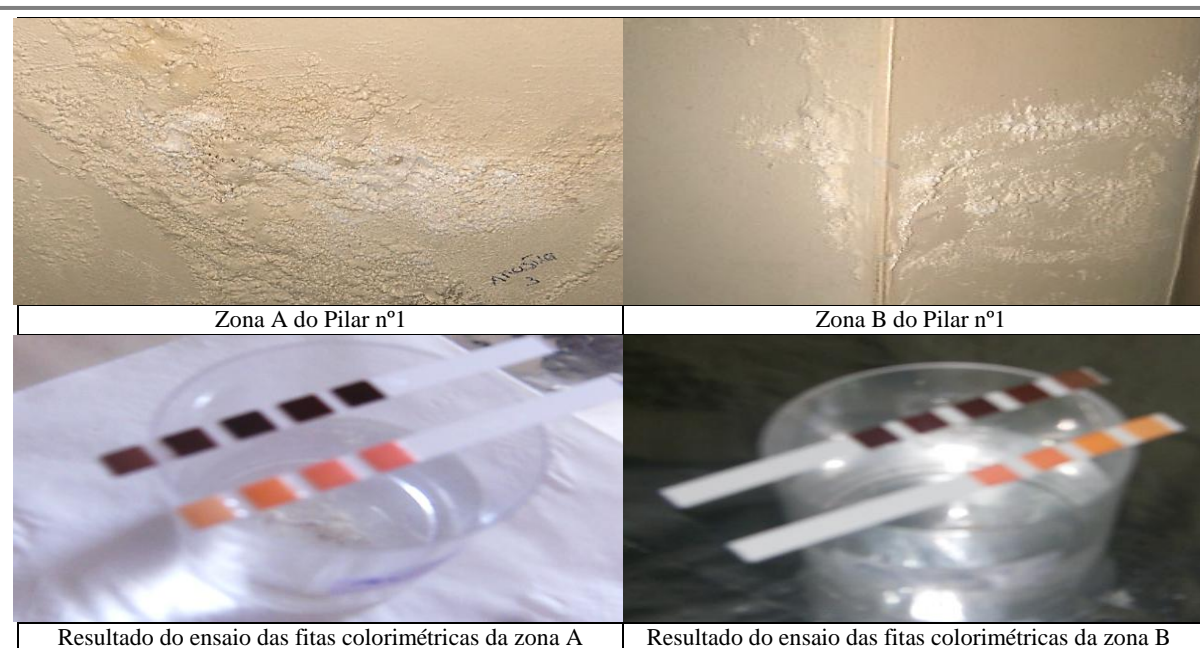


Figura 4.59 – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências das anomalias G.1.(1); c; d. Ocorrência de anomalias G.3.(2).

Como tal, as causas prováveis para o desencadeamento das anomalias **G.1.(1)** poderão estar associadas à conceção deficiente a nível de ações sísmicas, ou de outras ações horizontais (C – G.P.1.), assim como a não consideração de encurvadura no cálculo de elementos verticais (C – G.P.2.). Porém, uma inadequada conceção/pormenorização de armaduras (C – G.P.4.), tendo em conta as cargas previstas (do tipo de utilização do edifício), ou até mesmo um acréscimo não planeado de cargas (C – G.C.1.), foram, igualmente, associadas ao presente diagnóstico.

A principal causa do desencadeamento das anomalias **G.2.(2)** e **G.3.(2)** (Fig. 4.60) encontra-se associada à permanência prolongada de água, proveniente da inundação ocorrida (C – G.H.1.). Como tal, devido ao humedecimento dos pilares, evidencia-se uma perda de aderência progressiva entre a película de tinta e o suporte aplicado (betão armado), assim como a dissolução e cristalização de sais (provenientes da composição da água ou dos próprios materiais). Através da realização do ensaio das fitas colorimétricas, nas amostras 2 e 3 (Fig. 4.60), tomou-se conhecimento que tais sólidos brancos possuem uma concentração algo significativa de iões sulfatos (> 800mg/l) e reduzida de iões cloretos (>0 e ≤500 mg/l) (Quadro 4.25). Perante tal facto, uma das principais razões para a presença de compostos sulfatos, nos referidos locais, poderá estar relacionada com a composição do cimento *portland* (Tuna, 2011 citando Bianchin,1999) no referido elemento estrutural.



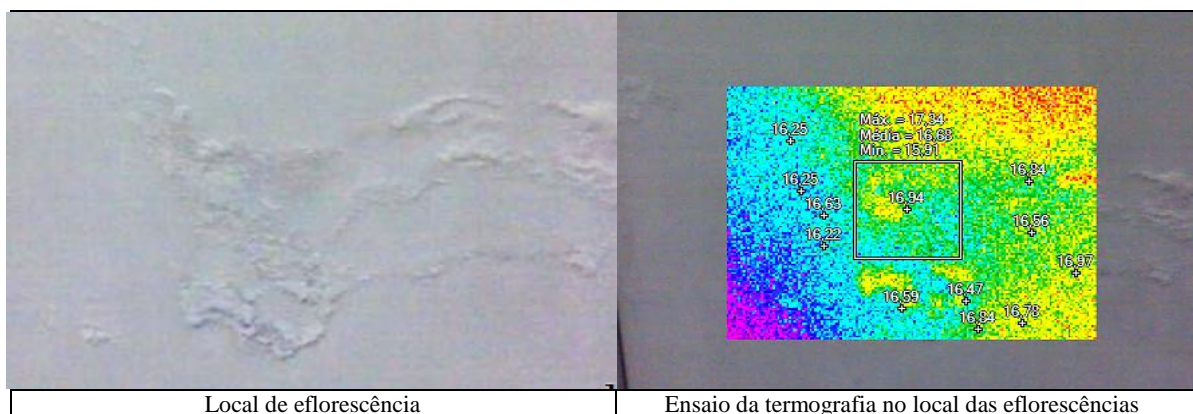
**Figura 4.60** – Utilização da quantificação de sais nas eflorescências do Pilar nº1, do rés-do-chão.

Na realidade, a grande maioria dos pilares do rés-do-chão foram gravemente degradados devido à significativa presença de teores de humidade elevados (**Quadro 4.28**), atingindo alturas significativas de absorção de água, factos visíveis em alguns casos particulares (ver **Fig. 4.59c**).

**Quadro 4.28** – Teores de humidade dos pilares evidenciados com anomalia G.2. e G.3., do segundo grupo de pisos.

| Designação dos pisos | Identificação dos Pilares | Teores de humidade (%) |        |
|----------------------|---------------------------|------------------------|--------|
|                      |                           | Mínimo                 | Máximo |
| Rés-do-Chão          | 1                         | 2%                     | 17,4%  |
|                      | 4                         | 2,5%                   | 16%    |
|                      | 5                         | 2%                     | 14%    |
|                      | 8                         | 2%                     | 9%     |
|                      | 9                         | 1,1%                   | 14%    |
| Primeiro piso        | 3                         | 5%                     | 10%    |
|                      | 4                         | 4%                     | 9%     |

Tendo em conta as fotografias termográficas (**Fig. 4.61**), poder-se-á verificar que as superfícies das eflorescências possuem temperaturas mais reduzidas, relativamente às superfícies sem ocorrências anómalas. Tal facto advém dos fenómenos de dissolução e cristalização dos sais (humedecimento dos materiais).



**Figura 4.61** – Realização do ensaio da termografia no pilar nº1, do rés-do-chão.

Não obstante à causa referida anteriormente (**C – G.H.1.**), considerou-se que as insuficientes condições de ventilação (**C – G.U.2.**), assim como as variações sucessivas de humidade (**C – G.A.1.**) levam à acentuação dos efeitos da anomalia **G.3.(2)**.

#### 4.4.2.3.6 ANOMALIAS GRUPO H.

No que diz respeito às anomalias do tipo H. se verificou dois tipos (**H.1.(1)** e **H.2.(2)**), onde a ocorrência de fissurações no revestimento cerâmico apenas verificou-se no primeiro piso.

Relativamente ao diagnóstico das anomalias **H.1.(1)** (**Figs. 4.62a, 4.62b**) é bastante semelhante ao diagnóstico realizado da anomalia **C.1.(1)** (descrito em §4.4.2.3.3), associado desta forma à permanência de água, provinda da inundação (**C – H.H.1.**) (teores de humidade entre 2 a 8%), a qual proporcionou a dissolução e cristalização de sais (**C - C.A.1.**), assim como da cal (existente na composição da argamassa de aplicação sob o revestimento cerâmico). Tal facto desencadeou a formação de manchas esbranquiçadas sobre o revestimento cerâmico.



**Figura 4.62** – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências de anomalias H.1.(1); c. Ocorrências de anomalias H.2.(1).

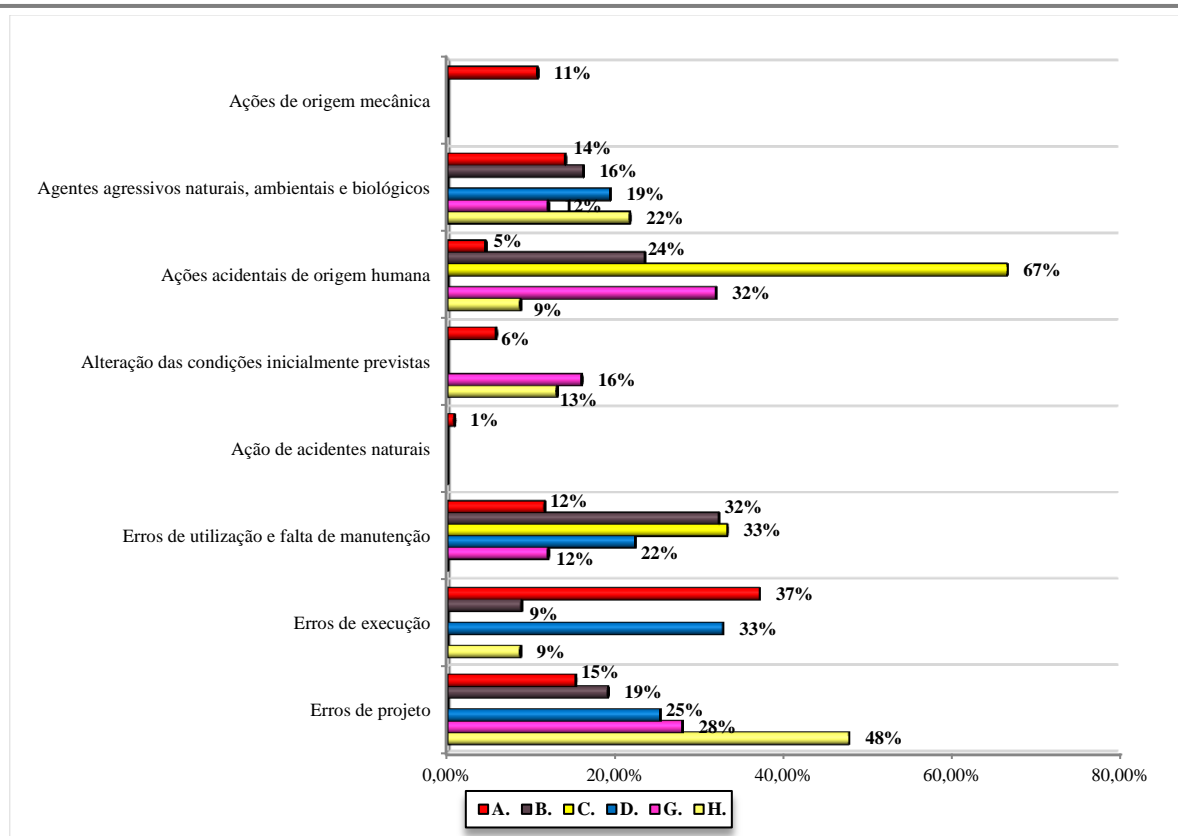
Por sua vez, as anomalias **H.2.(1)** (**Fig. 4.62c**), encontram-se associadas à seleção inadequada do revestimento (**C – H.P.1.**), tendo em conta a utilização associada, assim como a erros provindos da incorreta conceção (**C – H.P.2.**, **C – H.P.3.**, **C – H.P.4.**) e da execução de aplicação (**C – H.E.1.**). Porém, a ação de cargas demasiado excessivas (**C – H.C.1.**) (provindas do equipamento instalado), assim como a ação de agentes naturais (**C – H.A.3.**) foram igualmente associados ao desencadeamento de tal anomalia.

#### 4.4.2.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS ANOMALIAS COM AS POSSÍVEIS CAUSAS

Tendo em conta o que foi mencionado em §4.4.2.3, as matrizes de correlação da totalidade das anomalias evidenciadas com as possíveis causas associadas encontram-se no **Anexo 2.II**.

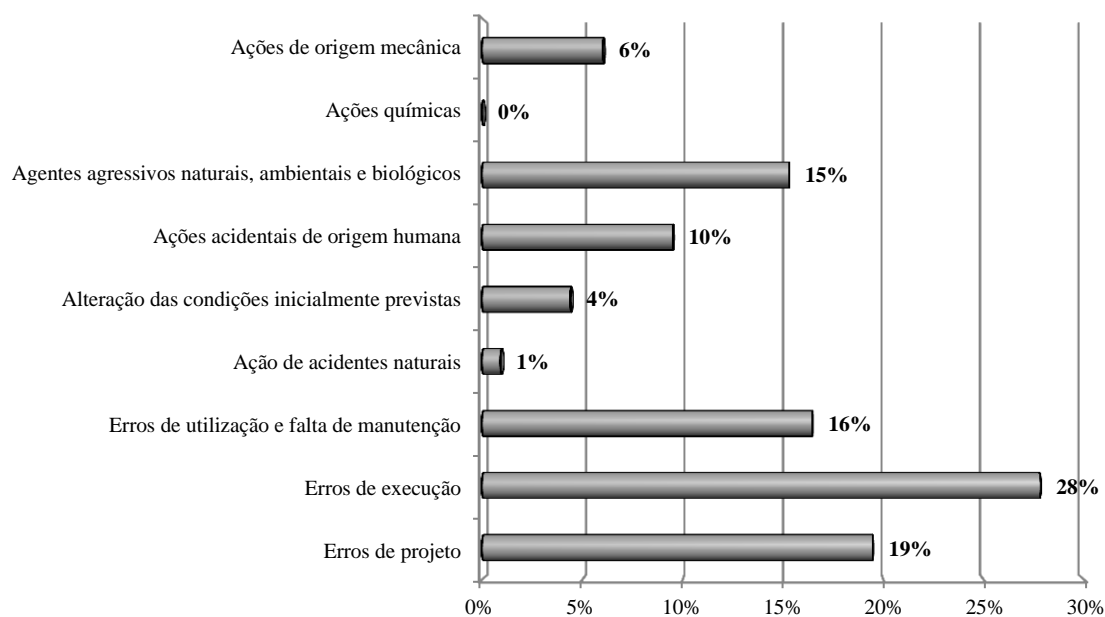
#### 4.4.2.5 RESULTADOS FINAIS

Tendo em conta os valores da **Figura: 4.63**, poder-se-á verificar que as causas associadas ações de origem humana (inundação ocorrida), a erros de utilização e falta de manutenção, assim como a erros de execução foram associados à grande maioria do tipo de anomalias evidenciada. Porém as causas associadas a eventuais alterações de condições inicialmente previstas apenas foram consideradas nas anomalias do grupo A., G. e H., onde, por sua vez, as causas associadas ações mecânicas e a ações de acidentes naturais foram associados, exclusivamente, ao grupo de anomalias A.



**Figura 4.63** - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no segundo grupo de pisos.

Como tal, poder-se-á admitir (**Fig. 4.64**) que a generalidade das anomalias evidenciadas no grupo de pisos em análise encontra-se associada a erros surgidos na fase de execução (28%), ao contrário da influência de ações de acidentes naturais, as quais foram associadas cerca de 1% das ocorrências anómalas. Porém as ações químicas não foram associadas a nenhuma ocorrência anómala.



**Figura 4.64** - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do segundo grupo de pisos considerado.

### 4.4.3 GRUPO III – SEGUNDO, TERCEIRO E QUARTO PISO

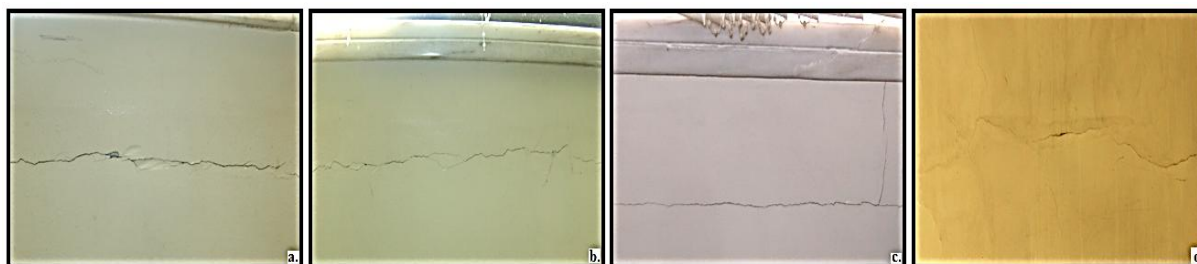
O terceiro grupo de pisos é constituído pelo segundo, terceiro e quarto piso (**Anexo 1.III**). Na realidade, evidenciou-se seis grupos de anomalias no segundo piso, em contraste com o terceiro e quarto piso onde se quantificou menos ocorrências anómalas (cerca de três grupos de anomalias, em cada piso).

#### 4.4.3.1 AVALIAÇÃO DETALHADA, CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS

Na totalidade, observou-se cerca de 150 anomalias, compostas pelas anomalias do grupo **A., B., C., D., F., G.**. Neste conjunto particular de pisos observou-se anomalias com um grau de degradação inferior ao verificado no grupo de pisos anterior (Grupo II – rés-do-chão e primeiro piso), onde a generalidade das anomalias evidencia-se em locais próximos de caixilhos exteriores, associando-se à infiltração de água através dos mesmos.

Iniciando a avaliação de anomalias no segundo piso, em particular, quantificou-se, no total, cerca de 68 anomalias. Tais ocorrências são caracterizadas por seis tipos de anomalias, evidenciando-se com mais frequências as anomalias do grupo A. e D..

Relativamente às anomalias do grupo A. (24 anomalias), observou-se dois tipos de fissurações definitivas, onde a **A.1.(10)** (**Figs. 4.65a, 4.65b, 4.65c**) localiza-se na parede nascente das zonas O, N e M, enquanto que a **A.1.(11)** evidencia-se, apenas, na parede norte, da zona P. Porém, a anomalia **A.1.(10)** apresenta os mesmos efeitos que a A.1.(8) (descrita em Grupo II – rés-do-chão e primeiro piso), e a anomalia **A.1.(11)** (**Fig. 4.72**) caracteriza-se pelas fissurações em locais de juntas de argamassa, na mesma parede (empena orientada a norte) onde se evidencia o fenómeno de espectros fantasmas interiores (**A.6.**).



**Figura 4.65** – Representação de anomalias: a.; b.; c. – Ocorrências da anomalia A.1.(10); d. Ocorrência da anomalia A.2.(2).

Não obstante a tais factos, evidenciou-se, igualmente, situações de fissurações não definidas (**A.2.(2)**) (**Fig. 4.65d**), de destacamento e empolamento de pintura (**A.3.(3)** e **A.7.(4)**), de eflorescências (**A.4.(5)**) e de destacamento de reboco (**A.5.(2)**) (**Fig. 4.66**), nas zonas O, N e M. Tais circunstâncias são manifestadas devido às infiltrações de água, proveniente da ausência de estanquidade por parte de caixilhos exteriores, evidenciando-se um acréscimo de degradação, significativo, entre as visitas de inspeção decorridas no Inverno de 2012 e na Primavera de 2013. Porém, observou-se uma anomalia comum nos três pisos, traduzida pela evidência de manchas de escorrências nas duas varandas (**A.12.(1)**) (Zonas E e D), de cada piso (**Fig. 4.78**).



Figura 4.66 - Ocorrências da anomalia A.5(2).

Por sua vez, as anomalias observadas no pavimento *parquet* de madeira (10 anomalias) correspondem ao destacamento (B.1.(2)), ao desgaste (B.3.(2)) e à descoloração (B.5.(2)) do revestimento considerado. As anomalias nos revestimentos de caixilho exteriores (24 anomalias) associam-se à degradação do acabamento (D.2.(2)) (Figs. 4.67a, 4.67b, 4.67c, 4.67d) e do revestimento de vedação (D.5.(1)) (Fig. 4.67e), assim como à acumulação de detritos (D.4.(2)) (Fig. 4.67f), da danificação de mecanismos de fechos (D.7.(2)) e dos efeitos de infiltração de água (D.3.(2)), nos paramentos interiores de paredes exteriores e de empenas.

As anomalias observadas em elementos estruturais de betão armado (6 anomalias), encontram-se associadas às manifestações de destacamento de película de tinta (G.2.(3)) e de eflorescências em revestimentos aplicados (G.3.(3)), nos pilaretes nº 1 e 2 da zona B. Porém devido à campanha efetuada no pilarete nº 2 (tendo como principal finalidade apreender, qualitativamente, o estado/grau de conservação dos elementos estruturais) averiguou-se a presença dos efeitos de carbonatação (G.4.(1)) e a presença de cloretos (G.5.(1)) na composição do material de betão armado avaliado. Por fim, foram observadas duas anomalias associadas à degradação do revestimento pétreo (C.4.(1)) da fachada frontal do edifício (Fig. 4.79), assim como desenvolvimentos de colonização biológica (F.1.(1)) sobre o revestimento de chapa metálica canelada lacada (Fig. 4.81).

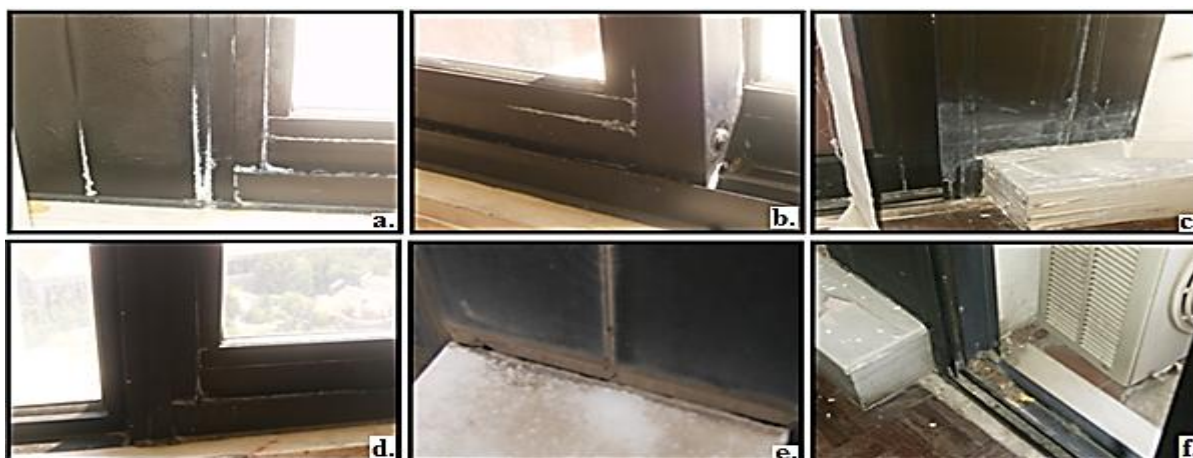


Figura 4.67 – Representação de anomalias do grupo D.: a.; b.; c.; d. Ocorrências da anomalia D.2.(2); e. Ocorrência da anomalia D.5.(1); f. Ocorrência da anomalia D.4.(2).

As anomalias observadas, no terceiro e quarto piso são bastante semelhantes entre si, sendo constituídas por três tipos de anomalias **A.**, **B.** e **D.**, onde quantificou-se cerca de 44 e 38 anomalias, no terceiro e quarto piso, respetivamente.

As anomalias associadas ao grupo A. (36 anomalias), correspondem à ocorrência de fissurações não definidas (**A.2.(2)**), de destacamento e empolamento de pintura (**A.3.(3)** e **A.7.(4)**), de eflorescências (**A.4.(5)**) e de destacamento de reboco (**A.5.(2)**), nas zonas M, N e P. Em circunstâncias semelhantes ao segundo piso, foi observada situações de fantasmas interiores (**A.6.(2)**) na empena orientada a norte (na zona M) e na empena orientada a sul (na zona N) (**Fig. 4.75**). Contudo, será importante referir o surgimento de biodeterioração no reboco (**A.9.(1)**), na parede nascente das zonas M e N (**Figs. 4.77b, 4.77c, 4.77d**), próximo dos locais de instalação dos caixilhos exteriores.

Respeitante às anomalias observadas nos pavimentos de *parquet* de madeira (12 anomalias), constatou-se apenas manifestações de destacamento (**B.1.(2)**) (**Fig. 4.68a**) e de descolorações acentuadas (**B.5.(2)**) (**Figs. 4.68b, 4.68c**), nas zonas B, C, G, F, N e M.



**Figura 4.68** – Representação de anomalias do grupo B.: a. Ocorrência da anomalia B.1.(2); b.; c. Ocorrências da anomalia B.5.(2); d. Diferença reduzida de níveis de pavimento interior e exterior.

Por fim, as anomalias em revestimentos de caixilhos de alumínio (34 anomalias) encontram-se associadas à degradação do revestimento (**D.2.(2)**), aos efeitos secundários de infiltrações de água (**D.3.(2)**), assim como à acumulação excessiva de detritos (**D.4.(2)**). Porém observou-se duas situações de danificações de fecho de caixilhos (**D.7.(2)**), no quarto piso.

Dadas as circunstâncias de aparecimento de anomalias com as mesmas características de manifestação mas com diferentes configurações (**A.1.**), decidiu-se avaliá-las separadamente (em §4.4.3.3.1), onde a sua identificação encontra-se no **Quadro 4.29**.

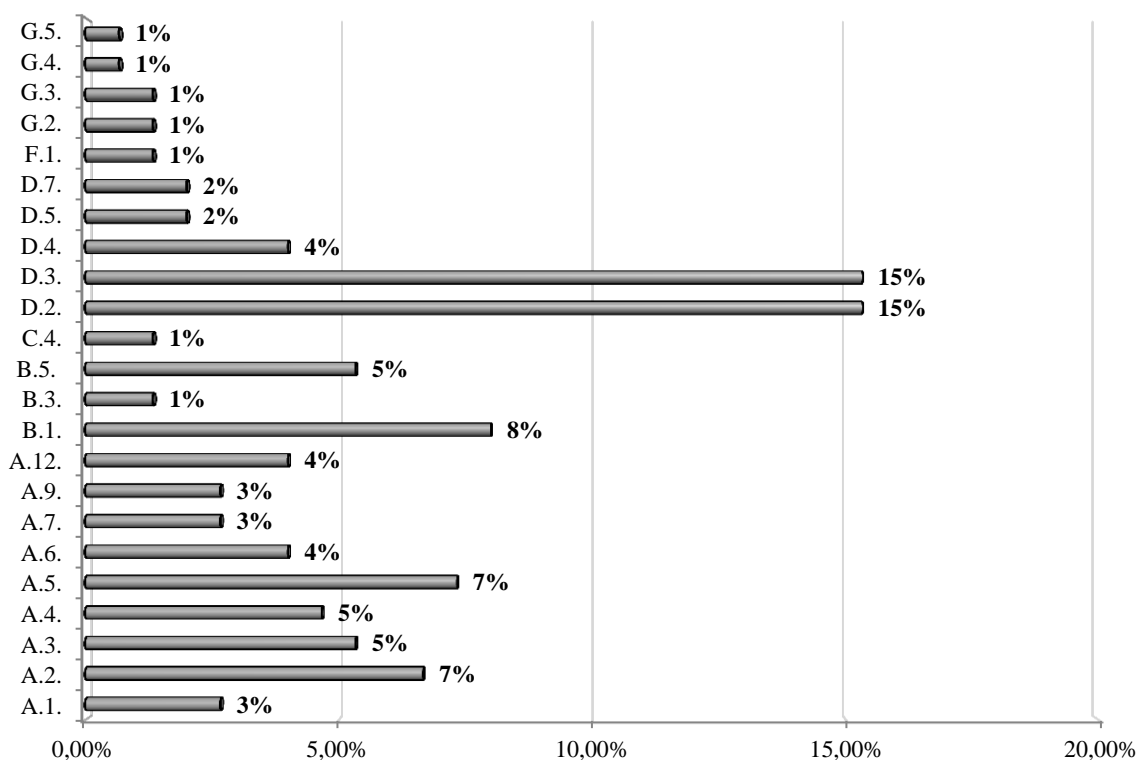
Como tal, constatou-se a totalidade de 150 anomalias, em que as anomalias do tipo **D.2.** e **D.3.** são as mais frequentes (15%), em oposição às anomalias **B.3.**, **C.4.**, **G.2.**, **G.3.**, **G.4.**, **G.5.** e **F.1.**, possuindo cerca de 1% de frequência de observação, cada uma. Através da **Figura: 4.69**, poder-se-á verificar a significativa diversidade de ocorrências anómalas, no grupo de pisos considerado, onde em certas circunstâncias, a frequência de ocorrência de diferentes tipos de anomalias são equivalentes (dando como exemplo as anomalias **D.5.** e **D.7.** possuindo cerca de 2%, e as anomalias **A.1.**, **A.7.**, **A.9.**, possuindo cerca de 3% de frequência de observação).

Relativamente à classificação das situações anómalas (**Anexo 2.III**), as anomalias que evidenciam prioridade máxima de reparação/intervenção encontram-se associadas à degradação do revestimento de caixilhos exteriores de alumínio (**D.2.**) e às infiltrações de água daí providas (**D.3.**).

**Quadro 4.29** – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no segundo, terceiro e quarto piso.

| Grupo de anomalia | Identificação do tipo de anomalia |   | Quantificação de observação |    |
|-------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|----|
| Grupo A.          | A.1.(10)                          | Fissuração horizontal.                                    | 3                           |    |
|                   | A.1.(11)                          | Fissuração em locais de juntas de argamassa empena norte. | 1                           |    |
|                   | A.2.(2)                           |   | 10                          |    |
|                   | A.3.(3)                           |   | 8                           |    |
|                   | A.4.(5)                           |   | 7                           |    |
|                   | A.5.(2)                           |   | 11                          |    |
|                   | A.6.(2)                           |   | 6                           |    |
|                   | A.7.(4)                           |   | 4                           |    |
|                   | A.9.(1)                           |   | 4                           |    |
|                   | A.12.(1)                          |   | 6                           |    |
|                   | Grupo B.                          | B.1.(2)   |                             | 12 |
|                   |                                   | B.3.(2)   |                             | 2  |
| B.5.(2)           |                                   |   | 8                           |    |
| Grupo C.          | C.4.(1)                           |   | 2                           |    |
| Grupo D.          | D.2.(2)                           |   | 23                          |    |
|                   | D.3.(2)                           |   | 23                          |    |
|                   | D.4.(2)                           |   | 6                           |    |
|                   | D.5.(1)                           |   | 3                           |    |
| Grupo F.          | D.7.(2)                           |   | 3                           |    |
|                   | F.1.(1)                           |   | 2                           |    |
| Grupo G.          | G.2.(3)                           |   | 2                           |    |
|                   | G.3.(3)                           |   | 2                           |    |
|                   | G.4.(1)                           |   | 1                           |    |
|                   | G.5.(1)                           |   | 1                           |    |

Porém, as anomalias dos grupos A., B., e G. caracterizam-se pela mínima (Nível 4) e pequena (Nível 3) prioridade de intervenção, onde a totalidade das anomalias do grupo F. e C. encontram-se, exclusivamente, classificadas pela mínima e pequena necessidade de reparação/intervenção, respetivamente.



**Figura 4.69** - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no piso do segundo, terceiro e quarto piso.

Por fim, o grupo das anomalias G. possui anomalias com prioridade mínima de reparação/intervenção (G.2. e G.3.), como também, uma anomalia com grande prioridade de intervenção (G.1.) (Fig. 4.70).

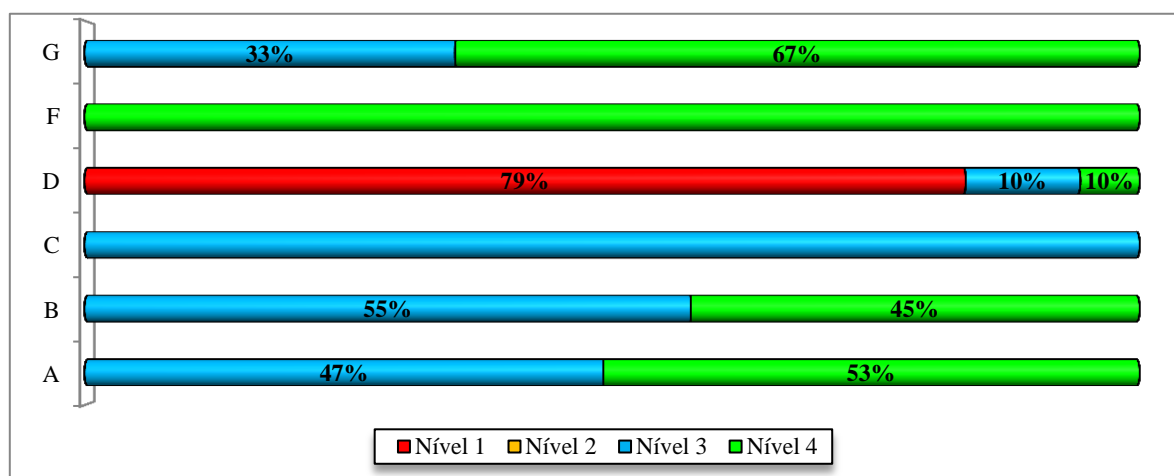


Figura 4.70 - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no segundo, terceiro e quarto piso.

#### 4.4.3.2 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS

Neste grupo de pisos em análise, realizaram-se os 11 tipos de técnicas/meios de diagnóstico propostas. A maioria das circunstâncias de anomalias privilegiou-se a utilização do humidímetro (TD-2-ND-1), assim como a do termómetro (TD-2-ND-5). Em certas circunstâncias de eflorescências em pilaretes (G.3.) recorreu-se à realização de amostras, para posterior análise laboratorial, através das fitas colorimétricas (TD-3-IPS-1), e na totalidade de ocorrências de fissurações A.1. e A.2. usou-se TD-1-AVA-1. Por fim, a técnica de termografia (TD-2-ND-2) foi utilizada numa situação de anomalia A.6., evidenciada no segundo piso.

Contudo em seis anomalias (B.3., B.5., C.4., D.2., D.4., D.5., D.7. e F.1.) não foram realizadas técnicas específicas de diagnóstico, utilizando-se, apenas, o meio de inspeção visual para o possível diagnóstico das mesmas. Será importante referir que na campanha de inspeção, realizada ao pilarete nº 2 do segundo piso, utilizou-se as técnicas de diagnóstico de esclerómetro (TD-2-ND-6), de ultra-sons (TD-2-ND-7), de resistividade elétrica (TD-2-ND-9), assim como a realização de ensaios comprovativos de carbonatação (TD-2-ND-8) e de presença de cloretos (TD-2-ND-4). Porém utilizou-se o pacómetro (TD-2-ND-3) como técnica auxiliar do ensaio de ultra-sons, assim como para a determinação do recobrimento e do afastamento utilizado em armaduras do pilar nº2.

#### 4.4.3.3 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS ANOMALIAS

##### 4.4.3.3.1 ANOMALIAS GRUPO A.

A fissuração horizontal A.1.(10) (Fig. 4.65) é observada em toda o comprimento da parede exterior nascente, das zonas O, N e P, localizada no segundo piso. Tal ocorrência é bastante semelhante à

fissuração horizontal A.1.(8) (verificada no primeiro piso), encontrando-se a cerca de 0,15m abaixo do peitoril da janela, apresentando uma extensão total de cerca 15,30m.

Tal anomalia apresenta uma largura entre os 0,40mm e 0,65 mm (**Quadro 3.11**), não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocações e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Relativamente aos teores de humidade medidos, adquiriu-se valores entre os 0,80% e os 12,40%, onde as temperaturas médias obtidas encontram-se entre o 27° e o 29°. Contudo os teores de humidade mais elevados e as temperaturas mais baixas foram observados nos locais da parede de alvenaria acima da referida fissuração.

Como já referido em §4.4.2.3.1, crê-se que esta ocorrência tenha surgido devido à transição de diferentes materiais (**C – A.P.8.** e **A – A.E.9.**), comprovando-se, tal facto, através das inspeções realizadas (**Fig. 4.71c**) à parede em questão. Na realidade, ao realizar-se a inspeção nº 6 (**Fig. 4.71a**), na parte de alvenaria superior à fissuração observada (0,15m), contou-se a presença de um tijolo maciço com 0,30 m de largura. Porém nos restantes 0,85 m, de altura de parede, verificou-se a aplicação de dois panos de tijolos cerâmicos furados (pano interior com espessura de 7cm e pano exterior com 7 ou 9 cm), ao realizar-se a inspeção nº7 (**Fig. 4.71b**).



**Figura 4.71** - Representação das inspeções realizadas em paredes exteriores no segundo piso: a. Inspeção nº 6; b. Inspeção nº7; c. Realização das inspeções nº6 e nº7.

Será importante referir que apesar de não ser ter proporcionado nenhuma inspeção na parede exterior nascente, no primeiro piso, crê-se que a mesma possua características e componentes construtivos idênticos aos aplicados na parede exterior aqui em avaliação. Porém, e como referido em §4.3.3.1.3, desde do terceiro piso até o oitavo piso a parede exterior nascente é composta totalmente por maciço de betão simples, proporcionando, desta forma, o desaparecimento da anomalia **A.1.(10)** nos referidos pisos. Assim sendo, e dadas as circunstâncias de manifestações idênticas das anomalias A.1.(8) (manifestada no grupo II – rés-do-chão e primeiro piso) e **A.1.(10)**, atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas, na determinação do diagnóstico da anomalia **A.1.(10)** referida. Contudo será relevante salientar que devido à inexistência de utilização de técnicas e/ou medidas construtivas (**A – A.P.1.** e **A – A.E.1.**), a fissuração em avaliação acabou por se manifestar em toda a amplitude da parede exterior, em questão, devendo-se essencialmente ao efeito de tensões impostas nos locais de junção dos dois materiais diferentes, proveniente de movimentações divergentes (**C – A-M-3** e **C – A.M.4.**) face a variações térmicas (**C – A.A.1.**) e higroscópicas (**C – A.A.2.**).

Relativamente à anomalia **A.1.(11)** (**Fig. 4.72**) é manifestada pelo aparecimento de fissuração bastante horizontal, sobreposta nos locais de juntas de argamassa, de uma parede exterior orientada a norte (empena), possuindo uma extensão cerca de 0,30m. Tal ocorrência apresenta uma largura entre

os 0,20mm e 0,50 mm (**Quadro 3.11**), não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocamentos e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Relativamente aos teores de humidade medidos, adquiriu-se valores entre os 2% e os 3%, onde a temperatura média obtida foi cerca de 29°.



**Figura 4.72** - Ocorrência da anomalia A.1.(11).

Tendo em conta o que foi descrito em §2.5.1.1.2, as possíveis causas para o desencadeamento da referida anomalia encontram-se associadas a fenómenos de deformação excessiva da estrutura de suporte (**C – A.P.2.**), assim como a movimentações térmicas (**C – A.M.3.**) e higroscópicas (**C – A.M.4.**), entre os diferentes materiais compostos da parede em avaliação. Como tal, as variações bruscas e sucessivas de temperatura (**C – A.A.1.**) e de humidade (**C – A.A.2.**) poderão agravar os efeitos anómalos, acrescentando, igualmente, as possíveis concentrações de tensões impostas na parede (**C – A.M.2.**) (devido aos movimentos de deformação do suporte).

A totalidade das ocorrências de fissurações mapeadas **A.2.(2)** (**Figs. 4.65d**) em revestimentos de tinta é caracterizada pela irregularidade de orientação, de definição e de largura (entre 0,10mm e 0,20 mm). Tais ocorrências evidenciaram-se bastante superficiais, não apresentando qualquer tipo de rugosidade associada, onde foram observadas em locais bastante próximos da instalação de caixilhos exteriores, dos três pisos considerados.

A configuração de tais anomalias assemelha-se bastante ao tipo de anomalia **A.2.(1)** (manifestada no grupo II – rés-do-chão e primeiro piso). Contudo a fonte de humidade presente na camada de suporte (**C – A.E.3.**) não advém de causas humanas, mas sim da deficiente estanquidade caixilhos exteriores (**C – A.E.5.**, **C – A.U.2.**), a qual proporciona infiltrações de água (**C – A.E.8.**) para os paramentos interiores de paredes exteriores. Tal facto é comprovado através dos teores de humidade razoavelmente elevados (entre 1,10% a 4%). Assim sendo, o processo de retração do suporte aplicado (**C – A.M.1.**) desencadeia-se, devido às sucessivas variações de temperatura (**C – A.A.1.**) e de humidade (**C – A.A.2.**) ocorridas, sucedendo, possivelmente, movimentações higroscópicas (**C – A.M.3.**) no mesmo. Porém, a presença de excesso de água na argamassa aplicada (**C – A.E.12.**), durante a execução, também foi tida em conta, na avaliação do diagnóstico em questão.

Tal como sucedido na anterior anomalia **A.2.(2)**, as ocorrências de destacamento (**Fig. 4.77a**) e de empolamento de tinta (**A.3.(3)** e **A.7.(4)**), manifestavam-se em paramentos interiores de paredes exteriores, próximas de caixilhos exteriores. Ambas as anomalias referidas encontram-se associadas à presença de humidade no suporte (**C – A.A.6.**) (teores de humidade entre os 2% e os 6%), devido às sucessivas infiltrações de água de precipitação (**C – A.E.8.**), provenientes dos caixilhos exteriores (**C – A.E.5.**, **C – A.U.2.**).

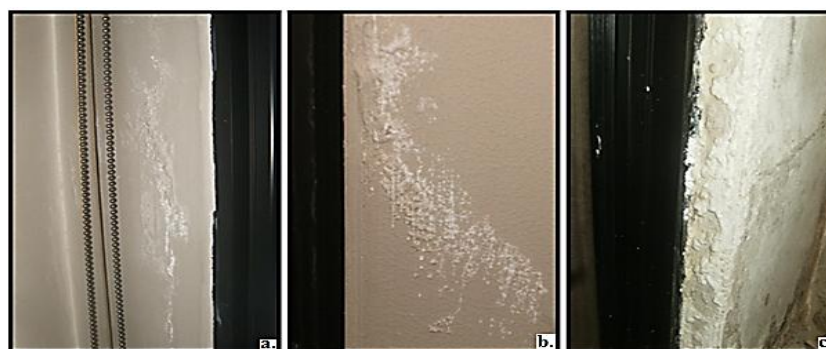
Com a existência de teores de humidade elevados no suporte (**C – A.E.3.**), proporcionar-se-á a perda de aderência entre o revestimento final (película de tinta) e o reboco aplicado, manifestado pelo destacamento parcial ou completo do revestimento. Tal facto agrava-se ainda mais com as frequentes variações de temperatura (**C – A.A.1.**) e de humidade (**C – A.A.2.**). Porém, em certas circunstâncias da anomalia **A.7.(4)**, foi considerada a possível aplicação de tintas com insuficiente permeabilidade ao vapor de água (**C – A.E.6.**), devendo-se essencialmente ao surgimento de bolhas de ar na película de tinta (**Fig. 4.73a**), assim como a expansão dos sais solúveis (na composição dos materiais utilizados) (**Figs. 4.73b, 3.73c**) durante o processo de cristalização (**C – A.E.11.**).

Relativamente às manifestações da anomalia **A.4.(5)** (**Fig. 4.74**), foram observadas junto a locais próximos de caixilhos exteriores (nas idênticas paredes consideradas, anteriormente, na avaliação das anomalias **A.2.(2)**, **A.3.(3)** e **A.7.(4)**), desencadeadas pela infiltração de água da precipitação (**C – A.E.8.**), através dos mesmos (**C – A.U.2.**). Tal facto desencadeia a ocorrência de teores de humidade (**C – A.E.3.**, **C – A.A.2.**) moderadamente elevados no suporte, entre os 3% e os 6%, proporcionando a dissolução e cristalização de sais constituintes dos materiais aplicados (**C – A.E.10.**) (comprovado através da realização do **TD-3-IPS-1**).



**Figura 4.73** - Ocorrências da anomalia **A.7.(4)**.

Como tal para além da associação das causas já anteriormente referidas, as condições insuficientes de ventilação e de aquecimento (**C – A.U.1.**), evidenciadas nos compartimentos N e M, possuem um carácter decisivo para a evolução dos efeitos anómalos considerados.



**Figura 4.74** – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências das anomalias **A.4.(5)**; c. Ocorrência da anomalia **G.3.(3)**.

Relativamente à ocorrência das anomalias **A.5.(2)** (**Fig. 4.66**), manifestou-se na parede exterior nascente das zonas N, M e O, dos três pisos considerados, por consequência da insuficiente capacidade de vedação, por parte dos caixilhos exteriores (**C – A-U-2.**). De facto, a entrada de humidade de precipitação (**C – A.E.8.**) nas paredes, faz desencadear teores de humidade moderadamente elevados

(C – A.E.3.) (entre os 4% e os 9%), proporcionando, desta forma, o destacamento do revestimento final aplicado (tinta), assim como a perda de aderência entre as camadas do reboco aplicado.

Tal situação é idêntica à já referida anomalia A.5.(1), do segundo grupo de pisos, onde por consequência adotou-se as mesmas causas (descritas em §4.4.2.3.1) para o desenvolvimento do diagnóstico, da anomalia em questão.

As anomalias A.6.(2) (Fig. 4.75) foram observadas nas paredes exteriores orientadas a norte e a sul (empenas), na totalidade dos pisos considerados, onde evidenciou-se um efeito de espectro de fantasmas mais acentuado na empena norte, do segundo piso.

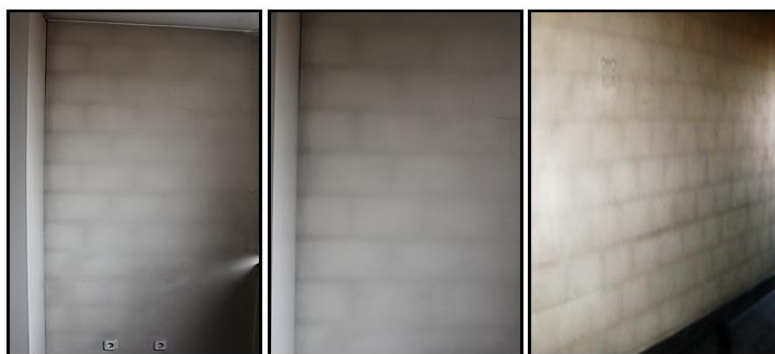


Figura 4.75 - Ocorrências da anomalia A.6.(2).

Tal como referido em §2.5.1.1.1.4 e em §4.4.2.3.1, o aparecimento dos espectros fantasmas interiores proporcionam-se devido às diferentes pontes térmicas entre os tijolos furados e as juntas de argamassa. Através dos ensaios termográficos (termografia (Fig. 4.76) e termómetro), na generalidade das paredes orientadas a sul, a temperatura dos tijolos cerâmicos (28,5°) é ligeiramente superior à das juntas de argamassa (24,6°). Por sua vez as paredes orientadas a norte possuem temperaturas de materiais mais reduzidas, onde a temperatura dos tijolos cerâmicos é cerca de (20,25°) e a temperatura das juntas de argamassa corresponde a cerca de 19,9°.

Como tal, o surgimento de divergentes temperaturas (devido ao coeficiente de condutibilidade térmica do tijolo cerâmico ser inferior ao coeficiente de condutibilidade térmica das juntas de argamassa) entre materiais, proporcionará o surgimento de humidade de condensação nos locais de juntas de argamassa (C – A.P.4.), manifestando-se através das marcas de cor escura (Fig. 4.75). Será importante referir que a média de teor de humidade obtido, na generalidade das paredes avaliadas, é cerca de 2,4%, onde as paredes orientadas a norte são caracterizadas por teores de humidade mais elevados (4%), resultado da reduzida exposição solar das mesmas.

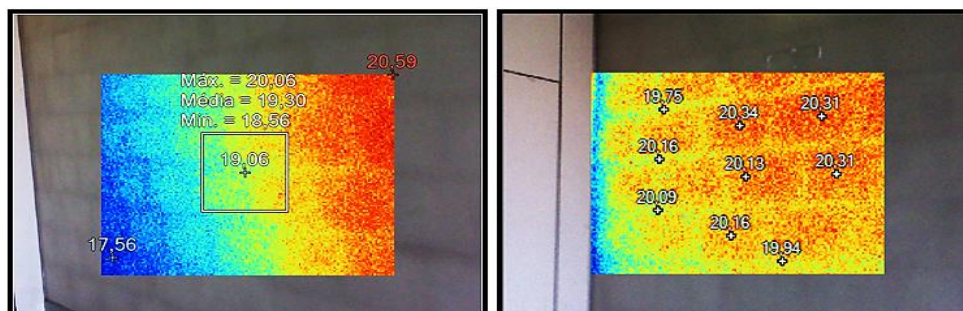


Figura 4.76 - Fotografias termográficas realizadas, em certas paredes onde se evidenciou a anomalia A.6.(2).

Assim sendo, e dadas as circunstâncias de manifestações idênticas entre as anomalias A.6.(1) (do segundo grupo de pisos) e a A.6.(2) (manifestada no conjunto de pisos, presentemente, em avaliação), atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descritas em §4.4.2.3.1), na determinação do diagnóstico da anomalia A.6. referida.

Outra anomalia, evidenciada na parede exterior nascente, associa-se ao aparecimento de vestígios biológicos no reboco aplicado (Figs. 4.77b, 4.77c, 4.77d), mais corretamente designado como biodeterioração do reboco (A.9.(1)). Segundo Brito & Flores-Colen (2012), a presença de organismos ou microrganismos (C – A.A.4.) é prejudicial para o reboco, uma vez que estes o deterioram, seja pela sua presença, pelos produtos que expelem ou pelo seu ataque direto. A generalidade destes microrganismos, provenientes do solo, ar ou da água, fixam-se nas superfícies do revestimento, caso haja condições de humidade (C – A.E.3., C – A.E.8.) (teores de humidade entre os 4% e os 6,8%) e falta de ventilação (C – A.U.1.). De facto, esta anomalia encontra-se associada à ocorrência de destacamento do suporte aplicado (A.5.(2)), onde após a queda da camada de revestimento final, proporciona-se uma significativa área de exposição do reboco (ainda aderente à parede de alvenaria) suscetível à deposição de pó (C – A.U.2.). Porém as variações de humidade (C – A.A.2.), assim como as características do material aplicado (C – A.E.5.), tendo em conta a sua porosidade (quanto maior for a porosidade do reboco maior será a probabilidade de surgimento de biodeterioração).

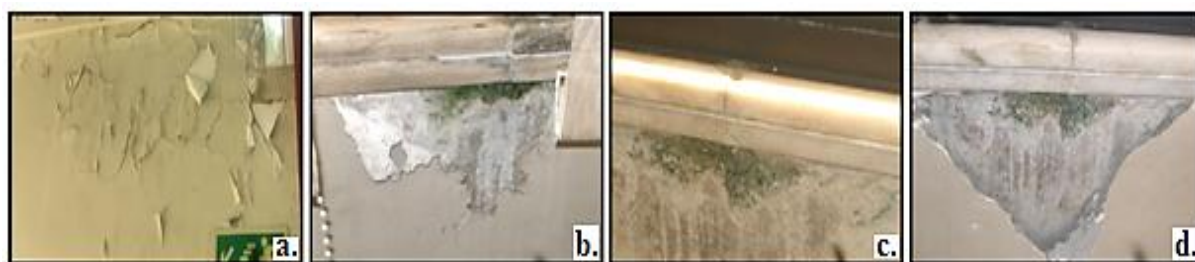


Figura 4.77 – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.3(3).; b.; c.; d. Ocorrência da anomalia A.9.(1).

Por fim, a anomalia A.12.(1) (Fig. 4.78) associa-se à manifestação de escorrências em paredes exteriores, presentes nas varandas dos três pisos considerados. Tal ocorrência associa-se à acumulação na superfície de material estranho de diversa natureza (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes), de aspeto uniforme (zonas protegidas da chuva) ou diferenciado (escorrências) (Flores-Colen, 2008). Nos locais de tais anomalias, evidenciou-se escorrências com uma espessura variável, pouco aderente e de fraca coesão, com a presença de teores de humidade bastante variáveis (C – A.E.3.), entre os 1,5% e os 17% (dependendo da ação da humidade de precipitação (C – A.E.8.)).



Figura 4.78 - Ocorrência da anomalia A.12.(1).

De facto, estas anomalias poderão estar relacionadas com as inadequadas técnicas construtivas (C – A.P.1.), ao evidenciar-se a ausência de elementos de proteção contra escorrências (pingadeiras), assim como a textura e geometria do paramento. Contudo as características do reboco aplicado (C – A.E.5.) (suportes absorventes, ou de resistência mecânica fraca), ou a inadequação de materiais (C – A.P.9.) (devido às condições de exposição) também influenciam, significativamente, a ocorrência de tal anomalia.

Será interessante referir que os locais onde se observaram as escorrências coincidem com as juntas das pedras de mármore depositadas nos parapeitos. Como tal, este local acaba por se mostrar como “um caminho preferencial” da água de precipitação, atingindo os paramentos das paredes em avaliação, resultado do recuo do paramento da parede reduzido (em relação à extremidade da pedra do parapeito) (C – A.E.1.). Todavia as ações biológicas (C – A.A.4.), assim como a ausência de trabalhos de manutenção/reparação (C – A.U.2.) poderão acelerar o processo de degradação dos paramentos avaliados, acentuando-se, ao longo dos tempos, as manchas das escorrências observadas.

#### 4.4.3.3.2 ANOMALIAS GRUPO B.

Relativamente aos revestimentos de *parquet* de madeira, em pavimentos interiores, foram evidenciadas três tipos de anomalias (B.1.(2), B.3.(2), B.5.(2)).

A generalidade das anomalias B.1.(2) (Fig. 4.68a) surge em locais próximos de paredes exteriores, encontrando-se associada à permanência exagerada de água, proveniente de infiltrações de água de precipitação (C – B.U.4.) (através dos caixilhos exteriores (C – B.U.1.)). De facto, os teores de humidade obtidos, caracterizam-se pelos seus resultados medianamente elevados (2,0% a 4,5%). Como tal, as ocorrências de destacamento do revestimento (B.1.(2)) poderão ter surgido devido à inadequada seleção do produto de colagem (C – B.P.1.), assim como a erros providos da execução de aplicação e de colagem (C – B.E.1.). Por sua vez, as variações de humidade (C – B.A.2.) poderão acelerar o processo de destacamento e conseqüente degradação do revestimento de pavimento em questão. Analogamente, as anomalias B.3.(2) poderão estar associadas à inadequação da estrutura de revestimento de pavimento (C – B.P.2.), assim como atividades desajustadas de limpeza e de manutenção efetuadas (C – B.U.1., C – B.U.2. e C – B.U.3.).

A totalidade das anomalias B.5.(2) (Figs. 4.68b, 4.68c) observadas encontra-se em compartimentos localizados na zona frontal e posterior do edifício, visto que, somente, nestes locais localizam-se caixilhos exteriores. De facto, nos compartimentos C e F (no segundo piso) e G e F (no terceiro e quarto piso), é evidente uma acentuação dos fenómenos de descoloração e de manchas nos pavimentos de madeira, resultado do reduzido desnível entre o pavimento interior e o pavimento exterior da varanda (Fig. 4.68d). Em circunstâncias de obstrução dos dispositivos de drenagem pluvial (devido à acumulação de sujidade e de detritos), acrescentado a presença de uma fraca pendente, nos locais das varandas, torna-se obvio a entrada de água de precipitação para o interior do edifício (tendo em consideração o alto nível de degradação do revestimento dos caixilhos). Assim sendo, as anomalias B.5. encontram-se associadas à ocorrência de infiltrações providas de caixilhos exteriores (C – B.U.4.), assim como eventuais atividades desajustadas de limpeza e de manutenção (C – B.U.2. e C – B.U.3.), assim como a ação dos raios solares (C – B.A.1.).

#### 4.4.3.3 ANOMALIAS GRUPO C.

Relativamente à única anomalia observada do Grupo C., corresponde à degradação do revestimento de pedra calcária do tipo encarnada Negrais (Fig. 4.79), manifestada em alguns locais da fachada frontal do edifício.



Figura 4.79 - Ocorrência da anomalia C.4.(1).

Assim sendo, as causas que poderão ter desencadeado tal anomalia, encontram-se associadas à seleção incorreta do tipo de acabamento e espessura do revestimento pétreo (C – C.P.1.) utilizado e à tipologia de fixação do mesmo (C – C.P.3.). Os erros provindos da aplicação (C – C.E.1.), da produção e /ou transporte (C – C.E.2.), e da ausência de manutenção e limpeza (C – C.U.1.), foram igualmente considerados na avaliação do presente diagnóstico. Porém, o envelhecimento natural do revestimento pétreo (C – C.A.3.), foi considerada uma causa provável da anomalia questão.

#### 4.4.3.3.4 ANOMALIAS GRUPO D.

Constatou-se cerca de cinco tipos de anomalias no revestimento de alumínio em caixilhos exteriores (D.2.(2), D.3.(2), D.4.(2), D.5.(1) e D.7.(2)). Porém, a totalidade das anomalias foi verificada apenas no segundo piso, onde no terceiro piso não se constatou a anomalia D.5.(1) e D.7.(2) e no quarto piso não se evidenciou a anomalia D.5.. O diagnóstico para as anomalias D.2.(2) (Figs. 4.67a, 4.67b, 4.67c), D.3.(2), D.4.(2) (Fig. 4.67f) e D.7. é idêntico ao referido anteriormente em §4.4.2.3.4 (referente às anomalias do grupo de pisos II). Contudo será importante referir que as anomalias D.2.(2), D.3.(2) (Fig. 4.80) e D.4.(2) presentes no presente grupo de pisos em avaliação, possuem um grau de deterioração, significativamente, mais elevado, comparativamente ao idêntico tipo de anomalias, presente no segundo grupo de pisos (rés-do-chão e primeiro piso).

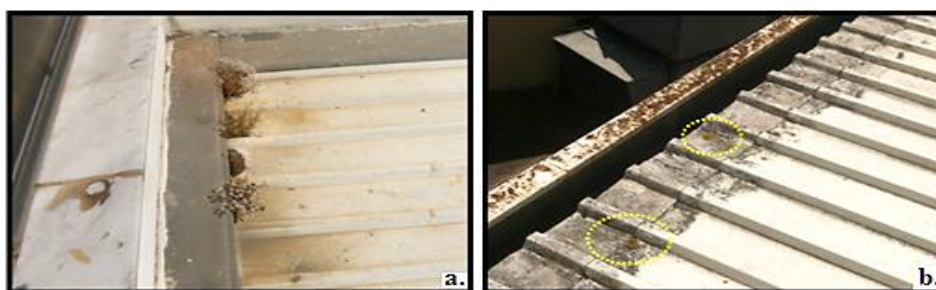


Figura 4.80- Ocorrências da anomalia D.3.(2).

Por fim, as anomalias **D.5.(1)** (**Fig. 4.67e**) foram associadas à possível aplicação incorreta do material de vedação (**C – D.E.3.**), assim como a própria qualidade dos materiais utilizados (**C – D.E.6.**) (tendo em consideração a sua certificação e/ou homologação) e às inadequadas atividades de lavagens (**C – D.U.1.**), exercidas nos elementos de caixilhos exteriores. Porém a ação da radiação solar (**C – D.A.2.**), biológica (**C – D.U.5.**) e química de detritos e/ou de sujidade acumulada (**C – D.A.1.**) foram igualmente consideradas no diagnóstico, da referida anomalia.

#### 4.4.3.3.5 ANOMALIAS GRUPO F.

Na cobertura inclinada de revestimento de chapa metálica canelada lacada (Piso nº2) foram observadas ocorrências de crescimento biológico (**C – F.U.3.**) de líquenes e de plantas vegetativas (**F.1.(1)**) na sua superfície (**Fig. 4.81**).



**Figura 4.81** - Ocorrências da anomalia F.1.(1), no segundo piso.

Tal situação resultou, essencialmente, da fraca pendente que a cobertura possui (**C – F.P.2.**), proporcionando a acumulação de detritos em locais particulares da cobertura. A ação da radiação solar (**C – F.A.2.**), acrescentando ao facto da inexistência de trabalhos de manutenção/limpeza (**C – F.U.3.**), os quais possibilitam o desencadeamento e a progressão do surgimento, de tais anomalias.

#### 4.4.3.3.6 ANOMALIAS GRUPO G.

No que diz respeito às anomalias em elementos estruturais de betão armado, verificaram-se, somente, situações anómalas em dois pilaretes presentes na zona B, do segundo piso.

Como tal, constatou-se cerca de quatro tipos de anomalias pertencentes ao grupo G. (**G.2.(3)**, **G.3.(3)**, **G.4.(1)**, **G.5.(1)**), onde a quantificação das situações de carbonatação (**G.4.(1)**) e de ataque de cloretos (**G.5.(1)**) foi obtida através da campanha de inspeção realizada ao pilarete nº 2 (**Fig. 4.83**). Porém, os fenómenos de destacamento de tinta (**G.2.(3)**) e de eflorescências (**G.3.(3)**) foram observados em ambos os pilaretes (pilarete nº 1 e pilarete nº 2).

Na realidade, o nível de degradação, dos pilaretes nº1 e nº2, é significativamente elevado. Tal facto advém, exclusivamente, da infiltração de água de precipitação através dos caixilhos exteriores (**C – G.E.3.** e), onde por consequência, proporcionará o crescente humedecimento dos materiais, em questão. No **Quadro 4.30**, poder-se-á observar teores de humidade elevados em pilaretes e medianamente elevados nas paredes exteriores de varandas (encontrando-se adjacentes aos pilaretes), das zonas D e E.

Através da **Figura 4.85c** poder-se-á verificar que a parede exterior de varanda, da zona D, apresenta evidências de destacamento, de fissurações e de infiltrações de água no suporte aplicado, resultado da deficiente conceção e execução dos parapeitos (inexistência de pingadeiras). Por consequência, verifica-se a diferença de tonalidade do suporte do pilarete nº2 (**Fig. 4.85a**) que evidencia a concentração de teores de humidade mais elevados até a altura de 0,90m (coincidente com altura da parede exterior das varandas).

Assim sendo, devido ao estado de degradação do paramento exterior da varanda (elevado nível de humedecimento), acrescentando a reduzida estanquidade dos caixilhos exteriores, desencadeou-se os efeitos de eflorescências, de destacamentos e empolamentos da película de tinta, dos paramentos interiores dos pilaretes. Porém, os efeitos de deterioração do pilarete nº 1 são, francamente, inferiores aos dos verificados no pilarete nº2, devendo-se, provavelmente, ao nível moderado de conservação da parede exterior de varanda, da zona E (resultado de valores de humidade significativamente mais reduzidos do que a parede exterior de varanda da zona D).

**Quadro 4.30** – Representação dos teores de humidade obtidos na superfície de revestimento aplicado nos pilaretes de betão armado e em paredes exteriores de varandas do segundo piso.

| Elementos construtivos               | Teor de Humidade (%) |        |
|--------------------------------------|----------------------|--------|
|                                      | Mínimo               | Máximo |
| Pilarete nº1                         | 0,80                 | 4,07   |
| Parede exterior de varanda da zona E | 1,19                 | 5,60   |
| Pilarete nº2                         | 2,31                 | 16,51  |
| Parede exterior de varanda na zona D | 3,80                 | 8,00   |

Como tal, o elevado estado de deterioração que os caixilhos exteriores (**C – G.U.1.**) promove variações de humidade cíclicas (**C – G.A.1.**) (teores de humidade elevados em períodos de precipitação e teores de humidade reduzidos em períodos secos) provocando a progressiva perda de aderência entre o suporte de betão armado e a tinta aplicada, surgindo, primeiramente, os efeitos de empolamento, seguidos dos destacamentos do revestimento de tinta (**Fig. 4.82c**).



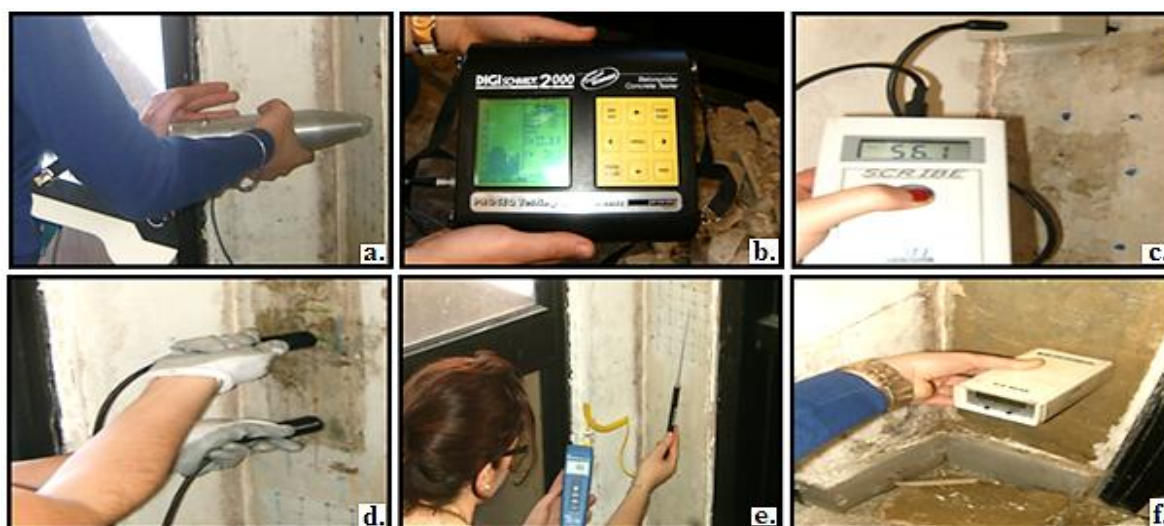
**Figura 4.82** - a. Representação da superfície de betão armado após a realização do ensaio da fenolftaleína; b. Representação da superfície de betão armado após a colocação de nitrato de prata; c. Ocorrência da anomalia G.2.(3).

Tendo em conta a presença de humidade de precipitação, as situações de eflorescências esbranquiçadas (**G.3.(3)**) advêm da dissolução de sais presentes na composição do suporte, assim como da cristalização dos mesmos (sobre a superfície do revestimento final aplicado). Porém, a generalidade das situações de depósitos brancos são facilmente confundíveis com os efeitos de carbonatação do carbonato de cálcio (bastante presentes em rebocos pré-doseados). Tal fenómeno é caracterizado pelo efeito eflorescente na presença de ácido clorídrico nas superfícies esbranquiçadas (Flores-Colen & Brito, 2012 citando Flores-Colen, 2008), mas na presente situação, não se evidenciou

qualquer indício de tal natureza. Será importante referir que as condições insuficientes de ventilação e de aquecimento (C – G.U.2.), da zona B, possuem um efeito nefasto para as ocorrências das referidas eflorescências. Porém, será importante referir que constatou-se a presença insignificante de iões sulfatos (< 200 mg/l) (Amostra 1), assim como a inexistência de iões cloretos na composição das mesmas (Quadro 4.25).

#### 4.4.3.3.6.1 CAMPANHA DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO AO PILARETE Nº2 (2º PISO)

Como mencionado anteriormente, foram realizadas duas campanhas de inspeção e diagnóstico em elementos de betão armado específicos (pilaretes) no segundo e sétimo piso. Relativamente ao segundo piso realizou-se cerca de oito técnicas *in situ* (TD-2-ND-1, TD-2-ND-3, TD-2-ND-4, TD-2-ND-5, TD-2-ND-6, TD-2-ND-7, TD-2-ND-8 e TD-2-ND-9) (Fig. 4.85b), sendo que a análise dos resultados do ensaio de ultra-sons não será efetuada, tendo em conta a obtenção de dados não conclusivos.



**Figura 4.83** – Algumas técnicas de diagnóstico realizadas durante a campanha de inspeção e diagnóstico ao pilarete nº2: a. TD – 2 – ND - 6; b. Representação dos dados obtidos após a realização do esclerómetro; c. TD – 2 – ND – 9; d. TD – 2 – ND – 7; e. TD – 2- ND -5; f. TD - 2 – ND – 1.

No que diz respeito à avaliação da dureza superficial do dado elemento construtivo, através da realização do ensaio de esclerómetro de *Schmidt*, realizou-se cerca de 25 medições (Fig. 4.84) numa área de aproximadamente de 12,5cm x 12,5cm.



**Figura 4.84** – Representação das zonas das medições efetuadas pelo aparelho Esclerómetro *Schmidt*, do pilarete nº 2, do segundo piso.

Visto que durante a calibração do Esclerómetro *Schmidt* utilizado, ocorreram alguns casos de resultados que não verificaram sequer o valor mínimo de ressalto (valor de referência presente na bigorna igual a 79), introduziu-se uma correção no número de ressalto medido, proporcional à diferença registada na bigorna. Desta feita, e tendo em consideração os esclerómetro do Tipo N/NR, para  $n$  resultados obtidos numa localização, o valor médio do número de ressalto (corrigido)  $R$ , pode ser obtido pela seguinte Expressão 6 (Nepomuceno, 1999 citando PROCEQ S.A.):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \times \frac{R_r}{R_a} \quad (6)$$

Onde,

- $R$  = Valor médio do número de ressalto (corrigido) numa localização;
- $R_i$  = Número de ressalto do ensaio ( $i$ ) (sem correção);
- $n$  = Número de leituras individuais;
- $R_a$  = Número de ressalto do esclerómetro quando aplicado na bigorna;
- $R_r$  = Número de ressalto de referência na bigorna.

Posto isto, e após o tratamento estatístico dos valores das 25 medições, tendo como base as normas ASTM C805/C805M-08 e NP EN 12504: 2, analisou-se dez valores de índices esclerométricos, obtendo-se desta forma, um valor médio de  $n^\circ$  de ressalto igual a 34,18 (**Quadro 4.31**).

**Quadro 4.31** - Resultados obtidos do ensaio com o Esclerómetro Schmidt do tipo N, no pilarete  $n^\circ$  2 do segundo piso.

| Ensaio da dureza superficial (aparelho na posição horizontal) |                                       |                                |              |                 |             |               |                              |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------|---------------|------------------------------|
| Zonas   | Valor de índice esclerométrico obtido | Número de ensaios considerados | Valor Máximo | Valor mínimo    | Valor Médio | Desvio Padrão | Coefficiente de Variação (%) |
| 2   | 34                                    | 10                             | 35           | 32 <sup>8</sup> | 34,18       | 1,075         | 3,145                        |
| 3   | 34                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 4   | 33                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 6   | 33                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 9   | 35                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 10  | 33                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 13  | 35                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 14  | 32                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 20  | 32                                    |                                |              |                 |             |               |                              |
| 25  | 33                                    |                                |              |                 |             |               |                              |

<sup>8</sup> Valor médio do número de ressalto, tendo em conta a correlação da calibração do aparelho.

Desta feita, e tendo como base o ábaco de correlação entre o índice esclerométrico e o valor de resistência à compressão característica em provetes cilíndricos (**Fig. 3.19**), obteve-se uma resistência à compressão característica média em cilindros ( $f_{ck_{cyl}}$ ) de cerca de 26 MPa (**Quadro 4.32**), a qual, aproximadamente, corresponde à classe de resistência C25/30 de betão.

**Quadro 4.32** – Valores de resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos, obtidos no pilarete  $n^\circ$  2.

|  |       |
|--|-------|
| Resistência à compressão característica média (MPa)  | 26,44 |
| $\Delta$   | 5,80  |
| Resistência à compressão característica mínima (MPa) | 20,64 |
| Resistência à compressão característica máxima (MPa) | 32,24 |

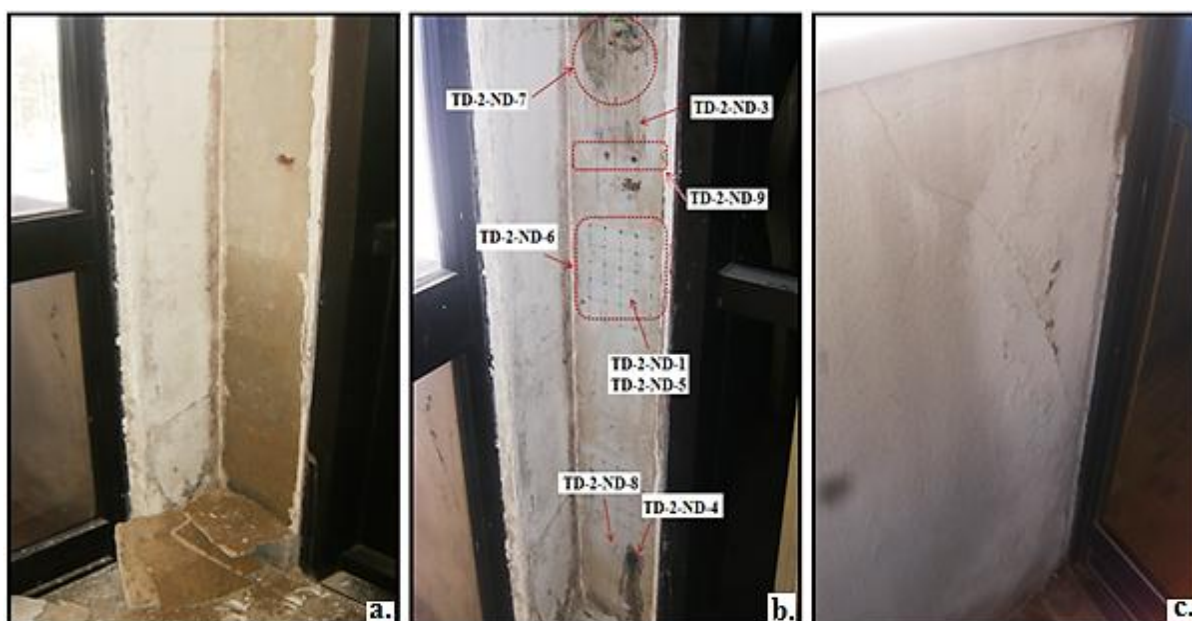
Importará referir que os valores de temperatura e de humidade no local em que se efetuou o ensaio encontravam-se entre os valores impostos pela NP EN 12504:2 (**Quadro 4.33**).

Por fim, e tendo em conta os valores obtidos através da realização do ensaio da resistividade elétrica (56 K  $\Omega$  cm) poder-se-á admitir que existe uma insignificante possibilidade de corrosão de aço, conforme a informação apresentada no anterior **Quadro 3.16**, nos locais analisados.

**Quadro 4.33** – Valores de temperatura e de humidade medidos na área de ensaio do Esclerómetro *Schmidt*, no pilarete nº2, do segundo piso.

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura betão máxima (°C) | 21,80 |
| Temperatura betão mínima (°C) | 16,40 |
| Teor de humidade máximo (%)   | 14,34 |
| Teor de humidade mínimo (%)   | 1,89  |

O efeito de carbonatação de betão armado, foi evidenciado através do ensaio demonstrativo de aplicação da fenolftaleína (descrito em §3.5.2.8). Como tal, realizou-se um furo com cerca de 1,5 cm de diâmetro (**Fig. 4.82a**), com uma profundidade de cerca de 1cm, para que fosse possível a verificação da profundidade de carbonatação. Assim sendo, ao aspergir a solução de fenolftaleína no furo realizado, observou-se uma profundidade de carbonatação bastante superficial, com cerca de 2 a 3 mm (**Fig. 3.35**), evidenciada através do contraste da incoloração do betão (local carbonatado), com a cor de carmim (local não carbonatado). Tendo em conta o que foi referido em §3.5.2.8, tal ocorrência é desencadeada, essencialmente pela presença do dióxido de carbono, onde a presença de humidade elevada (**C – G.E.3.**, **C – G.A.1.**) proporciona a progressão dos efeitos.



**Figura 4.85** - a. Paramento interior do pilarete nº2 após o destacamento do revestimento final; b. Representação do paramento interior após a realização das técnicas de diagnóstico elaboradas; c. Estado de degradação da parede exterior de varanda, adjacente ao pilarete nº2.

Relativamente à presença de cloretos na composição do betão armado, do elemento estrutural em análise, foi demonstrado através do ensaio de aplicação da solução de nitrato de prata (descrito em §3.4.2.9). Semelhante ao efetuado no ensaio da fenolftaleína, realizou-se um furo no paramento de betão armado para que fosse possível a colocação da solução de nitrato de prata (**Fig. 4.82b**). Como tal tornou-se possível a observação da formação de sólidos brancos com reduzidas dimensões (**Fig. 4.86**), no interior do furo, indiciando a presença de cloretos na composição do betão.



**Figura 4.86** - Representação da formação de depósitos brancos no local do ensaio de aplicação de nitrato de prata.

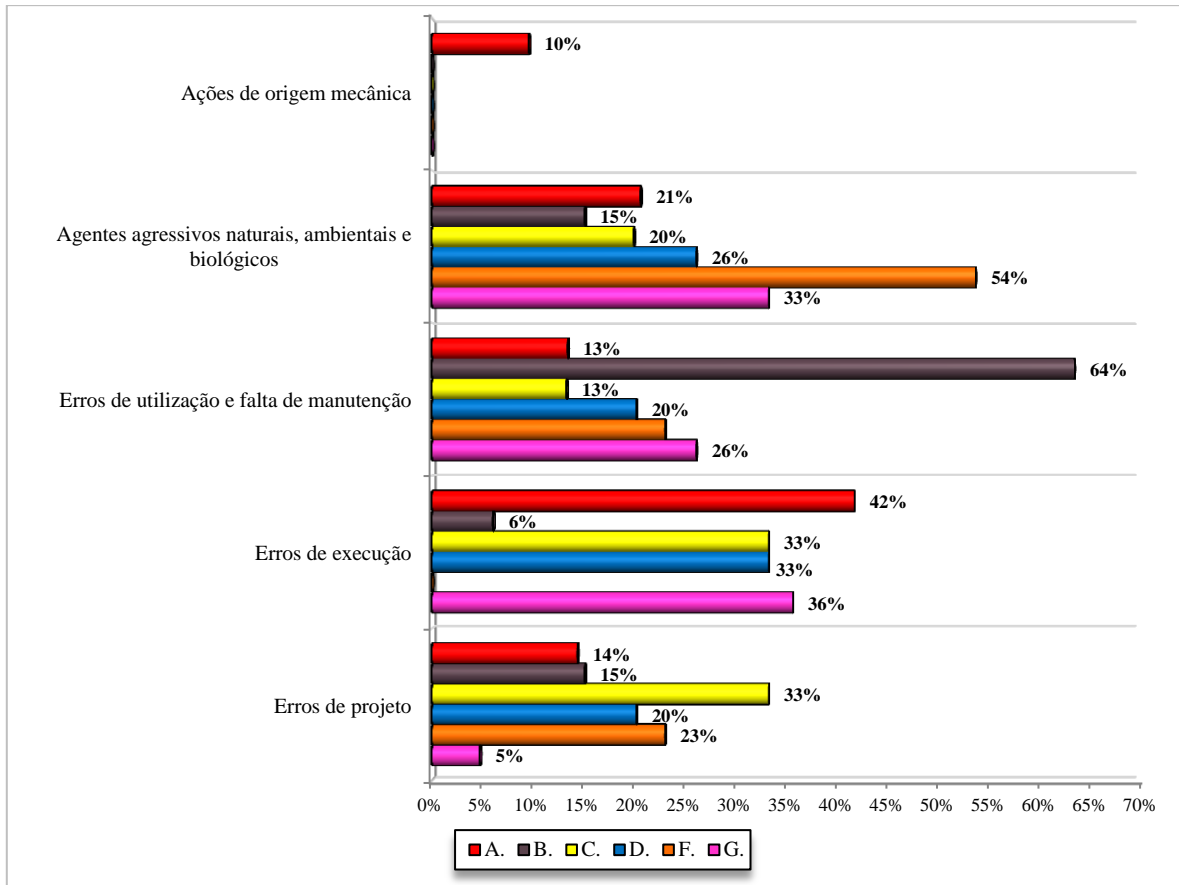
Assim sendo a causa que poderá estar relacionada com a ocorrência da anomalia **G.5.(1)**, encontra-se associada à utilização de areias impróprias para a realização do ligante de betão armado, devido à presença excessiva de iões de cloreto (**C – G.E.2.**) (**Quadro 3.18**). Porém, a dimensão reduzida de recobrimento utilizado (**C – G.P.4.**) associada às variações de humidade averiguadas (**C – G.A.1.**), poderão a longo prazo, reduzir o período inicial de entrada de cloretos no betão, acelerando, desta forma, os efeitos de corrosão de armaduras. Contudo, e tendo como base o referido em **§3.5.2.9**, será importante salientar que a utilização de medidas de recobrimentos elevadas, não aumenta a resistência de penetração de cloretos em peças de betão, prolongando, unicamente, o período inicial de entrada dos cloretos no betão. Por fim, será importante salientar que as técnicas de diagnóstico (TD-2-ND-4 e TD-2-ND-8) possuem um caráter demonstrativo, onde em circunstâncias de aplicação *in situ*, a observação e a coerência de resultados foi significativamente afetada pelas condições existentes (ao contrário da realização dos mesmos, em conjunturas de realização em laboratório).

#### **4.4.3.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE ANOMALIAS COM AS POSSÍVEIS CAUSAS**

Tendo em conta o que foi mencionado em **§4.4.3.3**, as matrizes de correlação da totalidade das anomalias evidenciadas com as possíveis causas associadas encontram-se no **Anexo 2.III**.

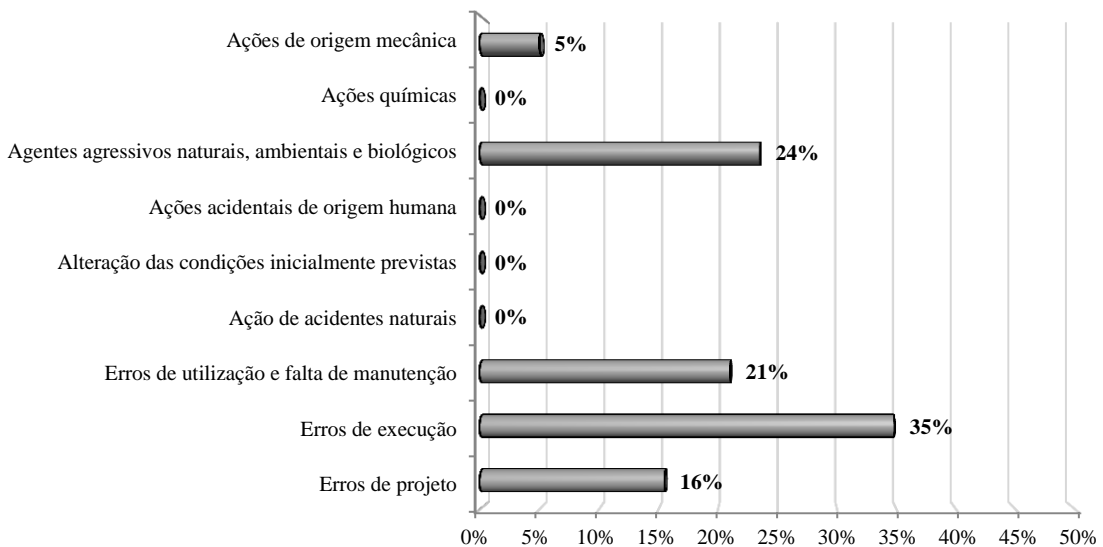
#### **4.4.3.5 RESULTADOS FINAIS**

Tendo em conta os valores da **Figura: 4.87**, poder-se-á verificar que as causas associadas às ações de agentes agressivos, naturais, ambientais e biológicos, aos erros de utilização e falta de manutenção, e aos erros de projeto foram associados aos seis grupos de anomalias evidenciadas, no presente grupo de pisos. Por sua vez os erros de execução foram apenas associados aos grupos de anomalias A., B., C., D. e G., onde as causas associadas ações mecânicas foram associados, exclusivamente, ao grupo de anomalias A. Contudo as causas advindas das ações químicas, das ações de acidentes de origem humana e natural, assim como as consequências das alterações das condições inicialmente previstas não foram associadas a nenhuma ocorrência anómala (**Fig. 4.88**), dos três pisos avaliados.



**Figura 4.87** - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no terceiro grupo de pisos.

Como tal, poder-se-á admitir (**Fig. 4.88**) que a generalidade das anomalias evidenciadas no grupo de pisos em análise encontra-se associada a erros surgidos na fase de execução (35%), ao contrário da influência de ações de origem mecânica, as quais foram associadas cerca de 5% das ocorrências anómalas.



**Figura 4.88** - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do terceiro grupo de pisos considerado.

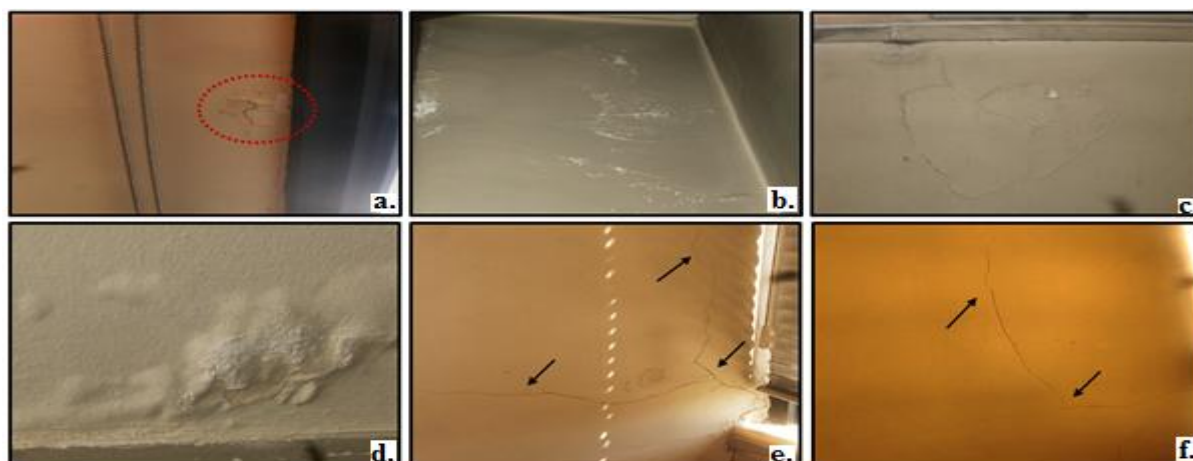
#### 4.4.4 GRUPO IV – QUINTO, SEXTO E SÉTIMO PISO

O quarto grupo de pisos é constituído pelo quinto, sexto e sétimo andar (**Anexo 1.IV**), onde se evidenciou seis grupos de anomalias. Os presentes pisos considerados possuem situações anómalas bastantes idênticas, onde o sétimo andar possui a maior quantificação de anomalias, devendo-se essencialmente às manifestações de infiltrações em tetos (proveniente da deficiente conceção e execução da cobertura horizontal do piso superior). Porém, tal como realizado anteriormente no segundo andar, no sétimo piso concretizou-se uma campanha de inspeção e diagnóstico a um pilarete, da zona C.

##### 4.4.4.1 AVALIAÇÃO DETALHADA, CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS

Relativamente ao grupo de anomalias A., evidenciou-se oito tipos de anomalias (**A.2.(3)**, **A.3.(4)**, **A.4.(6)**, **A.5.(3)**, **A.6.(3)**, **A.7.(5)**, **A.9.(2)**, **A.10.(2)** e **A.12.(2)**), concretizando cerca de 48 anomalias, na totalidade dos pisos em análise. Tal como referido anteriormente, no terceiro grupo de pisos, a significativa maioria das anomalias do grupo A. (**A.2.**, **A.3.**, **A.4.**, **A.5.**, **A.7.** e **A.9.**) advêm da falta de estanquidade dos caixilhos exteriores, provocando a ação constante de infiltrações de água, sobre os paramentos e pavimentos interiores, do edifício. Assim sendo as manifestações de fissurações não definidas (**Figs. 4.89e, 4.89f**), foram observadas, na totalidade dos pisos, nas zonas M e N, em paredes orientadas a norte e a sul, respetivamente. Por sua vez, as evidências de destacamento de película de tinta (**A.3.(4)**) (**Fig. 4.89a**), de eflorescências (**A.4.(6)**) (**Figs. 4.89b, 4.89c**) e de destacamento (**A.5.(3)**) e biodeterioração (**A.9.(2)**) de reboco aplicado foram observados na zona P e em algumas circunstâncias nas zonas M e N.

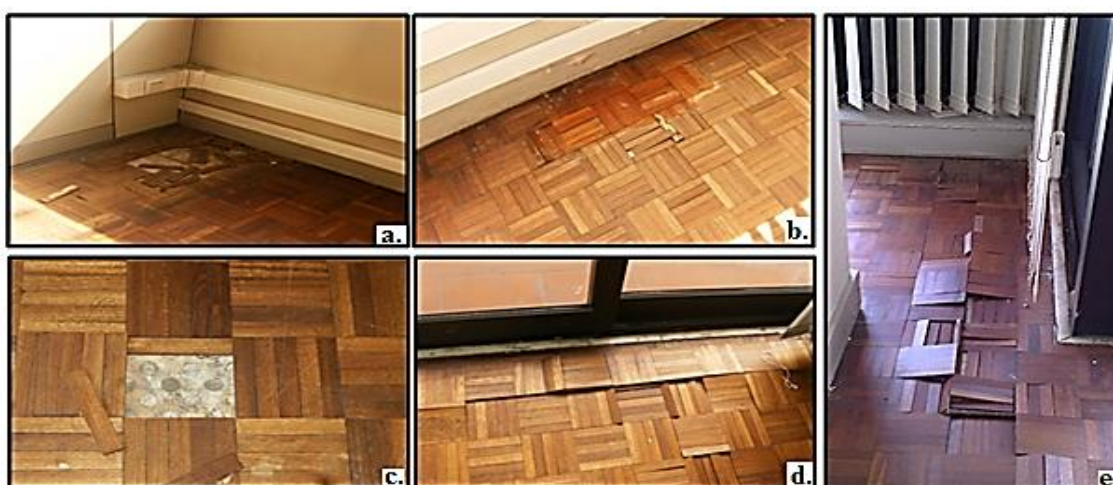
Contudo, a maioria das anomalias referidas anteriores foram observadas nos três pisos em análise, excetuando as anomalias **A.3.(4)** e **A.7.(5)** que foram observadas, exclusivamente, no quinto e sétimo piso, respetivamente, assim como as ocorrências de anomalias **A.9.(2)**, manifestadas no quinto e sexto piso. Os espectros fantasmas interiores (**A.6.(3)**) foram observados em paredes orientadas a norte e a sul, das zonas M e N respetivamente, onde os efeitos manifestados no quinto piso são francamente mais acentuados, quando comparados com os restantes andares, do grupo de pisos em avaliação.



**Figura 4.89** – Representação de anomalias: a. Ocorrências da anomalia **A.3.(4)**; b.; c. Ocorrência da anomalia **A.4.(6)**; d. Ocorrência da anomalia **A.7.(5)**; e.; f. Ocorrências da anomalia **A.2.(3)**.

Tal como evidenciado no grupo de pisos anterior (Grupo III), as escorrências em paredes exteriores das duas varandas (Zona D e E) também foram evidenciadas nos três andares, em avaliação. Por fim, a anomalia **A.10.(2)** associa-se à manifestação de manchas de infiltração de água em tetos nas zonas G e F, do sétimo piso. Contudo, numa circunstância extrema, a elevada presença de humidade fez com que caísse uma porção significativa de teto falso, do compartimento da zona F.

Relativamente às anomalias evidenciadas no pavimento de *parquet* de madeira (31 anomalias) encontram-se relacionadas com o destacamento (**B.1.(3)**) (Figs. 4.90a, 4.90c), deformação/levantamento (**B.2.(2)**) (Figs. 4.90d, 4.90e) e descoloração (**B.5.(3)**) (Fig. 4.90b) do revestimento em locais junto a caixilhos exteriores das zonas C, B, F, G, P, N e M. Porém, também se observou, no sexto e sétimo piso, ocorrências de desgastes prematuros e acentuados da camada superficial (**B.3.(3)**) do revestimento em questão, mais concretamente nas zonas G, H, K, L, M e P.



**Figura 4.90** – Representação de anomalias: a.; c. Ocorrências de anomalias B.1.(3); b. Ocorrência da anomalia B.5.(3); d.; e. Ocorrências de anomalias B.2.(2).

No que diz respeito às anomalias quantificadas em elementos pétreos (13 anomalias), manifestaram-se dois tipos de anomalias (**C.3.(1)** e **C.4.(2)**) (Fig. 4.92) no revestimento de pedra calcária, da fachada frontal do edifício. Como tal, evidenciou-se ocorrências de degradação, possuindo efeitos idênticos aos já referidos em §4.4.3.3.3, assim como manifestações de eflorescências escorridas de tonalidade branca, nos locais de junta do referido revestimento.

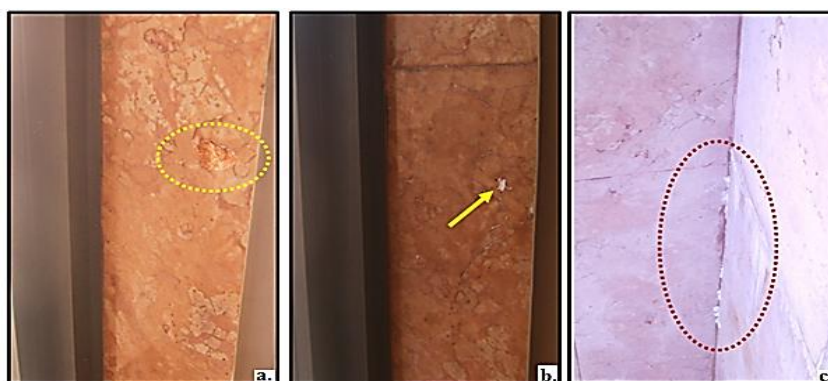
A maioria das anomalias observadas nos caixilhos exteriores (57 anomalias) é idêntica às ocorrências manifestadas no segundo e no terceiro grupo de pisos (**D.2.(3)**, **D.3.(3)**, **D.4.(3)**, **D.5.(2)** e **D.7.(3)**). Porém, surgiram dois tipos de anomalias, que anteriormente não se tinham observado, encontrando-se associadas à manifestação de condensação interior em caixa-de-ar dos vidros duplos (**D.1.(1)**), no sétimo piso, assim como a quebra de um vidro (**D.6.(1)**), evidenciada no sexto piso.

Respeitante às anomalias em elementos estruturais de betão armado (19 anomalias), evidenciou-se seis tipos de anomalias (**G.1.**, **G.2.**, **G.3.**, **G.4.**, **G.5.** e **G.6.**), na totalidade. Relativamente à anomalia **G.1.(1)** (Fig. 4.91), encontra-se associada à manifestação de fissurações definidas num pilar específico da zona J, na totalidade dos pisos considerados.



**Figura 4.91** - Ocorrências da anomalia G.1.(1).

Por sua vez as ocorrências de destacamento da película de tinta e de eflorescências foram observadas nos pilaretes nº1 e nº2, das zonas C e B na maioria dos três pisos. Porém, apenas no pilarete nº1 do sétimo piso, foram constatados os efeitos da carbonatação (**G.4.(2)**) e da presença de cloretos na composição do betão armado (**G.5.(2)**), tendo em conta a campanha de inspeção realizada a tal componente construtivo (**Fig. 4.106**). Será importante referir que foram observados princípios de surgimento de estalactites em lajes de tetos de varandas exteriores (**G.6.(2)**), nas zonas D e E, na totalidade dos pisos considerados. Por fim, foram quantificadas dois tipos de anomalias pertencentes ao grupo H., encontrando-se associadas aos efeitos de descoloração (**H.3.(1)**) e de crescimento vegetativo (**H.4.(1)**) em elementos cerâmicos, de pavimentos nas varandas (zona D e E), onde a anomalia **H.3.(1)** foi observada no sexto piso, e a anomalia **H.4.(1)** foi observada no quinto e sexto piso.



**Figura 4.92** – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências de anomalias C.4.(2); c. Ocorrência de anomalia C.3.(1).

Assim sendo, constatou-se a totalidade de 171 anomalias, onde as anomalias do tipo **D.2.** e **D.3.** são as mais frequentes (13%), em oposição às anomalias **A.3.**, **A.7.**, **C.3.**, **D.1.**, **D.5.**, **D.7.**, **D.6.**, **G.4.**, **G.5.**, **H.3.** e **H.4.**, possuindo cerca de 1% de frequência de observação, cada uma. Através da **Figura: 4.93**, poder-se-á verificar a significativa diversidade de ocorrências anómalas, no grupo de pisos considerados, onde em certas circunstâncias, a frequência de ocorrência de diferentes tipos de anomalias são equivalentes (dando como exemplo as anomalias **G.3.** e **G.6.**, possuindo cerca de 3%, e as anomalias **A.5.** e **B.1.**, possuindo cerca de 8% de frequência de observação).

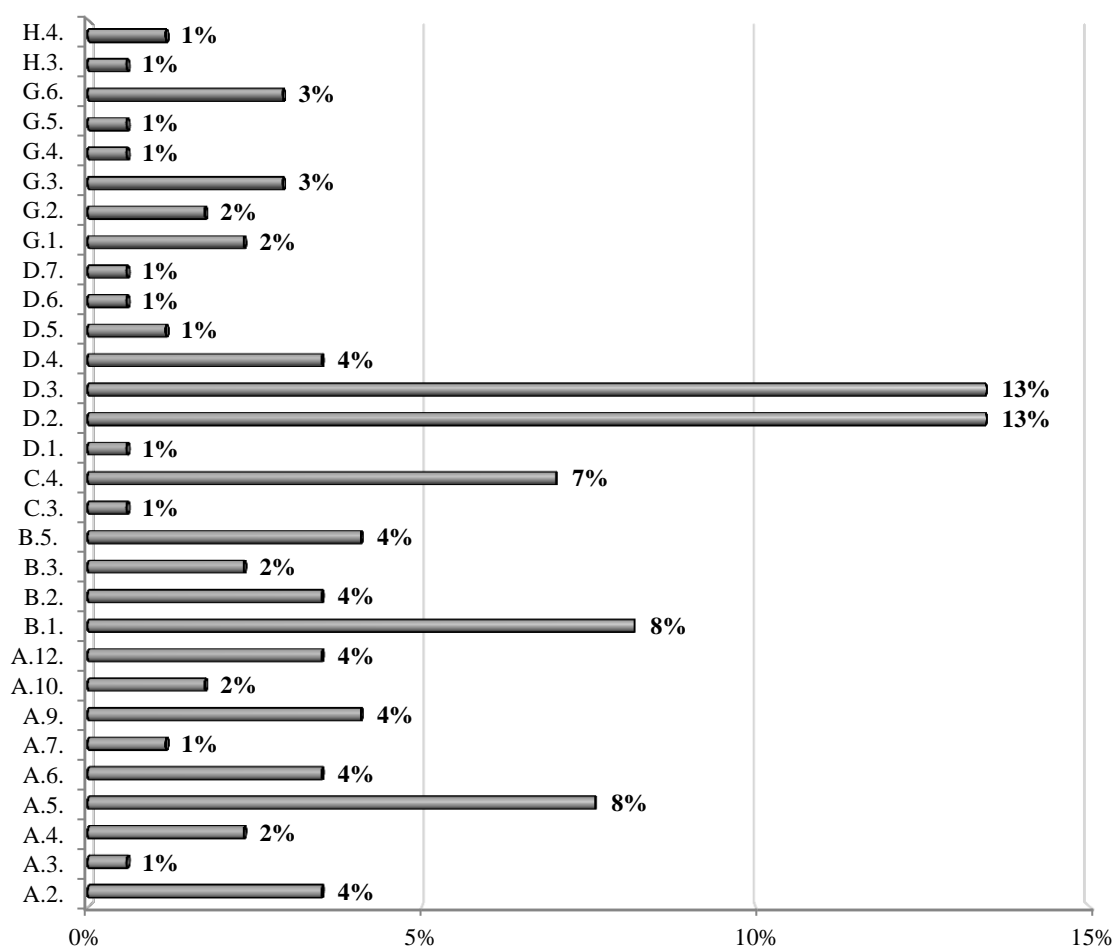


Figura 4.93 - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no quinto, sexto e sétimo piso.

Relativamente à classificação das ocorrências anómalas (**Anexo 2.IV**), as anomalias que evidenciam prioridade máxima de reparação/intervenção encontram-se associadas à degradação do revestimento de caixilhos exteriores de alumínio (**D.2.**) e às infiltrações de água daí providas (**D.3.**). De facto, cerca de 81% das situações anómalas evidenciadas do grupo de anomalias D. necessitam, a curto prazo, de trabalhos de reparação/intervenção (**Fig. 4.94**).

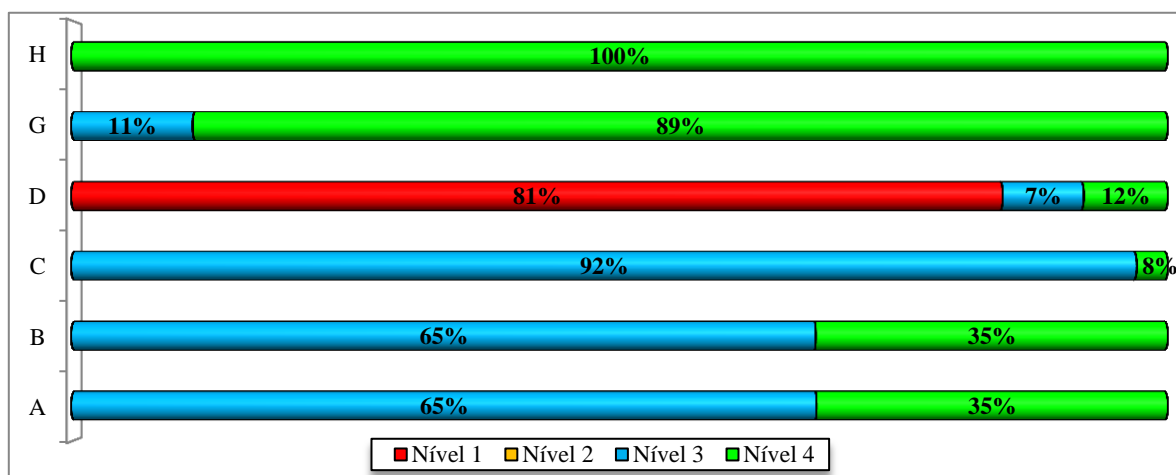


Figura 4.94 - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no quinto, sexto e sétimo piso.

Porém, as anomalias dos grupos A., B., C. e G. caracterizam-se pela mínima (Nível 4) e pequena (Nível 3) prioridade de intervenção, onde a totalidade das anomalias do grupo H. encontra-se, exclusivamente, classificada pela necessidade de reparação/intervenção mínima (Nível 4).

#### **4.4.4.2 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS**

Neste grupo de pisos em análise, realizaram-se os 11 tipos de técnicas/meios de diagnóstico propostas. A maioria das circunstâncias de anomalias privilegiou-se a utilização do humidímetro (TD-2-ND-1), assim como a do termómetro (TD-2-ND-5). Em certas circunstâncias de eflorescências em pilaretes (**G.3.**) recorreu-se à realização de amostras, para posterior análise laboratorial, através das fitas colorimétricas (TD-3-IPS-1), e na totalidade de ocorrências de **A.2.** e **G.1.** utilizou-se TD-1-AVA-1. Por fim, a técnica de termografia (TD-2-ND-2) foi utilizada numa situação de anomalia **A.6.**, evidenciada no quinto piso.

Contudo em treze anomalias (**A.10.**, **B.3.**, **B.5.**, **C.3.**, **C.4.**, **D.1.**, **D.2.**, **D.4.**, **D.5.**, **D.6.**, **D.7.**, **G.6.**, **H.3.** e **H.4.**) não foram realizadas técnicas específicas de diagnóstico, utilizando-se, apenas, o meio de inspeção visual para o possível diagnóstico das mesmas. Será importante referir que na campanha de inspeção, realizada ao pilarete nº 1 do sétimo piso, utilizou-se as técnicas de diagnóstico de esclerómetro (TD-2-ND-6), de ultra-sons (TD-2-ND-7), de resistividade elétrica (TD-2-ND-9), assim como a realização de ensaios comprovativos de carbonatação (TD-2-ND-8) e de presença de cloretos (TD-2-ND-4). Porém utilizou-se o pacómetro (TD-2-ND-3) como técnica auxiliar do ensaio de ultra-sons, no sétimo piso.

#### **4.4.4.3 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS ANOMALIAS**

##### **4.4.4.3.1 ANOMALIAS GRUPO A.**

Como já referido anteriormente, as condições de surgimento das anomalias relacionadas com a fissuração indefinida (**A.2.(3)**), destacamento (**A.3.(4)**) e empolamento de pintura (**A.7.(5)**), assim como as ocorrências de eflorescências (**A.4.(6)**) e de destacamento (**A.5.(3)**) e biodeterioração (**A.9.(2)**) em rebocos encontram-se, igualmente, associados à humidade presente na camada de suporte (**C – A.E.3.**), proveniente da deficiente estanquidade caixilhos exteriores (**C – A.E.5.**, **C – A.U.2.**), a qual proporcionou infiltrações de água de precipitação (**C – A.E.8.**) para os paramentos interiores das paredes exteriores consideradas. Assim sendo, e tendo em consideração a semelhança das configurações e das características físicas e higroscópicas das referidas anomalias, entre o terceiro e o quarto grupo de pisos, atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descritas em **§4.4.3.3.1**), para a determinação do diagnóstico das anomalias, do grupo de pisos em questão.

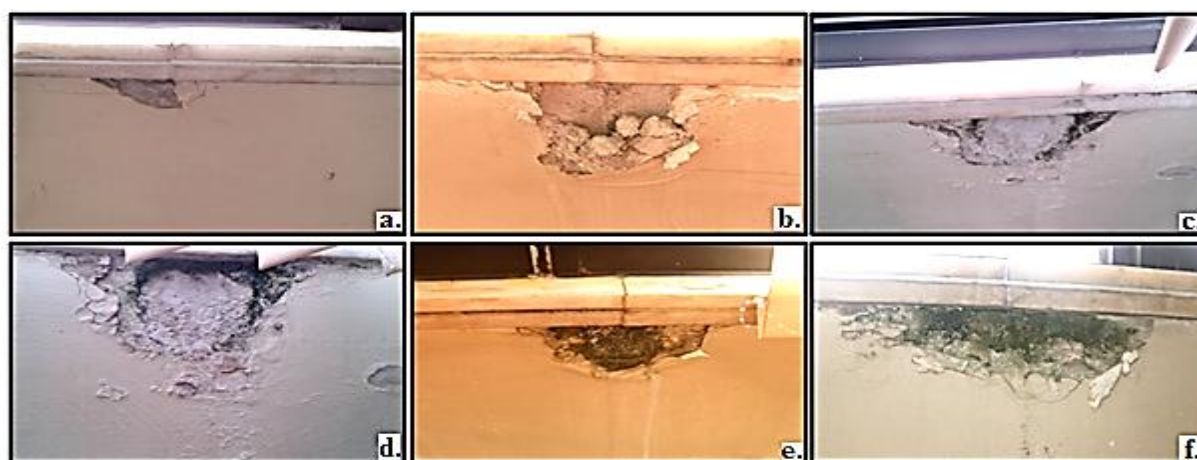
Tal método foi, igualmente, aplicado às situações de anomalias **A.6.(3)** e **A.12.(2)**, tendo em conta a correspondência de efeitos e características em relação ao mesmo tipo de anomalias do terceiro grupo de pisos. Contudo, seguidamente ir-se-á descrever as principais particularidades evidenciadas, durante os trabalhos de inspeção e diagnóstico, em cada tipo de anomalia do grupo A..

No que diz respeito às ocorrências de fissurações indefinidas **A.2.(3)** (**Figs. 4.89e, 4.89f**) em revestimentos de tinta são caracterizadas pela irregularidade de orientação, de definição e de largura

(entre 0,10mm e 0,25 mm) (**Quadro 3.11**), manifestando-se bastante superficiais, não apresentando qualquer tipo de rugosidade ou alteração de deslocamentos associados. Tais ocorrências foram verificadas em locais bastante próximos da instalação de caixilhos exteriores (em empenas orientadas a norte e a sul, ao longo da ascensão dos pisos considerados), caracterizados por teores de humidade razoavelmente elevados (entre 0,90% a 5,60%).

As anomalias **A.3.(4)** (**Fig. 4.89a**), **A.4.(6)** (**Fig. 4.89b, 4.89c**) e **A.7.(5)** (**Fig. 4.89d**), foram observadas em idênticos locais de paredes exteriores, das zonas M, N e P, manifestadas por diferentes efeitos associados. De facto a presença de humidade relativamente elevada (**C – A.E.3.**) (entre os 0,97% e os 5,4%) na camada de suporte suscita o humedecimento dos distintos materiais de acabamento utilizados, provocando o seu destacamento e/ou empoamento (por falta de aderência entre o material de acabamento aplicado e a camada de suporte), assim como a possível dissolução e cristalização de sais constituintes dos materiais aplicados (**C – A.E.11.**). Porém as variações de humidade (em períodos de precipitação e em períodos secos) (**C – A.A.2.**), de temperatura (**C – A.A.1.**), assim como as condições desfavoráveis de ventilação e de aquecimento (**C – A.U.1.**), evidenciadas nos compartimentos N e M, possuem um carácter decisivo para a evolução dos efeitos das anomalias referidas.

Relativamente às ocorrências das anomalias **A.5.(3)** (**Figs. 4.95a, 4.95b e 4.95c**), foram observadas na parede exterior nascente das zonas P, M e N, por consequência da ação contínua da humidade de precipitação (**C – A.E.8.**).



**Figura 4.95** – Representação de anomalias: a.; b. ;c. Ocorrências de anomalia A.5.(3); d.; e.; f. Ocorrências da anomalia A.9.(2).

Tal facto acabou por desencadear teores de humidade moderadamente elevados (**C – A.E.3.**) (entre os 1,08% e os 13,23%), proporcionando, desta forma, o destacamento do revestimento final aplicado (tinta). Porém em certos locais das anomalias **A.5.(3)**, para além do destacamento significativo de reboco, formou-se a deposição microrganismos na superfície exposta do reboco (**A.9.(2)**) (**Figs. 109d, 109e e 109f**), devendo-se essencialmente às condições de humidade instaladas (**C – A.E.3.**, **C – A.E.8.**), assim como as condições insuficientes de ventilação (**C – A.U.1.**).

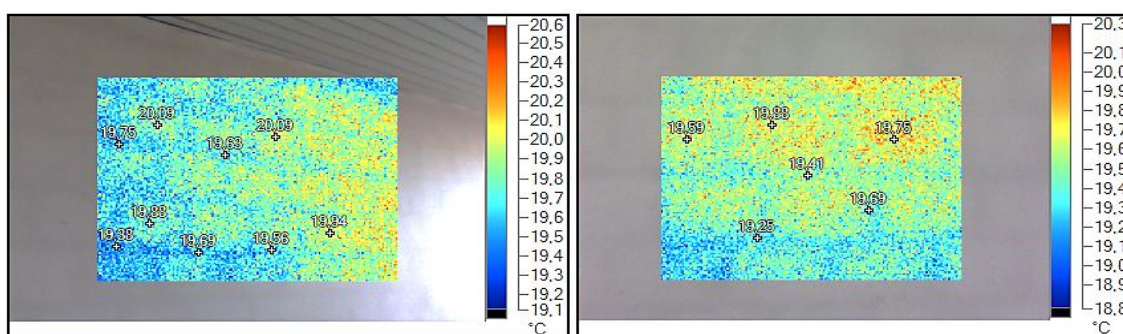
Relativamente à ocorrência de espectro fantasmas interiores (**A.6.(3)**) (**Fig. 4.96**) foram observados nas empenas do edifício, nos três pisos considerados, onde evidenciou-se um efeito mais acentuado na

empena norte, do quinto andar. Tendo como base os ensaios termográficos realizados (através da câmara termográfica (**Fig. 4.97**) e do termómetro), as empenas sul conferiam uma temperatura dos tijolos cerâmicos (20,3°) ligeiramente superior à das juntas de argamassa (18,8°). Por sua vez as paredes orientadas a norte possuem temperaturas de materiais ligeiramente mais reduzidas, onde a temperatura dos tijolos cerâmicos é cerca de 19,85° e a temperatura das juntas de argamassa corresponde a cerca de 18,9°.



**Figura 4.96** - Ocorrências das anomalias A.6.(3).

Como tal, e como referido em §2.5.1.1.1.4, § 4.4.2.3.1 e em §4.4.3.3.1, o surgimento de divergentes temperaturas (devido ao coeficiente de condutibilidade térmica do tijolo cerâmico ser inferior ao coeficiente de condutibilidade térmica das juntas de argamassa) entre materiais, desencadeará a ocorrência de humidade de condensação (C – A.P.4.) nos locais de juntas de argamassa, e por consequência a formação de manchas escuras no perímetro dos tijolos cerâmicos (**Fig. 4.96**). Contudo, a média de teor de humidade obtido, na generalidade das paredes avaliadas, foi cerca de 1,29%, onde as paredes orientadas a norte são caracterizadas por teores de humidade mais elevados (2,3%).



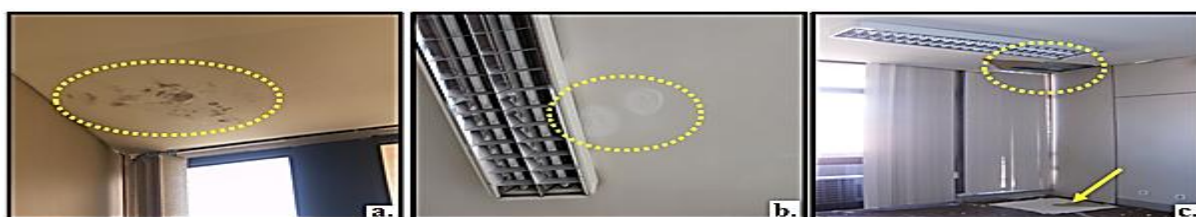
**Figura 4.97** - Ensaio termográfico nas empenas do quinto piso: a. Empena sul; b. Empena norte.

Assim sendo, e dadas as circunstâncias de manifestações idênticas entre as anomalias A.6. (do grupo de pisos II e III), atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descrita em §4.4.2.3.1 e em §4.4.3.3.1), para a determinação do diagnóstico da anomalia A.6.(3) referida.

Respeitante à anomalia A.10.(2) (**Figs. 4.98a, 4.98b**), encontra-se associada à ocorrência de três manchas de infiltração em tetos, do compartimento F e G, do sétimo piso. Não obstante ao facto de não ter sido realizado nenhum meio ou técnica de diagnóstico (apenas considerou-se as informações advindas da inspeção visual), crê-se que tais fenómenos advêm da presença de um elevado teor de humidade (C – A.E.3.), resultado de infiltrações de água de precipitação (C – A.E.8.). A presença da

água, entre a laje do pavimento superior e o teto falso empregue, deverá ser bastante significativa, visto que na zona F, observou-se a queda de uma porção significativa de teto falso (**Fig. 4.98c**), visivelmente humedecido.

De facto, no piso superior (oitavo andar) encontra-se uma cobertura horizontal, a qual manifesta significativas anomalias associadas a fissurações, destacamento e empolamentos (descrito e analisado em §4.4.5.3.5) da camada de impermeabilização utilizada. Assim sendo as causas prováveis da anomalia **A.10.(2)**, encontram-se associadas à ocorrência de erros de projeto e de execução da dita cobertura plana. Como tal, numa primeira análise, o tipo do material de impermeabilização utilizado poderá não ter sido a mais correta (**C – A.P.1.**, **C – A.E.5.**) (tendo em conta inadequação face às condições de acessibilidade, assim como a má qualidade dos produtos utilizados), acrescentando ao facto da utilização de número insuficiente de camadas de revestimento impermeabilizante (**C – A.E.1.**) (apenas uma camada). Contudo considerou-se que a inexistência de trabalhos de manutenção, em relação às anomalias evidenciadas na cobertura plana (**C – A.U.2.**), assim como as condições insuficientes de aquecimento e de ventilação (**C – A.U.1.**), na avaliação do diagnóstico da presente anomalia. De facto com o humedecimento contínuo dos materiais, proporcionar-se-á a diminuição das temperaturas superficiais dos referidos tetos, possibilitando o surgimento de fenómenos de humidade de condensação. Caso haja condições favoráveis de aquecimento e de ventilação, nos referidos compartimentos, evita-se o surgimento de manchas de bolor (**Fig. 4.98a**), nos locais das infiltrações de água.



**Figura 4.98** – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências da anomalia A.10.(2); c. Queda de uma porção do teto falso devido à infiltração de água do oitavo piso.

Por fim, a anomalia **A.12.(2)** (**Fig. 4.99**) foi observada nas paredes exteriores das varandas, na totalidade dos pisos considerados. Como referido em §4.4.3.3.1, tal ocorrência advém da acumulação de partículas, de diversas naturezas, sobre os paramentos referidos, caracterizando-se por manchas escorridas, de tonalidade escura, de espessura variável, com pouca aderência e fraca coesão. Porém, as condições de humidade elevadas são factos imprescindíveis para a ocorrência de tais anomalias. De facto constatou-se a presença de teores de humidade bastante variáveis (**C – A.E.3.**), entre os 3,4% e os 17,70% (dependendo da ação da humidade de precipitação (**C – A.E.8.**)).



**Figura 4.99** - Ocorrências da anomalia A.12.(2).

Assim sendo, e dadas as circunstâncias de manifestações idênticas das anomalias A.12.(1) (do grupo de pisos III) atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descrita em § 4.4.3.3.1), para a determinação do diagnóstico da anomalia A.12.(2), manifestada no presente grupo de pisos em avaliação.

#### 4.4.4.3.2 ANOMALIAS GRUPO B.

Relativamente aos revestimentos de *parquet* de madeira, em pavimentos interiores, foram evidenciadas quatro tipos de anomalias (B.1.(3), B.2.(2), B.3.(3), B.5.(3)).

A generalidade das anomalias B.1.(3) (Figs. 4.90a e 4.90c), B.2.(2) e B.5.(3) (Fig. 4.90b) surge em locais próximos de paredes exteriores, encontrando-se associada à permanência exagerada de água, proveniente de infiltrações de água de precipitação (através da degradação e da falta de manutenção em caixilhos exteriores (C – B.U.4. e C – B.U.1.). De facto, os teores de humidade obtidos, caracterizam-se pelos seus resultados medianamente elevados (1,5% a 3,5%). Como tal, a ação da água poderá desencadear inicialmente o levantamento do revestimento, onde em médio prazo poder-se-á observar o destacamento progressivo dos tacos de *parquet*, ou provocar, simplesmente, um efeito de descoloração do revestimento final (anomalia com impacto apenas visual). Analogamente, as anomalias B.3.(3) encontram-se associadas à inadequação da estrutura de revestimento de pavimento (C – B.P.2.), face às condições de utilização, assim como atividades desajustadas de limpeza e de manutenção efetuadas (C – B.U.1., C – B.U.2.).

Visto que os efeitos e particularidades das anomalias (B.1.(3), B.3.(3) e B.5.(3)) são bastante idênticos às anomalias do grupo B., manifestadas no terceiro grupo de pisos, ir-se-á utilizar a mesma quantificação e qualificação das causas associadas (descritas em §4.4.3.3.2), para a aquisição do diagnóstico das presentes anomalias.

No entanto, a avaliação de diagnóstico da anomalia B.2.(2) (Figs. 4.90d e 4.90e), é semelhante à ocorrência do mesmo tipo de anomalia, no segundo grupo de pisos (descrito em §4.4.2.3.2). Como tal, para além da presença de teor de humidade elevado, as causas possíveis para o desencadeamento de levantamento e deformação do revestimento aplicado encontram-se associadas às características de higroscopicidade (C – B.P.3.) o tipo de madeira empregue, assim como da inexistência de juntas perimetrais e de expansão (C – B.E.2.). Porém as condições de ventilação insuficientes (C – B.U.5.) e as variações de humidade relativa (C – B.A.2.) agravam os efeitos da dita anomalia.

#### 4.4.4.3.3 ANOMALIAS GRUPO C.

Relativamente às anomalias evidenciadas no revestimento pétreo utilizado na parede frontal do edifício, quantificou-se dois tipos de anomalias (C.3.(1) e C.4.(2)).

No que diz respeito à degradação do revestimento pétreo (C.4.(2)) (Figs. 4.92a, 4.92b), adotou-se a mesma avaliação de diagnóstico descrita em §4.4.3.3.3, tendo em consideração a semelhança de efeitos e de particularidades das anomalias presentes nos diferentes grupos de pisos, em questão.

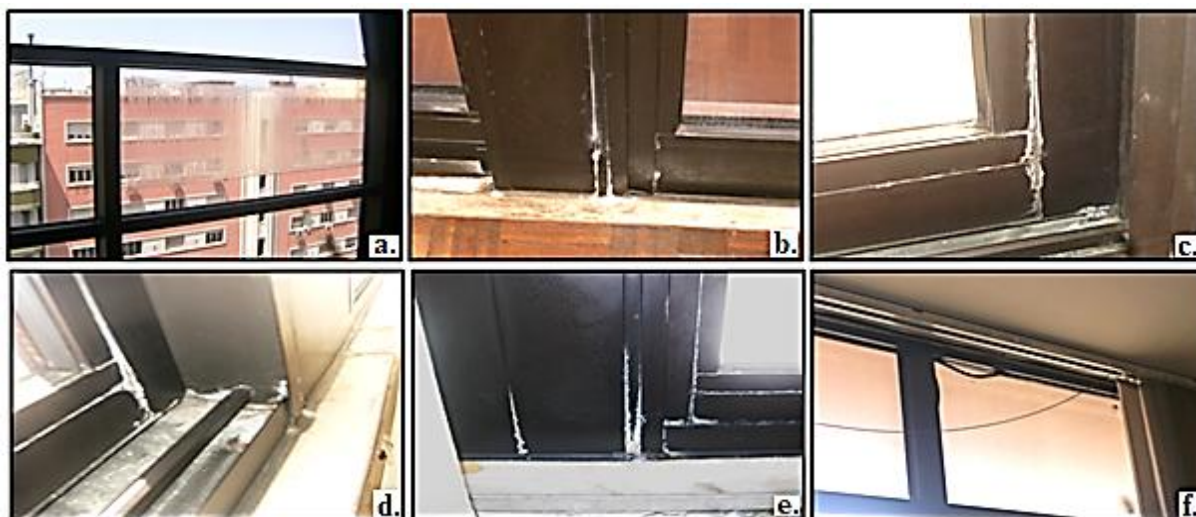
Por sua vez, as manifestações de eflorescências nos locais das juntas (C.3.(1)), poderão estar associadas à degradação do material de assentamento, de preenchimento de juntas (C – C.E.4.) ou até

mesmo do suporte aplicado, como também à possível existência de canais de percolação (C – C.A.2.) de entre os revestimentos pétreos, devendo-se essencialmente ao inadequado dimensionamento de juntas (C – C.P.2.). De facto a presença de água entre o revestimento pétreo e os materiais de assentamento, a camada de suporte e os produtos de juntas poderá desencadear o processo de dissolução e cristalização de sais (C – C.E.3.) presentes nos mesmos, evidenciando a manifestação de escorrências brancas surgidas nos locais das juntas (Fig. 4.92c). Contudo o tipo de fixação adotada (C – C.P.3.), assim como a insuficiência ou inexistência de trabalhos de reparação (C – C.U.1.), foram, igualmente, considerados na avaliação de diagnóstico da presente anomalia.

Será importante referir que embora as eflorescências aparentam ser, apenas, uma anomalia de carácter estético, a longo prazo, poderão colocar em causa a durabilidade de todo o sistema pétreo aplicado (placa de revestimento, material de junta, de assentamento e camada de suporte), devendo-se essencialmente, à perda da resistência do material de assentamento (no caso de conter cimento) ou à formação de criptoflorescências que provoquem o descolamento dos referidos revestimentos.

#### 4.4.4.3.4 ANOMALIAS GRUPO D.

Constatou-se cerca de sete tipos de anomalias no revestimento de alumínio em caixilhos exteriores (D.1.(1), D.2.(3), D.3.(3), D.4.(3), D.5.(2), D.6.(1) e D.7.(3)). Visto que as anomalias D.2. (Figs. 4.100b, 4.100c, 4.100d e 4.100e), D.3., D.4., D.5. e D.7. (Fig. 4.100f) foram observadas no segundo e terceiro grupo de pisos, a avaliação do diagnóstico de tais anomalias terá como base a quantificação e a classificação das causas refiras em §4.4.2.3.4 (referente às anomalias D.2.(1), D.3.(1), D.4.(1) e D.7.(1) do grupo de pisos II) e em §4.4.3.3.4 (referente à anomalia D.5.(1) do grupo de pisos III).



**Figura 4.100** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia D.1.(1); b.; c.; d.; e. Ocorrências das anomalias D.2.(3); f. Ocorrências da anomalia D.5.(2).

Contudo será importante referir que os efeitos da infiltração de água D.3.(3) (Fig. 4.101), devido à falta de estanqueidade dos caixilhos de alumínio, são claramente mais intensificados, quando comparados com as idênticas circunstâncias, em grupos de pisos anteriores (grupo de pisos II e III).

No entanto, no sétimo piso foram observados efeitos de condensação no interior da caixa-de-ar dos vidros duplos numa caixilharia de alumínio (**Fig. 4.100a**), presente na zona C. Tendo em conta a informação do **Quadro 2.9** (§2 do presente trabalho), os fenómenos de condensação no interior da caixa-de-ar poderão estar associados à colocação incorreta do aro (**C – D.E.1.**) ou do vidro (**C – D.E.2.**) no vão, assim como da utilização de vidros inadequados (**C – D.E.6.**), tendo em conta a baixa qualidade ou a inexistência de certificação e/ou de homologação. Porém a inexistência de elementos de ventilação e/ou de aquecimento (**C – D.P.2.**), assim como as variações de temperatura (**C – D.A.3.**) poderão acentuar ainda mais os efeitos do tipo de condensações referida.



**Figura 4.101** - Ocorrências de anomalias D.3.(3).

Por fim, a quebra de um vidro duplo (**D.6.(1)**), no quinto piso, poderá estar associada à aplicação ou fixação incorreta do referido vidro (**C – D.E.2.**), assim como a ação de sucção de ventos fortes (**C – D.A.4.**). Todavia, a qualidade dos vidros aplicados (**C – D.E.6.**), assim como a inexistência de manutenção nos vidros (**C – D.U.3.**) (em circunstâncias de surgimento de fendas nos vidros (princípio de quebra)), foram, igualmente, consideradas na presente avaliação de diagnóstico.

#### **4.4.4.3.5 ANOMALIAS GRUPO G.**

Como referido anteriormente, foram observadas cerca seis tipos de anomalias (**G.1.(2)**, **G.2.(4)**, **G.3.(4)**, **G.4.(2)**, **G.5.(2)** e **G.6.(2)**), em elementos estruturais de betão armado (em pilares interiores, em pilaretes e em lajes de tetos de varandas).

Relativamente às ocorrências da anomalia **G.1.(2)** (**Fig. 4.91**) foram observadas no pilar nº 5, dos três pisos considerados, localizadas a meia altura do pilar referido (cerca de 1,60m). Tais fissurações são caracterizadas pelas diversas configurações superficiais associadas, com larguras de fissuração entre os 0,20 mm e os 0,40 mm, não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocamentos e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Por fim, obteve-se valores de teores de humidade bastante reduzidos (entre os 0,80% e os 1,3%), tendo em conta a totalidade da extensão do pilar em avaliação.

Como tal, o potencial diagnóstico da anomalia **G.1.(2)** poderá estar associado às significativas alterações do projeto do edifício em questão. Inicialmente o edifício em estudo, encontrava-se projetado para ser edifício de habitação e não de escritórios (tipo de utilização empregue), onde tal modificação poderá ter desencadeado vários erros a nível de conceção, pormenorização e dimensionamento dos elementos estruturais de betão armado (**C – G.P.4.**) devido à não consideração das sobrecargas devidas. De facto, a utilização de escritórios, em edifícios, corresponde à solução mais desfavorável no aspeto da quantificação de sobrecargas (acréscimo de cargas provindas de arquivos), e como tal, ter-se-ia que rever o projeto inicial de estruturas do edifício, a fim de se adaptar os elementos estruturais face às novas sobrecargas consideradas.

Não obstante, a tais factos, inicialmente o edifício foi projetado para a composição de cinco pisos aéreos, o que com a construção de mais quatro pisos aéreos, poderá ter desencadeado o aumento, implícito, de cargas e sobrecargas (**C – G.C.1.**), provavelmente, não previstas no último projeto de estruturas realizado.

Semelhante ao que foi referido em §4.4.3.3.6, as anomalias relacionadas com o destacamento do revestimento de tinta (**G.2.(4)**) e aos fenómenos de eflorescências (**G.3.(4)**) encontram-se associadas às ocorrências de infiltração de água de precipitação através dos caixilhos exteriores (**C – G.U.3.**), presentes na zona C dos três pisos considerados. Porém a presença excessiva de humidade de precipitação nas paredes exteriores das varandas (**Quadro 4.34**) (devido a erros de conceção e de técnicas construtivas adotadas) também é um factor determinante para a acumulação da humidade no suporte aplicado dos pilaretes, visto que os teores elevados de humidade presenciam-se até aos 0,90 m de altura dos pilaretes (coincidente com altura da parede exterior das varandas).

De facto, é no sétimo piso, que os efeitos da degradação dos revestimentos aplicados nos pilaretes nº1 e nº2 são bastante elevados, onde em resultado da acumulação excessiva de humidade de precipitação (**Quadro 4.34**), proporcionou-se a progressiva deterioração dos referidos elementos estruturais (**Fig. 4.102a**).



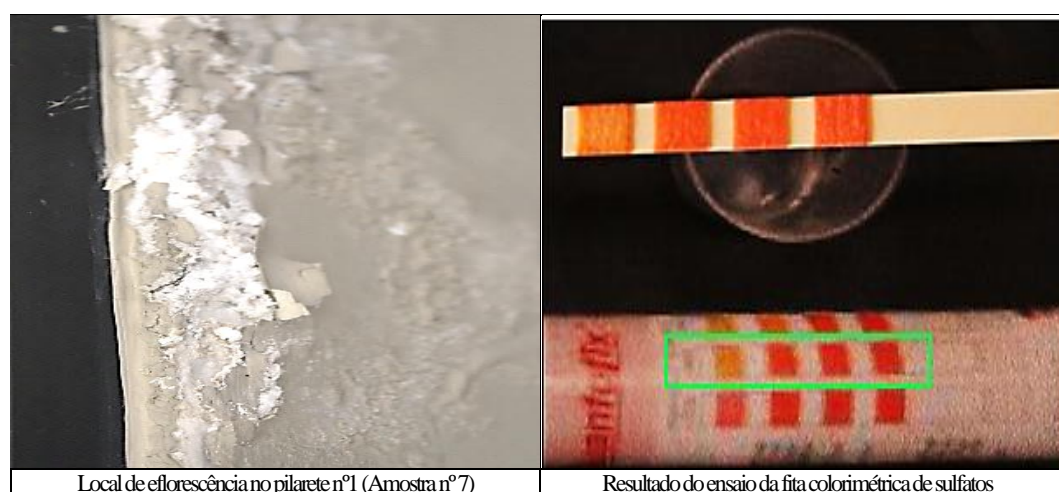
**Figura 4.102** – Representação de algumas anomalias do grupo G, do quarto grupo de pisos: a.; b. Ocorrências da anomalia G.2.(4); c.; d. Ocorrências da anomalia G.3.(4).

Como tal, devido à falta de estanquidade dos caixilhos exteriores (**C – G.U.1.**), evidencia-se variações de humidade cíclicas (**C – G.A.1.**) nos paramentos interiores dos pilaretes, as quais provocam, progressivamente, a separação entre o revestimento empregue e o suporte de betão (**Fig. 4.102b**).

**Quadro 4.34** – Representação dos teores de humidade obtidos aos pilaretes de betão armado e em paredes exteriores de varandas do sétimo piso.

| Elementos construtivos               | Teor de Humidade (%) |        |
|--------------------------------------|----------------------|--------|
|                                      | Mínimo               | Máximo |
| Pilarete nº1                         | 6,31                 | 17,70  |
| Parede exterior de varanda na zona E | 2,4                  | 5,6    |
| Pilarete nº2                         | 1,21                 | 14,54  |
| Parede exterior de varanda da zona D | 1,8                  | 4,8    |

Por sua vez, as situações de eflorescências esbranquiçadas (**G.3.(4)**) (**Figs. 4.102c, 4.102d**) advêm, possivelmente, da dissolução de sais presentes na composição do suporte (a utilização de cimento *portland* em elevado traço na composição da argamassa utilizada no reboco (Tuna, 2011)), devendo-se essencialmente à presença moderadamente significativa de iões sulfato entre os 200 mg/l e os 400 mg/l das amostras nº5 e nº7 (**Fig. 4.103**), respetivamente (**Quadro 4.25**). Será importante referir que aplicou-se uma solução de ácido clorídrico sobre a totalidade dos ditos depósitos brancos evidenciados, a fim de se comprovar a existência de carbonatação de carbonato de cálcio (através dos efeitos efervescentes da reação). Porém, tal como o sucedido nas anomalias G.3.(3) do segundo piso, não ocorreu qualquer indício de reação entre os depósitos brancos e o ácido clorídrico.



**Figura 4.103** – Verificação da presença de iões sulfato na amostra nº 7.

Relativamente às situações de carbonatação (**G.4.(2)**) e de ataque de cloretos (**G.5.(2)**) foram averiguadas através da campanha de inspeção realizada ao pilarete nº 1 (**Fig. 4.106**), do sétimo piso.

#### 4.4.4.3.5.1 CAMPANHA DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO AO PILARETE Nº1 (7º PISO)

Semelhante ao realizado no segundo piso (§ 4.4.3.3.6.1), efetuou-se um conjunto de ensaios *in situ* (TD-2-ND-1, TD-2-ND-3, TD-2-ND-4, TD-2-ND-5, TD-2-ND-6, TD-2-ND-7, TD-2-ND-8 e TD-2-ND-9) (**Fig. 4.106**), tendo como objetivo avaliar alguns parâmetros particulares do pilarete nº 1, do sétimo piso. Porém, não se irá analisar os resultados do ensaio de ultra-sons, devendo-se, essencialmente, à obtenção de dados não conclusivos e incoerentes.

No que diz respeito à avaliação da dureza superficial do dado elemento construtivo, através da realização do ensaio de Esclerómetro de Schmidt, realizou-se cerca de 30 medições (**Fig. 4.104**) numa área, aproximadamente, de 12,5cm x 12,5cm.



**Figura 4.104** - Representação das zonas das medições efetuadas pelo aparelho Esclerómetro Schmidt, no pilarete nº 1, do sétimo piso.

Posto isto, e após o tratamento estatístico dos valores das 30 medições, tendo como base as normas ASTM C805/C805M-08 e NP EN 12504: 2, analisou-se dez valores de índices esclerométricos, obtendo-se desta forma, um valor médio de nº de ressalto igual a 37,38 (**Quadro 4.35**).

**Quadro 4.35** - Resultados obtidos do ensaio com o Esclerómetro Schmidt do tipo N no pilarete nº 1, do sétimo piso.

| Zonas | Valor de índice esclerométrico obtido | Número de ensaios considerados | Valor Máximo | Valor mínimo | Valor Médio        | Desvio Padrão | Coefficiente de Variação (%) |
|-------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------------|---------------|------------------------------|
| 6     | 37                                    | 10                             | 39           | 36           | 37,38 <sup>9</sup> | 1,197         | 3,202                        |
| 11    | 39                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 12    | 37                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 16    | 36                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 19    | 36                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 22    | 36                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 24    | 39                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 27    | 36                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 28    | 37                                    |                                |              |              |                    |               |                              |
| 29    | 38                                    |                                |              |              |                    |               |                              |

<sup>9</sup> Valor médio do número de ressalto, tendo em conta a correlação da calibração do aparelho.

Desta feita, e tendo como base o ábaco de correlação entre o índice esclerométrico e o valor de resistência à compressão (**Fig. 3.19**), obteve-se uma resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos ( $f_{ck_{cyl}}$ ) de 31 MPa (**Quadro 4.36**), a qual, aproximadamente corresponde à classe de resistência C30/35 de betão.

**Quadro 4.36** – Valores de resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos, obtidos no pilarete nº 1.

|  |       |
|--|-------|
| Resistência à compressão característica média (MPa)  | 31,26 |
| $\Delta$   | 6,05  |
| Resistência à compressão característica mínima (MPa) | 25,21 |
| Resistência à compressão característica máxima (MPa) | 37,31 |

Quanto aos valores de temperatura e de humidade no local em que se proporcionou o dito ensaio do esclerómetro encontravam-se entre os valores impostos pela NP EN 12504:2 (**Quadro 4.37**).

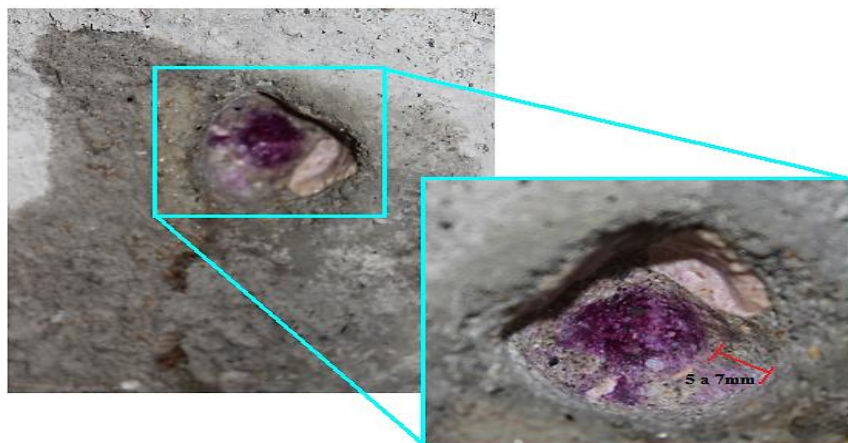
Por fim, importará salientar a ligeira diferença entre os valores médios de número de ressalto (cerca de 3,2), obtidos pelo ensaio da dureza superficial no pilarete nº2 (do segundo piso) e no pilarete nº1 (do sétimo piso). Por consequência obteve-se valores de resistência à compressão característica, em provetes cilíndricos, distintos (alcançando-se uma diferença de cerca 4,82 MPa entre os dois pilaretes analisados). Como descrito em §3.4.2.1.2. são muitos os fatores que influenciam a veracidade da avaliação da dureza superficial, através da utilização do esclerómetro, e como tal, torna-se habitual a divergência entre valores de resistência à compressão em elementos construtivos com semelhantes particularidades. Todavia a permanência de teores de humidade demasiado elevados no pilarete nº2, (do segundo piso) (**Quadro 4.33**), poderão ter influenciado, significativamente, a diminuição do número de ressalto médio, quando comparado com o mesmo valor do pilarete nº1 (do sétimo piso).

No que diz respeito à média de valores obtidos através da realização do ensaio da resistividade elétrica (55 K  $\Omega$  cm) poder-se-á admitir que existe uma insignificante possibilidade de corrosão de aço, conforme a informação apresentada no anterior **Quadro 3.16**, nos locais analisados.

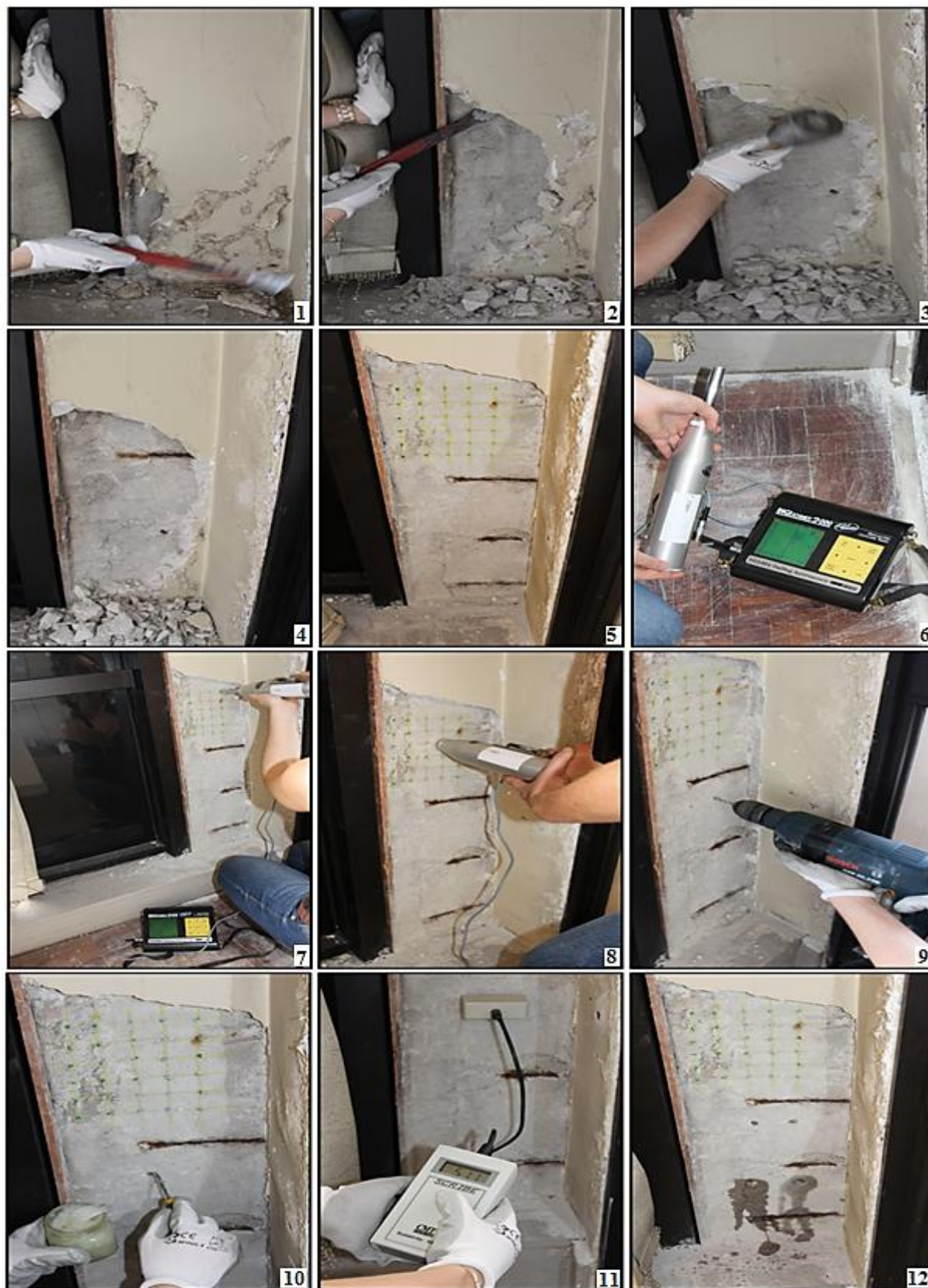
**Quadro 4.37** – Valores de temperatura e de humidade medidos na área de ensaio do Esclerómetro *Schmidt*, no pilarete nº1, do sétimo piso.

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura betão máxima (°C) | 24,00 |
| Temperatura betão mínima (°C) | 22,90 |
| Teor de humidade máximo (%)   | 9,50  |
| Teor de humidade mínimo (%)   | 1,80  |

Relativamente ao efeito de carbonatação de betão armado, foi evidenciado através do ensaio demonstrativo de aplicação da fenolftaleína (descrito em §3.4.2.8), onde os procedimentos realizados para a realização do furo e da colocação da solução da fenolftaleína são idênticos aos processos descritos em §4.4.3.3.6. Assim sendo, ao aspergir a solução de fenolftaleína no furo realizado, observou-se uma profundidade de carbonatação superficial, com cerca de 5mm a 7 mm (**Fig. 4.105**), evidenciada através do contraste da incoloração do betão (local carbonatado), com a cor de carmim (local não carbonatado). Contudo, obteve-se uma profundidade de carbonatação mais elevada, comparativamente à obtida no pilarete nº2, do segundo piso.

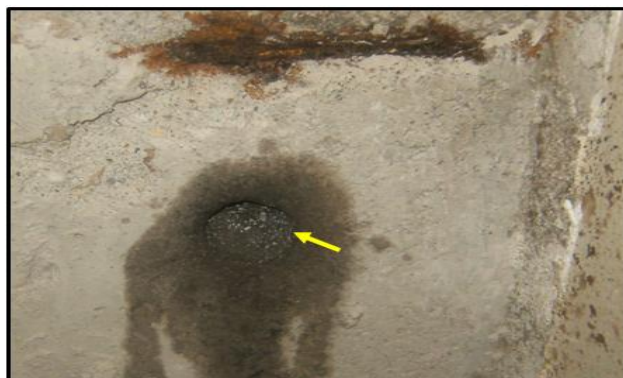


**Figura 4.105** - Representação da profundidade de carbonatação evidenciada após a pulverização da solução de fenolftaleína, na cavidade realizada.



**Figura 4.106** - Procedimentos realizados durante a campanha de inspeção ao pilarete nº1, do sétimo piso: 1-4. Destacamento do revestimento final no local de ensaio; 5. Preparação e marcação da zona de ensaio do esclerómetro; 6. Preparação do aparelho esclerómetro, quanto à posição horizontal; 7 -8. Posicionamento e realização do ensaio do esclerómetro nas zonas previamente marcadas; 9. Realização de dois furos de 5mm para a realização do ensaio de resistividade elétrica; 10. Colocação de vaselina nos orifícios realizados; 11. Medição dos valores de resistividade elétrica; Verificação das mudanças de cores na superfície de betão armado após a aspersão da solução de fenolftaleína e do nitrato de prata.

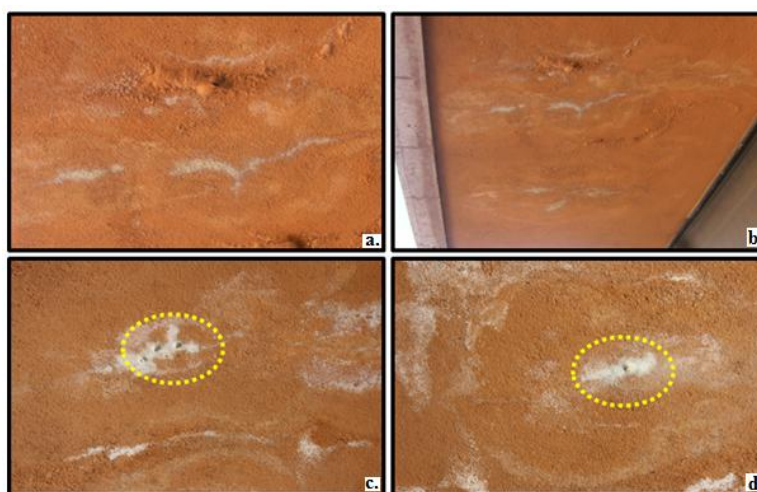
Relativamente à averiguação da presença de cloretos, no betão do elemento estrutural em avaliação, foi realizado um ensaio de aplicação da solução de nitrato de prata (descrito em §3.4.2.9), onde os procedimentos realizados durante o ensaio, são idênticos aos já referidos em §4.4.3.3.6 Como tal, tornou-se possível a observação da acentuada formação de sólidos brancos com reduzidas dimensões (Fig. 4.107), no interior do furo, indiciando a presença de cloretos na composição do betão.



**Figura 4.107** - Representação dos depósitos brancos no interior do furo realizado, após a aplicação da solução de nitrato de prata no mesmo.

Tendo em consideração os idênticos efeitos e particularidades de anomalias, a avaliação do diagnóstico das anomalias G.2.(4), G.3.(4), G.4.(2) e G.5.(2) terá como base a quantificação e a classificação das causas referidas em §4.4.3.3.6 (referente às anomalias G.2.(3), G.3.(3), G.4.(1) e G.5.(1) do grupo de pisos III).

Por fim, analisando o surgimento de estalactites (G.6.(2)) em lajes de tetos das varandas, evidenciou-se dois tipos de manifestações da referida anomalia. Em circunstâncias dos tetos das varandas do quinto e sexto piso é recorrente observar-se empolamentos e destacamentos de tinta, assim como depósitos esbranquiçados aderentes ao revestimento aplicado (Figs. 4.108a, 4.108b). Por sua vez, nas mesmas zonas do sétimo piso observou-se formações de estalactites de cor branca (Figs. 4.108c, 4.108d), com dimensões entre 0,01m a 0,02m. Tal anomalia é bastante semelhante à manifestação de estalactites no terceiro piso subterrâneo (grupo de pisos I), descrita em § 4.4.1.3.2.



**Figura 4.108** - a. Manifestação de infiltrações na laje do teto da zona D, do quinto piso; b. Manifestação de infiltrações na laje do teto da zona E, do sexto piso; c.; d. Ocorrências da anomalia G.6.(2).

Assim sendo, em ambos os casos crê-se que tais fenômenos tenham ocorrido devido à percolação de água de precipitação (C – G.E.3.) no interior do betão armado, desencadeando o fenómeno de lixiviação no betão. Como referido em § 4.4.1.3.2, a lixiviação no betão consiste, essencialmente, na dissolução do hidróxido de cálcio, que ao interagir com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) poderá desencadear a precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, sob a forma de manchas ou de formações de estalactites no revestimento (Lapa, 2008).

Será importante referir que a infiltração da água nas lajes de tetos das varandas, do quinto e sexto piso, foi provocada pela ocorrência de fissurações no revestimento cerâmico empregue nos pavimentos das varandas do sexto e sétimo piso, respetivamente. Por sua vez a percolação de água evidenciada na laje de teto da varanda do sétimo piso foi, possivelmente, desencadeada pelos destacamentos e fissurações do revestimento impermeabilizante (Fig. 4.122a), utilizado na cobertura plana do oitavo piso. Como tal, para além da presença de humidade de precipitação no interior do betão, a inexistência de uma manutenção periódica aos revestimentos cerâmicos e ao revestimento impermeabilizante da cobertura plana (C – G.U.1.), assim como os cíclicos períodos secos e molhados (C – G.A.1.), proporcionaram o desencadeamento e a acentuação dos efeitos da anomalia em avaliação. Porém, será importante referir, que para além do efeito inestético das manchas e das estalactites evidenciadas, o processo de lixiviação proporciona um efeito de degradação do betão, visto que para além de aumentar a porosidade (proporcionando a desagregação e a diminuição de resistência do betão), devasta a presença do hidróxido de cálcio, cuja função é promover a coesão do betão (Alves, 2012).

#### 4.4.4.3.6 ANOMALIAS GRUPO H.

Relativamente ao grupo de anomalias H. evidenciou-se dois tipos de anomalias, associadas à descoloração (H.3.(1)) e ao crescimento vegetativo (H.4.(1)) em fissuras e juntas de revestimentos cerâmicos, de pavimentos das varandas do quinto e sexto piso.

Relativamente à anomalia H.3.(1) (Fig. 4.109a, 4.109b), poderá estar associada à escolha inadequada da natureza do material aplicado (C – H.P.1.), tendo em conta as condições de exposição exteriores, assim como os efeitos de envelhecimento natural do mesmo (C – H.A.3.). Contudo a insuficiência de pendente (C – H.P.3.) associada ao pavimento exterior em questão, também foi considerada na avaliação do diagnóstico da anomalia H.3.(1), visto que a permanência exagerada de água sobre os revestimentos cerâmicos, poderá desencadear a progressiva dissipação do vidroado superficial dos mesmos.



Figura 4.109 – Representação de anomalias: a.; b. Ocorrências da anomalia H.4.(1); c.; d. Ocorrências da anomalia H.3.(1).

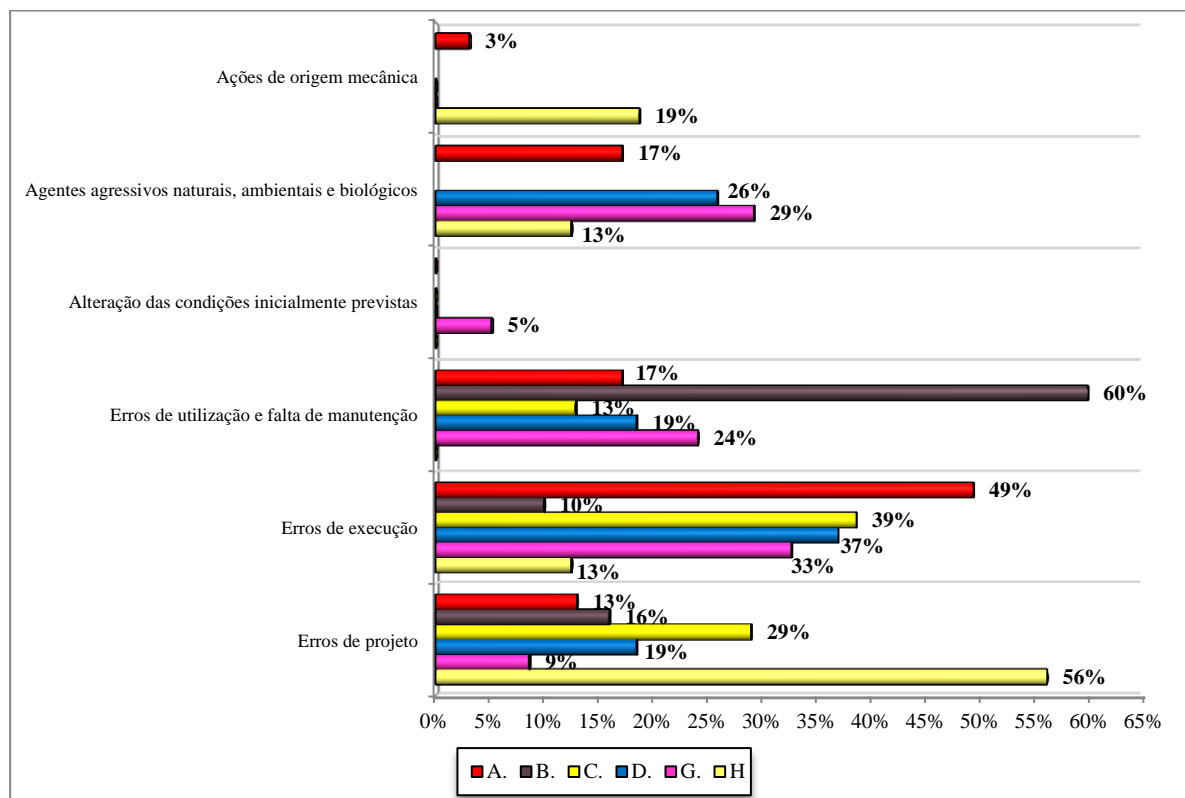
Por sua vez, as manifestações vegetativas nos locais de juntas (**Fig. 4.109d**), encontram-se associadas à degradação do material de juntas (**C – H.E.3.**) (devido à qualidade dos materiais aplicados, assim como a inadequação utilização dos mesmos, face às circunstâncias de exposição). Porém, observou-se tais anomalias, em circunstâncias de fissurações de revestimento cerâmico (junto às instalações de tubagens do sistema de climatização do sexto piso) (**Fig. 4.109c**). Assim sendo, devido ao surgimento de tensões elevadas no suporte (**C – H.M.1.**), proporcionou-se fissurações no revestimento, as quais propiciam o crescimento vegetativo de plantas (devido às condições de exposição solar, assim como à deposição de partículas e de água (**C – H.P.3.**)).

#### 4.4.4.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE ANOMALIAS COM AS POSSÍVEIS CAUSAS

Tendo em conta o que foi mencionado em §4.4.4.3, as matrizes de correlação da totalidade das anomalias evidenciadas com as possíveis causas associadas encontram-se no **Anexo 2.IV**.

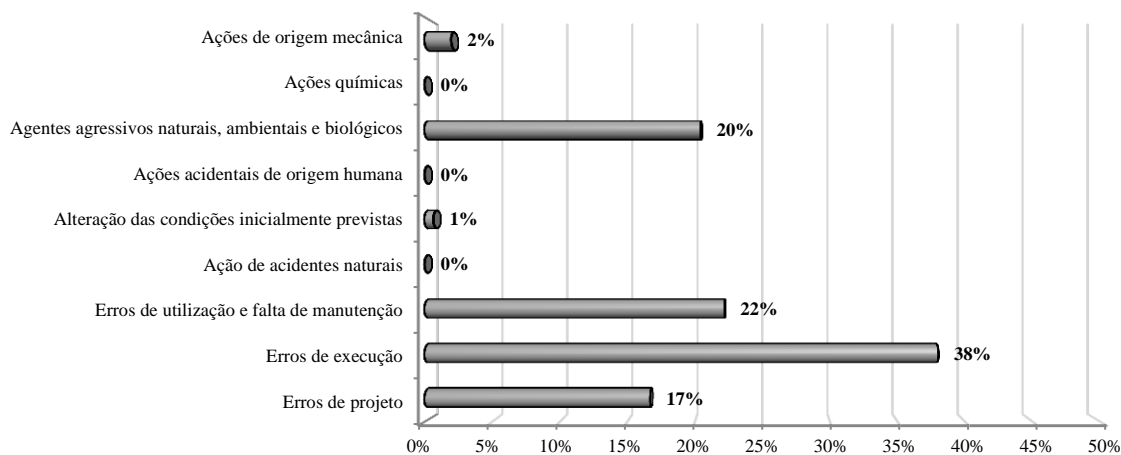
#### 4.4.4.5 RESULTADOS FINAIS

Tendo em conta os valores da **Figura: 4.110**, poder-se-á verificar que as causas associadas aos erros de projeto e de execução foram associados aos seis grupos de anomalias evidenciadas, no presente grupo de pisos. Por sua vez, os erros provindos da alteração das condições inicialmente previstas foram associados ao grupo de anomalias G., onde as causas associadas às ações mecânicas foram associados, exclusivamente, ao grupo de anomalias A. e H. Contudo as causas advindas das ações químicas, das ações de acidentes de origem humana e natural não foram associadas a nenhuma ocorrência anómala, dos três pisos avaliados.



**Figura 4.110** - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no quarto grupo de pisos.

Como tal, poder-se-á admitir (**Fig. 4.111**) que a generalidade das anomalias evidenciadas no grupo de pisos em análise encontra-se associada a erros surgidos na fase de execução (38%), ao contrário da influência de ações de origem mecânica, as quais foram associadas cerca de 2% das ocorrências anómalas.



**Figura 4.111** - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do quarto grupo de pisos considerado.

#### 4.4.5 GRUPO V – OITAVO E NONO PISO

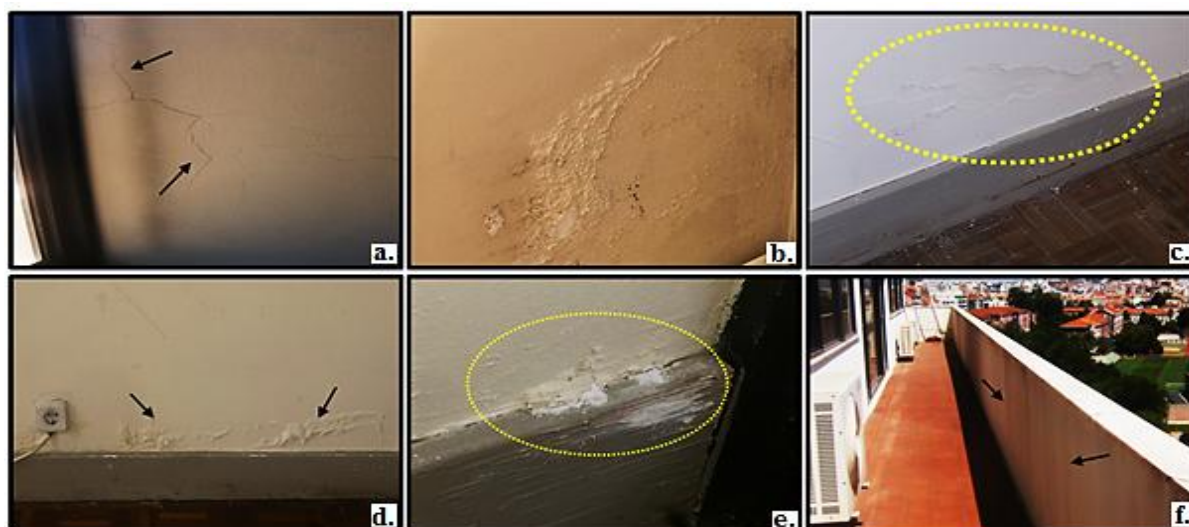
O quinto grupo de pisos é constituído pelos dois últimos andares do edifício (**Anexo 1.V**), onde observou-se diversas situações anómalas pertencentes aos oitos grupos de anomalias considerados (**A., B., C., D., E., F., G., e H.**). Como tal, no oitavo piso quantificou-se cerca de 71 anomalias, e no nono piso contabilizou-se cerca de 37 anomalias. Será interessante referir que a maioria das ocorrências anómalas do grupo **A., B. e D.** encontram-se bastante semelhantes aos análogos grupos de anomalias descritos no quarto grupo de pisos (§ 4.4.4.3).

##### 4.4.5.1 AVALIAÇÃO DETALHADA, CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS

Tal como referido em grupos de pisos anteriores, a maioria das anomalias pertencentes ao grupo de anomalias **A.** foram evidenciadas junto a locais de instalações de caixilhos exteriores. Como tal, as anomalias relacionadas com fissurações mapeadas (**A.2.(4)**) (**Fig. 4.112a**), destacamentos de revestimento de tinta (**A.3.(5)**) (**Figs. 4.112b, 4.112c**), manifestações de eflorescências esbranquiçadas (**A.4.(8)**), destacamento de reboco (**A.5.(4)**), assim como as manifestações de biodeterioração de reboco (**A.9.(3)**), foram observadas nas zonas **M e N** (do oitavo piso) e das zonas **C e D** (do nono piso). Contudo as ocorrências de eflorescências **A.4.(7)** (**Fig. 4.112e**) e de empolamentos de revestimento de pintura **A.7.(6)** (**Fig. 4.112d**) foram observadas, apenas, em locais próximos de rodapés de pavimentos, das zonas **B e C** do oitavo piso.

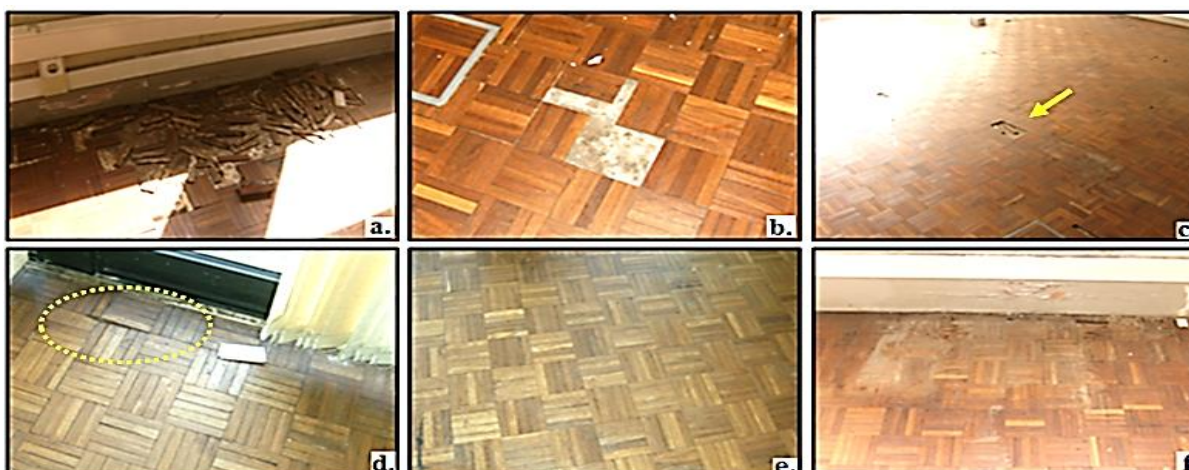
Os espectros fantasmas interiores (**A.6.(4)**) foram evidenciados em ambos os pisos considerados, nas paredes exteriores orientadas a norte e a sul (empenas), assim como na parede exterior orientada a nascentes (no caso do nono piso). Por fim, será importante referir que no nono piso observou-se uma fissuração superficial definida (**A.1.(12)**) nos locais de juntas de argamassa de uma parede exterior

(bastante semelhante à A.1.(11) referida em §4.4.3.3.1), assim como manifestações de escorrências (A.12.(3)) (Fig. 4.110f) em paredes exteriores, localizadas na zona F.



**Figura 4.112** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.2.(4); b.; c. Ocorrência da anomalia A.3.(4); d. Ocorrência da anomalia A.7.(6); e. Ocorrência da anomalia A.4.(7); f. Ocorrência da anomalia A.12.(3).

Relativamente às anomalias em pavimentos interiores (16 anomalias), observaram-se manifestações de destacamentos (B.1.(4)) (Figs. 4.113a, 4.113b, 4.113c), empolamentos (B.2.(3)) (Fig. 4.113d), desgaste (B.3.(4)) (Fig. 4.113e) e descolorações (B.5.(4)) (Fig. 4.113f) em revestimentos de *parquet* de madeira.

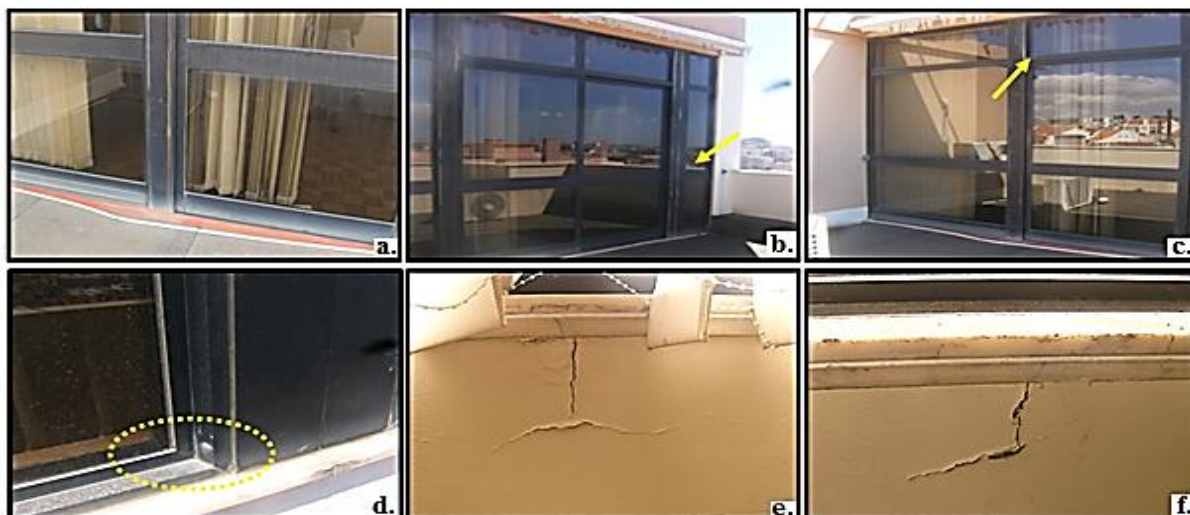


**Figura 4.113** – Representação de anomalias: a.; b. ;c. Ocorrências de anomalias B.1.(4).; d. Ocorrências de anomalias B.2.(3); e. Ocorrência de anomalia B.3.(4); f. Ocorrência de anomalia B.5.(4).

No grupo de anomalias C. (15 anomalias), observou-se manifestações de colonização biológica (C.2.(1)) em pedras mármores, nas zonas E e D (do oitavo piso, e na em toda a extensão da varanda do nono piso (zona F). Porém evidenciou-se, no oitavo piso, circunstâncias de eflorescências (C.3.(2)) esbranquiçadas em juntas da pedra calcária empregue na fachada frontal do edifício.

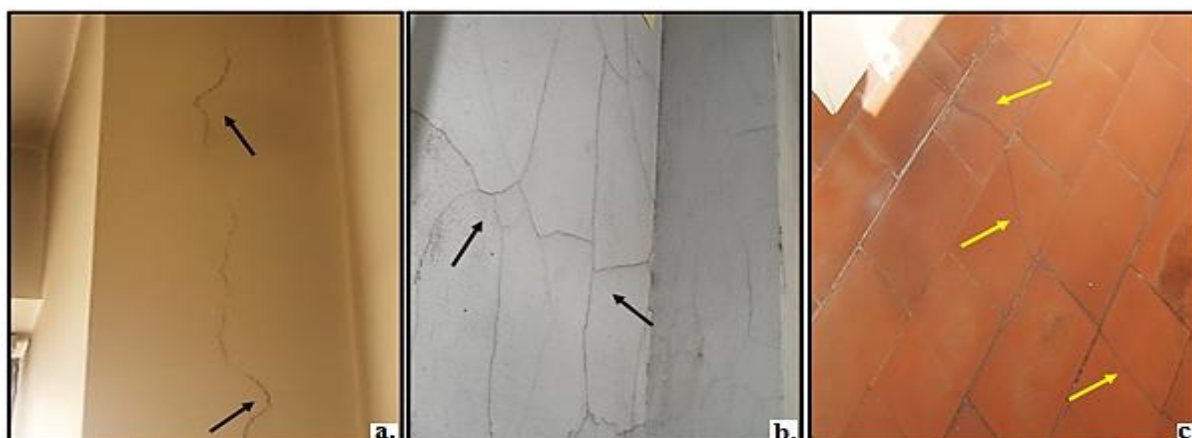
Respeitante às anomalias associadas ao revestimento do caixilho de alumínio exterior (24 anomalias), observou-se manifestações de degradação (D.2.(4)) (Figs. 4.114a, 4.114b, 4.114c), de

infiltrações de água para os paramentos e pavimentos interiores (D.3.(4)) (Figs. 4.114e, 4.114f), assim como a acumulação exagerada de detritos (D.4.(4)) (Fig. 4.114d). Porém, será importante referir que o estado de degradação da generalidade das anomalias dos caixilhos, do nono piso, é francamente menor, quando comparado com o grau de deterioração dos caixilhos exteriores, do oitavo piso.



**Figura 4.114** – Representação de anomalias: a., b.; c. Ocorrências de anomalias D.2.(4); d. Ocorrências de anomalias D.4.(4); e.; f. Ocorrências de anomalias D.3.(4).

Relativamente às anomalias presentes em elementos estruturais de betão armado, apenas se observou dois tipos de fissurações (G.1.), onde a anomalia G.1.(3) (Fig. 115b) localiza-se numa parede da casa das máquinas (zona B), e a anomalia G.1.(4) (Fig. 115a) persiste no pilar nº 3, do nono piso



**Figura 4.115** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia G.1.(4); b. Ocorrência da anomalia G.1.(3); c. Ocorrência da anomalia H.2.(2).

No que diz respeito às situações anómalas observadas nos revestimentos empregues na cobertura plana e inclinada (grupo de anomalias E. e F., respetivamente) do edifício, evidenciou-se cerca de sete tipos de anomalias. Como tal no revestimento de impermeabilização utilizado, no terraço acessível do oitavo piso, observou-se manifestações de destacamento (E.1.(1)), de presença de colonização biológica (E.2.(1)), de empolamentos (E.3.(1)), fissurações (E.4.(1)) e de manchas de permanência de água (E.5.(1)), nas zonas D, E e O. Porém, na cobertura inclinada, apenas se evidenciou levantamentos/deslocamentos (F.2.(1)) de telhas cerâmicas e presença de colonização biológica

(F.1.(2)) nos revestimentos impermeabilizantes, em locais de remates. Não será demais referenciar, que tal como sucedido nos pisos subterrâneos, os trabalhos de inspeção e diagnóstico na cobertura inclinada foram significativamente prejudicados, devido às condições desfavoráveis de acessibilidade à mesma. Por fim, verificou-se, manifestações de fissuração em revestimentos cerâmicos (H.2.(2)), empregues no pavimento da varanda do nono piso (zona D) (Fig. 4.115c).

Dadas as circunstâncias de aparecimento de anomalias com as mesmas características de manifestação mas com causas/origens possivelmente divergentes (A.4.), ou com diferentes configurações (G.1.), decidiu-se avaliá-las separadamente (em §4.4.5.3.), em que a sua identificação encontra-se no **Quadro 4.38**.

**Quadro 4.38** – Identificação e quantificação das anomalias evidenciadas no oitavo e nono piso.

| Identificação do grupo de anomalia | Identificação do tipo de anomalia |  | Quantificação de observação |
|------------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Grupo A.                           | A.1.(12)                          |  | 1                           |
|                                    | A.2.(4)                           |  | 2                           |
|                                    | A.3.(5)                           |  | 4                           |
|                                    | A.4.(7)                           | Eflorescências junto a rodapé de pavimento.            | 3                           |
|                                    | A.4.(8)                           | Eflorescências junto a locais de caixilhos exteriores. | 1                           |
|                                    | A.5.(4)                           |  | 5                           |
|                                    | A.6.(4)                           |  | 6                           |
|                                    | A.7.(6)                           |  | 2                           |
|                                    | A.9.(3)                           |  | 5                           |
| Grupo B.                           | A.12.(3)                          |  | 1                           |
|                                    | B.1.(4)                           |  | 6                           |
|                                    | B.2.(3)                           |  | 2                           |
|                                    | B.3.(4)                           |  | 2                           |
| Grupo C.                           | B.5.(4)                           |  | 6                           |
|                                    | C.2.(1)                           |  | 1                           |
| Grupo D.                           | C.3.(2)                           |  | 14                          |
|                                    | D.2.(4)                           |  | 11                          |
|                                    | D.3.(4)                           |  | 9                           |
| Grupo E.                           | D.4.(4)                           |  | 4                           |
|                                    | E.1.(1)                           |  | 6                           |
|                                    | E.2.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | E.3.(1)                           |  | 1                           |
|                                    | E.4.(1)                           |  | 2                           |
| Grupo F.                           | E.5.(1)                           |  | 3                           |
|                                    | F.1.(2)                           |  | 2                           |
| Grupo G.                           | F.2.(1)                           |  | 2                           |
|                                    | G.1.(3)                           | Fissuração mapeada.                                    | 1                           |
| Grupo H.                           | G.1.(4)                           | Fissuração definida vertical.                          | 1                           |
|                                    | H.2.(2)                           |  | 4                           |

Como tal, constatou-se a totalidade de 108 anomalias, onde as anomalias do tipo C.2. são as mais frequentes (13%), em oposição às anomalias A.1., A.12., C.3., E.2. e E.3. possuindo cerca de 1% de frequência de observação, cada uma.

Através da **Figura: 4.116**, poder-se-á verificar a significativa diversidade de ocorrências anómalas, no grupo de pisos considerado, em que certas circunstâncias, a frequência de ocorrência de diferentes tipos de anomalias são equivalentes (dando como exemplo as anomalias A.3., A.4., D.4. e H.2. possuindo cerca de 4%, e as anomalias A.6., B.1., B.5. e E.1. possuindo cerca de 6% de frequência de observação).

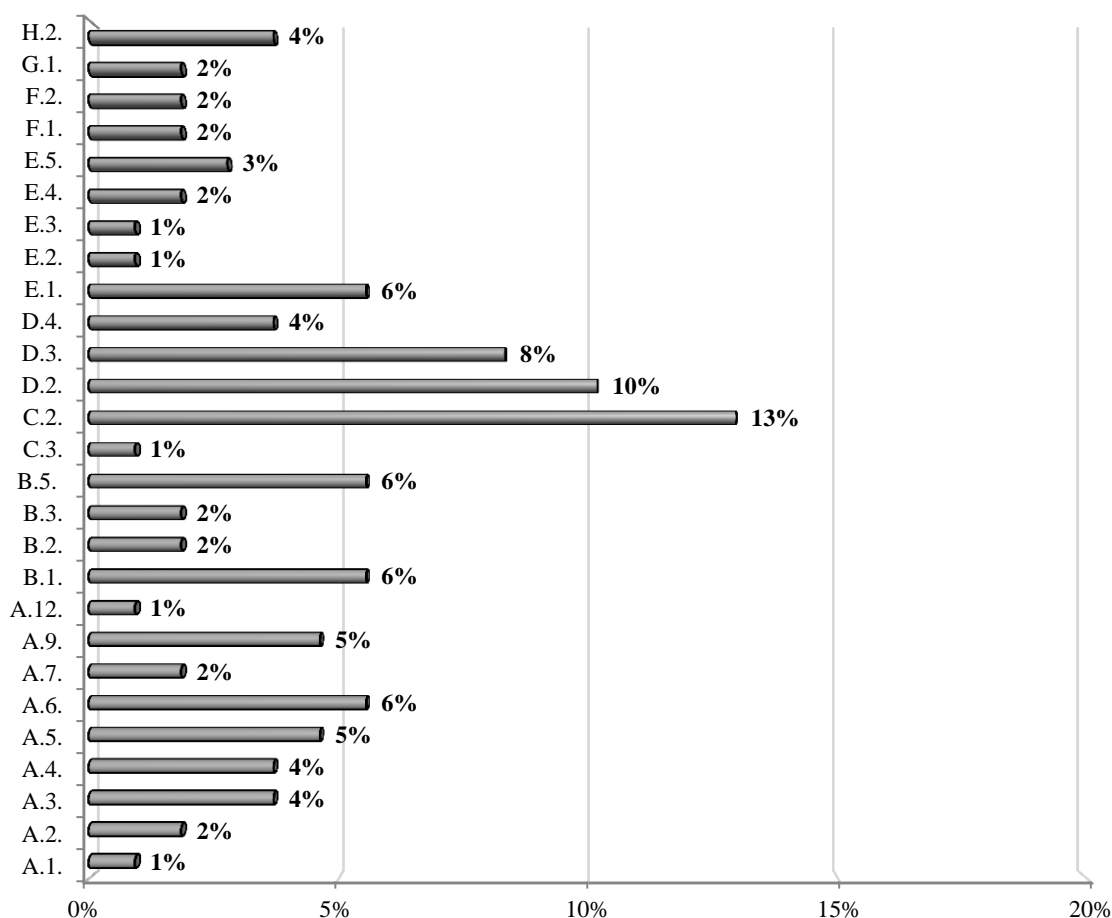


Figura 4.116 - Frequência de ocorrência da totalidade de anomalias evidenciadas no oitavo e nono piso.

Relativamente à classificação das ocorrências anómalas (**Anexo 2.V**), as anomalias que evidenciam prioridade máxima de reparação/intervenção encontram-se associadas à degradação do revestimento de caixilhos exteriores (**D.2.** e **D.3.**), assim como a anomalias em revestimento impermeabilizante da cobertura plana (**E.1.** e **E.4.**). Porém, as anomalias dos grupos **A.**, **B.**, e **F.** caracterizam-se pela mínima (Nível 4) e pequena (Nível 3) prioridade de intervenção, em que a totalidade das anomalias do grupo **G.** e **C.** encontram-se, exclusivamente, classificadas pela mínima necessidade de reparação/intervenção (**Fig. 4.117**).

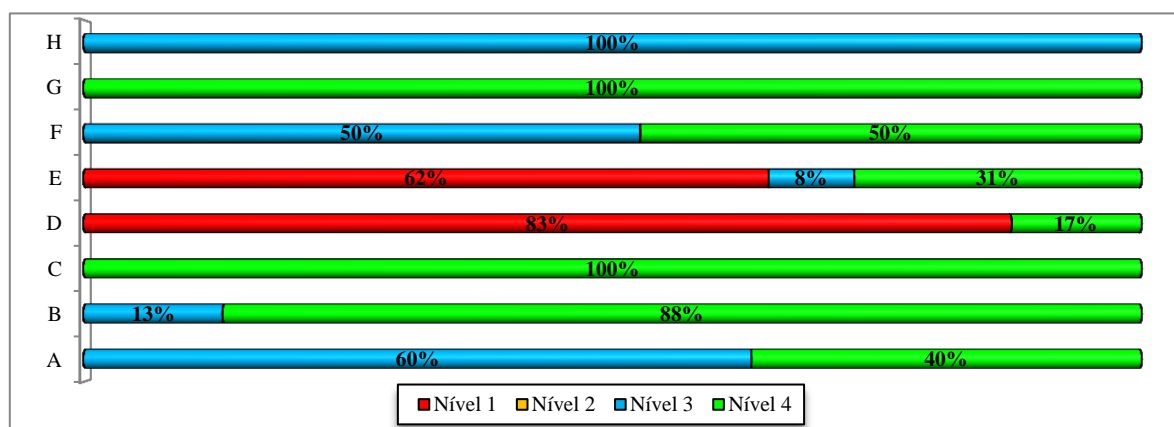


Figura 4.117 - Prioridade de reparação/intervenção da totalidade de grupo de anomalias identificadas no oitavo e nono piso.

#### 4.4.5.2 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS

Neste grupo de pisos em análise, realizaram-se apenas três tipos de técnicas/meios de diagnóstico propostas. Na maioria das circunstâncias de anomalias (A.2., A.3., A.4., A.5., A.6., A.7., A.9., A.12., B.1., B.2., D.3., G.1.(1) e G.1.(2)) privilegiou-se a utilização do humidímetro (TD-2-ND-1), onde em situações de fissurações (A.1., A.2. e G.1.) utilizou-se o comparador de fissuras (TD-1-AVA-1). Por fim, a medição de temperatura, através do termómetro (TD-2-ND-5), foi utilizada nas situações de anomalia A.6.. Contudo em quinze anomalias (B.3., B.5., C.2., C.3., D.2., D.4., E.1., E.2., E.3., E.4., E.5., F.1., F.2. e H.2.) não foram realizadas técnicas específicas de diagnóstico, utilizando-se, apenas, o meio de inspeção visual para o possível diagnóstico das mesmas.

#### 4.4.5.3 AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DAS ANOMALIAS

##### 4.4.5.3.1 ANOMALIAS GRUPO A.

Relativamente à anomalia A.1.(12) (Fig. 4.118) é manifestada pelo aparecimento de fissurações horizontais, nos locais de juntas de argamassa de uma parede exterior, do nono piso, possuindo uma extensão cerca de 0,30m.



Figura 4.118 - Pormenorização da anomalia A.1.(12).

A manifestação de tal anomalia é bastante semelhante à anomalia A.1.(11) (presenciada no terceiro grupo de pisos, mais concretamente no segundo piso), porém a acentuação e a largura média de fissuração são razoavelmente mais elevadas. A fissuração, presentemente em análise, exhibe uma largura de entre os 0,35mm e 0,65 mm (Quadro 3.11), não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocamentos e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Por fim, mediu-se o teor de humidade, nos locais das fissurações, obtendo-se valores entre 1,11% e os 2,60%.

Tendo em conta o que foi descrito em §2.5.1.1.2, crê-se que as causas prováveis para o desencadeamento da referida anomalia encontram-se associadas às possíveis movimentações térmicas (C – A.M.4.) e higroscópicas (C – A.M.3.), entre os diferentes materiais compostos da parede em avaliação. Como tal, as variações bruscas e sucessivas de temperatura (C – A.A.1.) e de humidade (C – A.A.2.) poderão suscitar agravar os efeitos anómalos. Porém, ao contrário do que se realizou em

§4.4.3.3.1., classificou-se como causas ambíguas os possíveis fenómenos de deformação excessiva da estrutura de suporte (C – A.P.2.), assim como as possíveis concentrações de tensões impostas na parede (C – A.M.2.) (devido aos movimentos de deformação do suporte).

Por sua vez, as fissurações indefinidas A.2.(4) (Fig. 4.112a) foram verificadas em locais bastante próximos da instalação de caixilhos exteriores (em empenas orientadas a norte e a sul), caracterizados por teores de humidade razoavelmente elevados (entre 1,12% a 4,50). Tais anomalias são caracterizadas pela sua irregularidade de orientação, de definição e de largura (entre 0,15mm e 0,20 mm), não apresentando qualquer tipo de rugosidade ou alteração de deslocamentos associados.

No que diz respeito às anomalias A.3.(5) (Fig. 4.112b, 4.112c), A.4.(8) e A.5.(4) foram observadas nos mesmos locais da parede posterior do edifício, encontrando-se manifestadas pelos respetivos efeitos associados. Como tal, e como já referido em §4.4.3.3.1 e em §4.4.4.3.1, devido à falta de estanquidade dos caixilhos exteriores (C – A.E.5., C – A.U.2.), evidencia-se o surgimento de infiltrações de água de precipitação (C – A.E.8.) para os paramentos e pavimentos interiores, provocando o humedecimento dos revestimentos, assim como dos diversos materiais de suporte associados (C – A.E.3.)

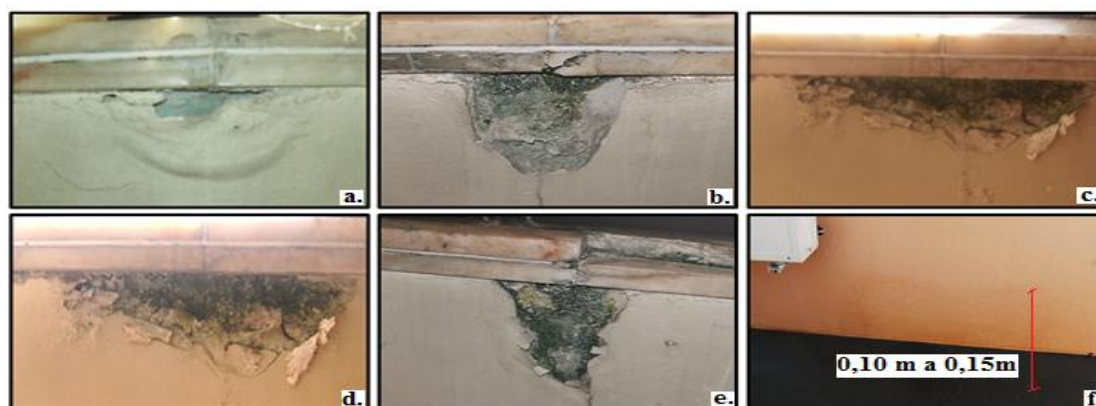
Tendo em conta os valores obtidos através do humidímetro, obteve-se teores de humidade razoavelmente elevados (entre 1,30% a 10,40%), fundamentando a presença significativa de humidade nos paramentos em avaliação. Tal facto levará, progressivamente, à perda de aderência entre o reboco e o revestimento de tinta (A.3.(5)), ou, em circunstâncias de permanência prolongada de água nos paramentos, o destacamento da camada de acabamento do suporte aplicado (A.5.(4)) (Fig. 4.119a). Porém, devido às condições de humidade instaladas (C – A.E.3., C – A.E.8.), assim como as circunstâncias insuficientes de ventilação (C – A.U.1.) nos locais de anomalias A.5., formou-se a deposição de microrganismos (Figs. 4.119b, 4.1179c, 4.1179d, 4.119e), desencadeando a biodeterioração da camada de reboco exposto (A.9.(3)).

Por sua vez, o humedecimento dos materiais poderá dar origem à dissolução e cristalização dos sais (C – A.E.11.) sobre os revestimentos aplicados, desencadeando os fenómenos de eflorescências (A.4.(1) e A.4.(2)). Como tal, as eflorescências A.4.(8) são desencadeadas devido à presença de humidade de precipitação na camada de suporte, provinda da falta de estanquidade dos caixilhos exteriores, onde as eflorescências A.4.(7) (Fig. 4.112e) advêm da ascensão de humidade de precipitação (C – A.E.8.), de uma parede exterior (Fig. 4.119f).

A causa provável para o desencadeamento da anomalia A.4.(7) poderá estar associada à aplicação inadequada da camada de impermeabilização (C – A.P.1., C – A.E.1. e C – A.E.5.), em locais de remates no terraço acessível (zona E), proporcionou a absorção de água de precipitação (C – A.E.3.), por parte da parede exterior. Não obstante a tal facto, a fraca pendente da cobertura plana, associada às eventuais obstruções das instalações de drenagem pluvial, poderão desencadear a subida (inesperada) do nível da água de precipitação, proporcionando a degradação progressiva, quer da camada de revestimento impermeabilizante aplicado, quer das paredes exteriores (devido ao humedecimento dos materiais). De facto, através da Figura: 4.119f é possível verificar uma mancha de tonalidade mais escura, no revestimento exterior da parede em avaliação, encontrando-se associado ao local de

ascensão da água de precipitação (coincidente com o local de manifestação das eflorescências **A.4.(7)**, no paramento interior da referida parede), com uma altura entre os 0,10m e os 0,15m.

Em ambas as circunstâncias de eflorescências verificadas, as variações de humidade (em períodos de precipitação e em períodos secos) (**C – A.A.2.**), de temperatura (**C – A.A.1.**), assim como as condições desfavoráveis de ventilação e de aquecimento (**C – A.U.1.**), possuem um caráter decisivo para a evolução dos efeitos de tais anomalias.



**Figura 4.119** – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia A.5.(4); b.; c.; d.; e. Ocorrências da anomalia A.9.(3); f. Representação da possível ascensão de humidade de precipitação, no local E do oitavo piso.

Todavia, para além da evidência de eflorescências esbranquiçadas, observou-se, igualmente, ocorrências de empoamentos de pintura (**A.7.(6)**) na parede exterior adjacente à zona E do terraço acessível. Como tal, o humedecimento constatado no referido local (2% a 9,56%), acabou por desencadear a perda de aderência entre a película de tinta e o suporte aplicado, manifestado através do intumescimento do revestimento de acabamento utilizado (**Fig. 4.112d**).

Relativamente às ocorrências de espectro fantasmas interiores (**A.6.(4)**) (**Fig. 4.120**), evidenciou-se tais anomalias, na generalidade das paredes exteriores (excetuando a parede exterior orientada a poente) dos dois pisos em avaliação.



**Figura 4.120** - Ocorrências da anomalia A.6.(4).

Como referido em §2.5.1.1.1.4, §4.4.2.3.1, §4.4.3.3.1 e em §4.4.4.3.1, e tendo como base os resultados obtidos pelo ensaio termográfico realizado (termómetro), demonstrou-se a presença de divergentes valores de temperatura entre os tijolos cerâmicos e as juntas de argamassa, provindos dos

diferentes coeficientes de condutibilidade térmica dos mesmos (proporcionando diferentes resistências térmicas nos dois materiais considerados). De facto, as empenas sul conferiam uma temperatura de tijolos cerâmicos (23,5°) ligeiramente superior à das juntas de argamassa (20,8°). Por sua vez as paredes orientadas a norte possuem temperaturas de materiais ligeiramente mais reduzidas, em que a temperatura dos tijolos cerâmicos é cerca de 20,1° e a temperatura das juntas de argamassa corresponde a cerca de 19,6°. Por fim, a média de teor de humidade obtido, na generalidade das paredes avaliadas, foi cerca de 2,5%, onde as paredes orientadas a norte são caracterizadas por teores de humidade mais elevados (3,8%).

Por fim, a anomalia **A.12.(2)** (**Fig. 4.112f**), verificada na zona F do nono piso, é caracterizada pelo surgimento de manchas de tonalidade verde, de pouca coesão sobre a parede exterior em questão. De facto, como referido em §4.4.3.3.1 e em §4.4.4.3.1, a presença de humidade elevada **C – A.E.3.)** no paramento (entre os 2,30% e os 8,90%), proporcionará a deposição e a progressiva acumulação de partículas, ou de ações biológicas (**C – A.A.4.)** sobre os mesmos. Como tal, oriundo das idênticas manifestações entre as anomalias **A.12.(2)** (do grupo de pisos IV) e as ocorrências **A.12.** em avaliação, atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descrita em §4.4.4.3.1), para a determinação do diagnóstico do referido tipo de anomalia.

Posto isto, e dado que as circunstâncias de manifestações e particularidades das **A.2., A.3., A.4.(8), A.5., A.6., A.7.** e **A.9.** são bastante idênticas às análogas anomalias manifestadas no segundo, terceiro e quarto grupo de pisos, atribuiu-se a mesma quantificação e qualificação de causas (descritas anteriormente em § 4.4.2.3.1, § 4.4.3.3.1 e em § 4.4.4.3.1), para a obtenção do diagnóstico das presentes anomalias.

#### **4.4.5.3.2 ANOMALIAS GRUPO B.**

As situações anómalas evidenciadas nos revestimentos de *parquet* de madeira (**B.1., B.2., B.3., B.5.**), encontram-se bastante semelhantes às situações descritas anteriormente (no quinto, sexto e sétimo piso), tendo em conta a mesma natureza de revestimento considerado.

A maioria das anomalias **B.1.(4)** (**Figs. 4.113a, 4.113b, 4.113c**), **B.2.(3)** (**Fig. 4.113d**) e **B.5.(4)** (**Fig. 4.113f**) encontra-se associada à permanência exagerada de água nos revestimentos (1,2% a 2,8%), desencadeada pelas infiltrações de água de precipitação (derivada da degradação e da falta de manutenção em caixilhos exteriores (**C – B.U.4.** e **C – B.U.1.**)). Em contrapartida, as anomalias **B.3.(4)** encontram-se associadas, fundamentalmente, à escolha inadequada da estrutura de revestimento de pavimento aplicada (**C – B.P.2.**), face às condições de utilização. Como tal, e visto que os efeitos e particularidades das anomalias (**B.1., B.2., B.3.** e **B.5.**) são bastante idênticos às anomalias do grupo B., manifestadas no terceiro e quarto grupo de pisos, ir-se-á utilizar a mesma quantificação e qualificação das causas associadas (descritas em §4.4.3.3.2 e em §4.4.4.3.2), para a obtenção do diagnóstico das presentes anomalias.

#### **4.4.5.3.3 ANOMALIAS GRUPO C.**

Relativamente à manifestação de líquenes (**Figs. 4.121a, 4.121b, 4.121c**) nos locais de juntas de pedras mármores encontra-se associada, fundamentalmente, à degradação do material aplicado nas

juntas (C – C.E.4.), devido à ação da precipitação (C – C.A.2.) no mesmo. Porém o dimensionamento exagerado de juntas (C – CP.2.), conjuntamente poderá desencadear a acumulação de sujidade (C – C.A.1.) e a deposição de colonização biológica (C – C.A.4.) (devido às condições favoráveis de humidade e de radiação solar), nos locais referidos. Porém a inexistência de trabalhos de manutenção e de limpeza (C – C.U.1.), nos revestimentos exteriores em avaliação, foram igualmente associados ao diagnóstico da dita anomalia. No que diz respeito à manifestação de eflorescências esbranquiçadas (C.3.) (Fig. 4.121d), nas juntas do revestimento pétreo utilizado na fachada frontal do edifício, adotou-se a mesma avaliação de diagnóstico descrita em §4.4.4.3.3, tendo em consideração a semelhança de efeitos e de particularidades das anomalias presentes nos diferentes grupos de pisos, em questão. Porém, será importante referir que os efeitos e as proporções das eflorescências, evidenciadas no oitavo piso, encontram-se mais intensificados, comparativamente às situações da mesma natureza anómala, do sétimo piso.

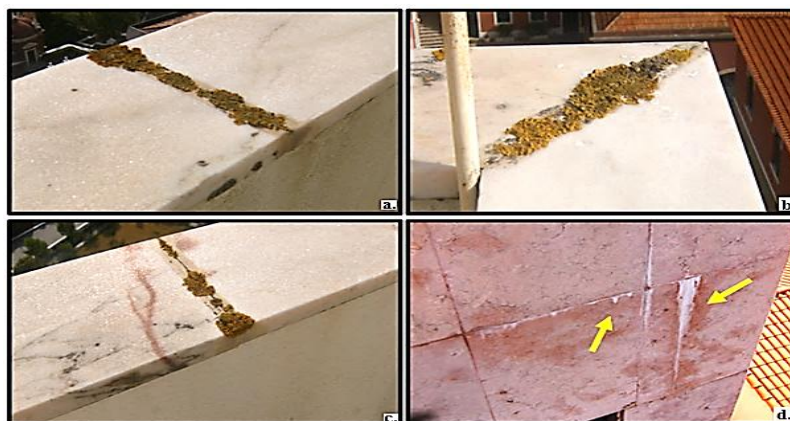


Figura 4.121 – Representação de anomalias: a.; b.; c.; Ocorrências da anomalia C.2.(1); d. Ocorrência da anomalia C.3.(2).

#### 4.4.5.3.4 ANOMALIAS GRUPO D.

Tendo em consideração que existe uma significativa semelhança entre as manifestações das anomalias D.2.(4) (Figs. 4.114a, 4.114b, 4.114c), D.3.(4) (Figs. 4.114e, 4.114f) e D.4.(4) (Fig. 4.114d), evidenciadas nos pisos em questão, e os idênticos tipos de anomalias do segundo, terceiro e quarto grupo de pisos, considerou-se a mesma avaliação do diagnóstico, de tais ocorrências, mencionada em §4.4.2.3.4, em §4.4.3.3.4 e em §4.4.4.3.4.

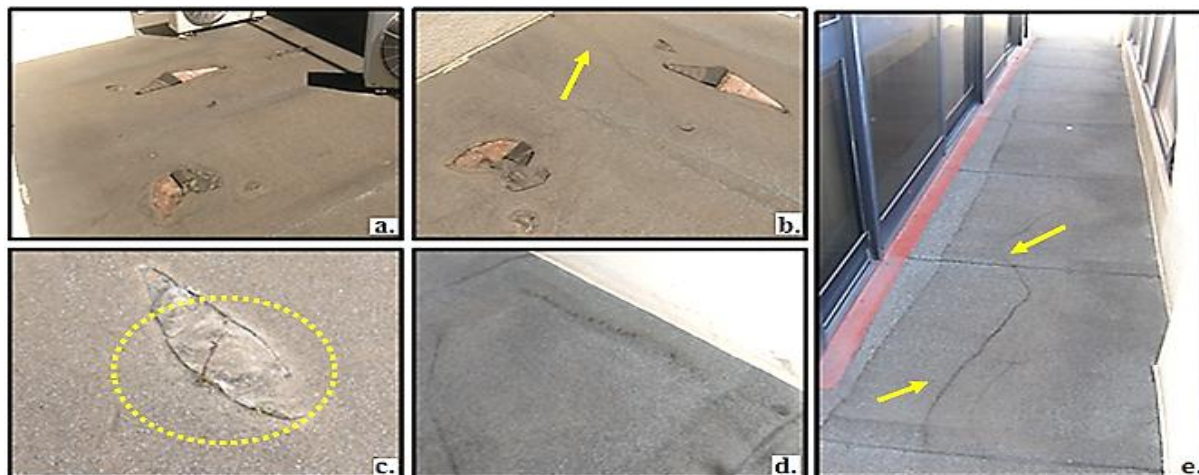
#### 4.4.5.3.5 ANOMALIAS GRUPO E.

Como referido anteriormente, observaram-se cerca de cinco tipos de anomalias, no revestimento impermeabilizante da cobertura em terraço, no oitavo piso.

O revestimento impermeabilizante utilizado no terraço acessível, do oitavo piso, é associado a uma tela betuminosa com uma armadura inorgânica de fibra de vidro. Tal revestimento é composto por apenas uma única camada completamente aderente ao suporte aplicado, possuindo uma proteção leve mineral de gravilha.

Iniciando a avaliação do diagnóstico da anomalia associada à perfuração, e progressivo destacamento da camada de impermeabilização (E.1.(1)) (Fig. 4.122a), a causa, fundamental, para o

desencadeamento de tal anomalia, encontra-se relacionada com a possível fixação ou arrastamento de equipamentos de climatização (**C – E.M.1.**) sobre a camada de impermeabilização. De facto através da **Figura: 4.122a** poder-se-á observar as colocação de tais equipamentos bastante próximos dos locais das anomalias **E.1.**.



**Figura 4.122** – Representação de anomalias: a.; Ocorrências da anomalia E.1.(1); b. Ocorrência da anomalia E.4.(1); c. Ocorrência da anomalia E.2.(1); d. Ocorrência da anomalia E.3.(1); E. Ocorrência da anomalia E.5.(1).

Todavia, o facto de só persistir uma camada de revestimento impermeabilizante (**C – E.P.1.**) (dever-se-ia ter colocado um sistema de multicamada, constituído por três camadas), implicará, consequentemente, a exposição imediata do material de suporte (revestimento cerâmico). De facto como referido em §4.4.3.4.6, evidenciou-se estalactites no teto da zona C (**Figs. 4.108c, 4.108d**), resultado das infiltrações de água de precipitação nos referidos locais de destacamento da camada de impermeabilização. Por fim, a qualidade dos materiais de impermeabilização utilizados (**C – E.P.4.**), a provável inexistência de trabalhos de inspeção e reparação (**C – E.U.2.**), assim como as ações (inicialmente não planeadas) provenientes da acessibilidade do terraço (**C – E.C.1.**) e do vento (**C – E.A.1.**), foram igualmente consideradas no diagnóstico da referida anomalia.

Relativamente à anomalia associada a manifestações vegetativas (**E.2.(1)**), foram observadas em certos locais de destacamento do revestimento impermeabilizante (**Fig. 4.122c**). Como tal, devido à deposição de partículas de diversas naturezas (devido à ação do vento (**C – E.A.1.**)), da exposição solar (**C – E.A.2.**) e da provável acumulação de água de precipitação (**C – E.P.7.**) criou-se um potencial ambiente, propício ao crescimento e à deposição de colonização biológica (**C – E.A.6.**), nos referidos locais. Porém, a pormenorização deficiente do número de camadas a aplicar (**C – E.P.1.**) associada à provável inexistência de trabalhos de manutenção (**C – E.U.2.**), na cobertura em terraço em avaliação.

Não obstante às circunstâncias anómalas referidas anteriormente, foram observadas, igualmente situações de empolamentos na tela betuminosa aplicada (**Fig. 4.122d**). Os empolamentos são sobrelevações do revestimento de impermeabilização em superfícies corrente, visíveis à superfície e são o resultado da formação de bolsas de ar e vapor de água sob pressão entre o sistema de impermeabilização e a camada de suporte (Lopes, 2011). Assim sendo, tais anomalias poderão estar associadas à conceção incorreta ou inexistente do sistema de colagem (**C – E.P.2.**), à falta de limpeza

do suporte (C – E.E.3.) (antes da aplicação do revestimento) ou até mesmo, à inadequada colocação da camada de impermeabilizante sobre o suporte (C – E.E.4.). Porém a provável inexistência de trabalhos de inspeção (C – E.U.2.), assim como o incorreto armazenamento do material de impermeabilização (uso de membranas de rolos achatados que dificultam o posicionamento plano sobre o suporte), poderão desencadear a acentuação dos efeitos de tal anomalia. Relativamente às manifestações de fissurações na camada de impermeabilização (Fig. 4.122b), crê-se que o seu surgimento encontra-se associado à inexistência de bandas de dessolidarização (C – E.P.5.).

Segundo Lopes (2011), a maior probabilidade de ocorrências de fissuras em sistemas de impermeabilização aderentes, deve-se, evidentemente, à maior facilidade de transmissão das deformações do suporte a esse sistema. Como tal, com a aplicação de um sistema de dessolidarização entre a camada de suporte e a tela betuminosa, poder-se-á atenuar a propagação das tensões, instaladas entre os mesmos, no revestimento de impermeabilização, evitando-se assim as ocorrências de fissurações, no mesmo. Contudo, a conceção incorreta (C – E.P.1.), a seleção inadequada (C – E.P.4.) e o envelhecimento natural (C – E.A.4.) do revestimento impermeabilizante, assim como a utilização (C – E.E.1.) e colocação inadequada (C – E.E.4.) dos materiais e as ações providas de deslocações de pessoas (C – E.C.1.) (condições de acessibilidade da cobertura em terraço), foram igualmente associadas à avaliação do diagnóstico, da presente anomalia.

Por fim, as manifestações de presença prolongada de água (C – E.C.2.) (Fig. 4.122e) poderão estar associadas à conceção incorreta (C – E.P.3) e ao estrangulamento dos pontos de evacuação das águas pluviais (C – E.E.2.), à utilização de fracas pendentes (C – E.P.7.), à falta de limpeza em sistemas de drenagem pluviais (C – E.U.1.) e à ausência de inspeções e manutenções periódicas à cobertura em terraço (C – E.U.2.), em questão.

#### 4.4.5.3.6 ANOMALIAS GRUPO F.

Referentes às causas relacionadas com o surgimento da deposição de colonização biológica (F.1.(2)) (Fig. 4.123b) (sobre o revestimento impermeabilizante, localizado em remates) encontram-se, possivelmente, associados à inexistência de uma manutenção periódica (C – F.U.3.), à exposição da radiação solar (C – F.A.2.), assim como a ação biológica (C – F.A.3.).

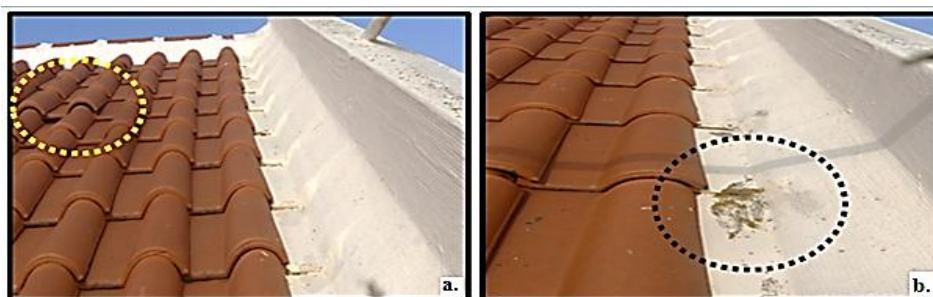


Figura 4.123 – Representação de anomalias: a. Ocorrência da anomalia F.2.(1); b. Ocorrência da anomalia F.1.(2).

Por fim, as causas associadas aos levantamentos/desalinhamento das telhas cerâmicas (F.2.(1)) (Fig. 4.123a) poderão estar relacionadas com a conceção/pormenorização incorreta da sobreposição dos elementos de revestimentos (C – F.P.2.), da utilização de matérias com particularidades heterogêneas (C – F.E.4.), à ação de ventos fortes (C. F.A.1.), ou, possivelmente, da ação mecânica proveniente da

colocação de cargas ou de circulação de pessoas (**C – F.M.1.**) sobre os revestimentos da cobertura inclinada. Porém, a realização de possíveis manutenções (**C – F.U.3.**) e substituições inadequadas (**C – F.U.1.**) poderão desencadear tais ocorrências.

#### **4.4.5.3.7 ANOMALIAS GRUPO G.**

Como referido anteriormente, observou-se dois tipos de fissurações distintas em elementos estruturais de betão armado, no nono piso.

Relativamente à fissuração mapeada (**G.1.(3)**) localizada numa parede da zona E (**Fig. 4.115b**), encontra-se caracterizada pela configuração de uma malha irregular, tipo “pele de crocodilo”, com uma abertura de fissuração razoável. Tendo em conta a irregularidade de fendilhação, obteve-se larguras de fissuração entre os 0,10 mm e os 0,30 mm, não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocações e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Por fim, obteve-se valores de teores de humidade bastante reduzidos (entre os 0,70% e os 1,1%), tendo em conta a totalidade da parede em avaliação.

Assim sendo, e tendo em conta a inexistência de humidade no suporte, crê-se que tais fenómenos foram desencadeados pelo fenómeno diferido de retração do betão armado (**C – G.P.3.**). De facto, durante a aplicação do betão armado, caso haja condições atmosféricas desfavoráveis (no que diz respeito á presença de temperaturas elevadas), ou realização de procedimentos de execução inapropriados, evidencia-se a secagem momentânea do betão, proporcionando a ocorrências de tais fissurações. Por sua vez, a ocorrência de fissuração **G.1.(4)** (**Fig. 4.115a**) foi observada pilar nº 3, do nono piso, localizada em toda a altura do referido elemento estrutural (cerca de 3,0m). Tal fissuração é caracterizada pela sua direção completamente vertical, possuindo uma largura de fissuração entre os 0,20 mm e os 0,45 mm, não apresentando nenhum indício de rugosidade, assim como modificações de deslocações e de alinhamentos ao longo da extensão das mesmas. Por fim, obteve-se valores de teores de humidade bastante reduzidos (entre os 0,80% e os 2,3%), tendo em conta a totalidade da extensão do pilar em avaliação. Tendo em conta, o que foi referido em §4.4.4.3.5, as sucessivas modificações de projeto do edifício (tendo em conta a alteração do tipo de utilização do edifício e do número de pisos aéreos do mesmo), é plausível o surgimento de erros associados à conceção, pormenorização e dimensionamento dos elementos estruturais de betão armado (**C – G.P.4.**) devido à não consideração das sobrecargas devidas. Como tal, o aumento, implícito, de cargas e sobrecargas (**C – G.C.1.**), poderá, igualmente, ter desencadeado o efeito de fissuração, em análise.

#### **4.4.5.3.8 ANOMALIAS GRUPO H.**

Por fim, a única anomalia evidenciada em revestimentos cerâmicos corresponde à manifestações de sucessivas fissurações (**Fig. 4.115e**). Semelhante ao referido em §4.4.2.3.6, tais ocorrências encontram-se associadas à seleção inadequada do revestimento (**C – H.P.1.**), tendo em conta a utilização associada, assim como a erros provindos da incorreta conceção (**C – H.P.2.**, **C – H.P.3.**, **C – H.P.4.**) e da execução de aplicação (**C – H.E.1.**). De facto, para se evitar a fissuração e o descolamento dos ladrilhos devidos a tensões originadas por deformações de natureza higrotérmica do suporte (**C – H.P.4.**), do material de assentamento e dos ladrilhos, é necessário introduzir juntas de

esquartelamento do revestimento (Silvestre, 2005 citando Lucas; Abreu, 2003). Porém, a ação do possível envelhecimento natural (C – H.A.3.) foi, igualmente, associado ao diagnóstico de tal anomalia.

#### 4.4.5.4 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE ANOMALIAS COM AS POSSÍVEIS CAUSAS

Tendo em conta o que foi mencionado em §4.4.5.3, as matrizes de correlação da totalidade das anomalias evidenciadas com as possíveis causas associadas encontram-se no Anexo 2.V.

#### 4.4.5.5 RESULTADOS FINAIS

Tendo em conta os valores da Figura: 4.124, poder-se-á verificar que os erros de projeto foram associados aos oito grupos de anomalias identificados inicialmente. Por sua vez os erros providos da alteração das condições inicialmente previstas foram associados ao grupo de anomalias E. e G., onde as causas associadas às ações mecânicas foram associados, ao grupo de anomalias A., E. e F. Contudo as causas advindas das ações químicas, das ações de acidentes de origem humana e natural não foram associadas a nenhuma ocorrência anómala (Fig. 4.124), dos pisos considerados.

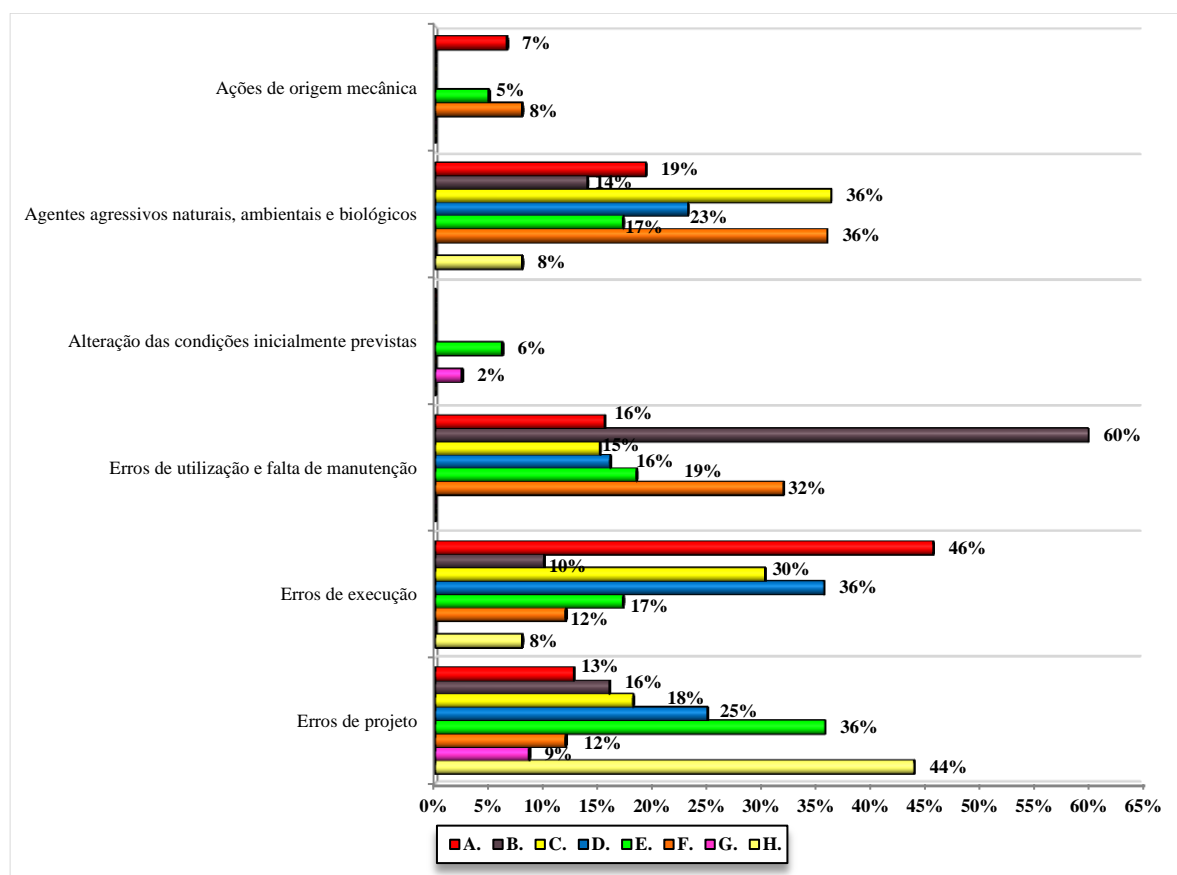
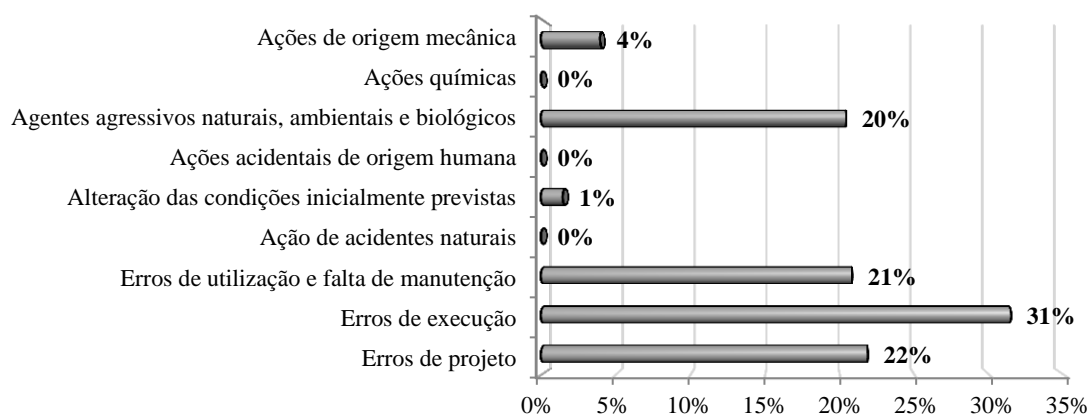


Figura 4.124 - Contribuição dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas, no oitavo e nono piso.

Como tal, poder-se-á admitir (Fig. 4.125) que a generalidade das anomalias evidenciadas no grupo de pisos em análise encontra-se associada a erros surgidos na fase de execução (31%), ao contrário dos efeitos das condições inicialmente previstas, os quais foram associadas cerca de 1% das ocorrências anómalas.



**Figura 4.125** - Frequência de associação dos grupos de causas para as anomalias do quinto grupo de pisos considerado.

## 4.5 Conclusão

Com a aplicação do referido sistema de inspeção e diagnóstico em edifícios recentes (SIDER), conseguiu-se implementar uma metodologia de identificação, classificação e quantificação das anomalias evidenciadas e das possíveis causas que potenciam o seu desenvolvimento, assim como a identificação das técnicas de diagnóstico, nos cinco grupos de pisos considerados. Como tal, tendo em conta a inspeção e o diagnóstico realizado ao edifício, poder-se-á constatar o seguinte:

- O “envelope” exterior do edifício é um dos maiores fatores negativos, uma vez que os caixilhos se apresentam bastante degradados. Tal facto, conduz ao aparecimento de diversos tipos de anomalias em revestimentos interiores;
- Nos casos das paredes da fachada principal, empenas e em alguns casos particulares de fachadas posteriores, considera-se que a espessura dos tijolos utilizados é extremamente baixa, acrescentado ao facto da elevada dimensão da caixa-de-ar não ser benéfica, sobretudo pela ausência de ventilação e de preenchimento de material de isolamento, da mesma. Por outro lado, um pano simples de tijolo em locais particulares de paredes de empenas, não constitui a melhor solução construtiva para a composição de paredes exteriores. Como tal, de uma forma generalizada, poder-se-á concluir que a totalidade das paredes exteriores possui um mau funcionamento, essencialmente, a nível térmico;
- Os efeitos da inundação ocorrida em 2010 acabaram por afetar, de uma forma bastante significativa, a qualidade dos distintos revestimentos de paredes e de pavimentos, do rés-do-chão e do primeiro piso. Relativamente aos elementos estruturais, na sua generalidade, apresentam um bom estado de conservação e de robustez;
- Em termos de validação de diagnóstico (atribuição/definição das causas) as anomalias do tipo F. e G. alcançaram os resultados mais satisfatórios (cerca de 76% e 70%, respetivamente), seguidos das anomalias do tipo A. (73%), do tipo D. e E. (70%), e do tipo C. (68%). Por sua vez, nas ocorrências anómalas do grupo B. e H., evidenciou-se alguma incerteza na atribuição do diagnóstico, em relação aos restantes grupos de anomalias, tendo em conta o valor médio obtido na validação de diagnóstico das mesmas (cerca de 66%).

Seguidamente em §5, do presente trabalho, ir-se-á apresentar a quantificação e qualificação generalizada, das situações anómalas, das respetivas causas associadas e dos meios/técnicas de diagnóstico realizados, no edifício em estudo.

## 5 Tratamento Estatístico de Resultados

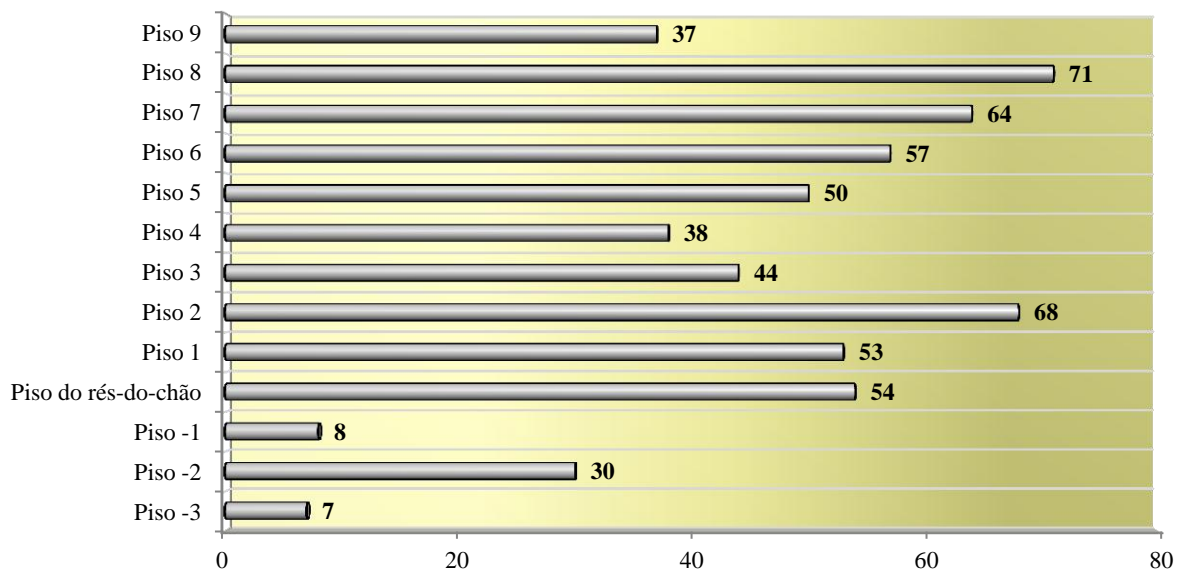
### 5.1 Introdução

Em complemento do que foi referido em §4.4 **Implementação do SIDER**, ir-se-á realizar uma quantificação e qualificação generalizada de ocorrências, tendo como base a totalidade dos pisos do edifício em estudo.

Como tal, apresenta-se no presente capítulo o tratamento estatístico da totalidade dos dados provindos das inspeções realizadas às diversas situações anómalas, e das respetivas técnicas de diagnóstico utilizadas (imprescindíveis para o diagnóstico das anomalias), assim como a frequência de correlação entre as anomalias e as respetivas causas associadas.

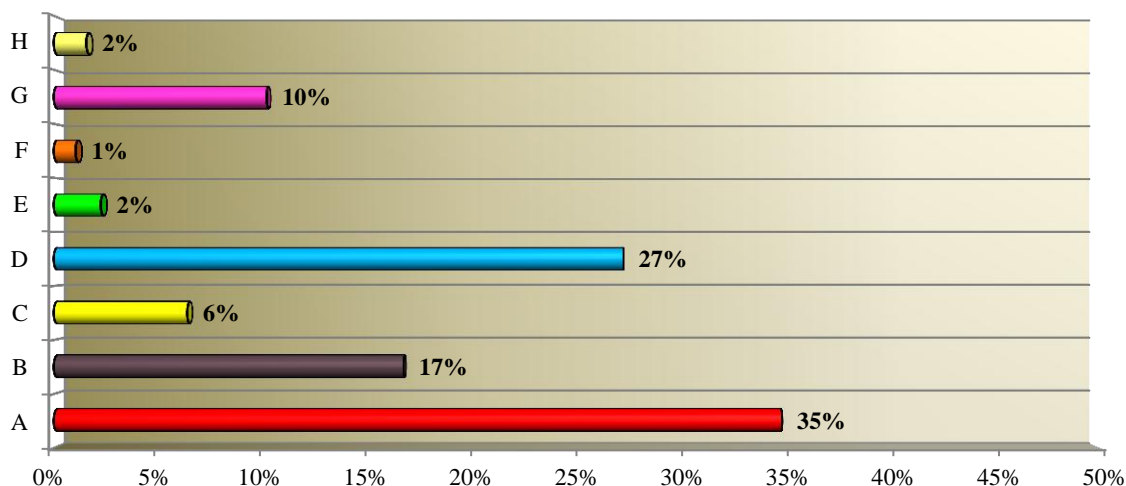
### 5.2 Anomalias do edifício

Durante as quinze inspeções realizadas ao edifício em estudo (decorridas entre Julho de 2012 e Agosto de 2013), constatou-se cerca de 581 anomalias. Através da **Figura 5.1** poder-se-á verificar que o oitavo piso, foi o andar em que se averiguou maior quantificação de ocorrências anómalas (71 anomalias), em contraste com os pisos das caves nº 3 e nº1 (possuindo cerca de 7 e 8 anomalias, respetivamente).



**Figura 5.1** - Frequência absoluta das anomalias observadas nos doze pisos do edifício em estudo.

Como tal, tendo em conta a generalidade das anomalias observadas, as anomalias manifestadas em paramentos interiores de paredes e de tetos (grupo A.) foram as ocorrências mais observadas (cerca de 34,77%), seguidas das anomalias em caixilhos exteriores. Porém as anomalias presentes nos revestimentos das coberturas inclinadas (grupo F.) e em revestimentos cerâmicos contemplam apenas 1,03% e 1,55% das anomalias observadas, respetivamente (**Fig. 5.2**).



**Figura 5.2** - Frequência de ocorrências anômalas distribuídas pelos oito grupos de anomalias considerados.

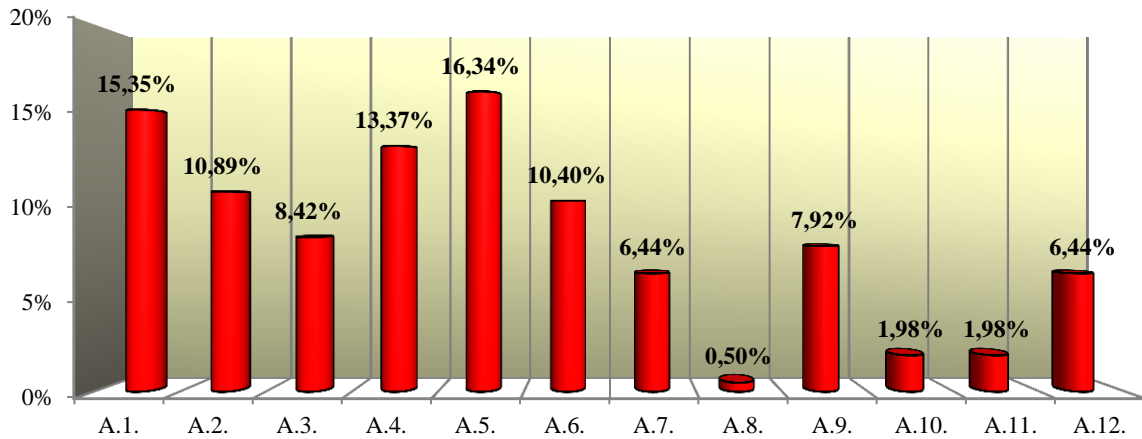
Não obstante a tais factos, as anomalias em revestimentos de pavimentos interiores (grupo B.) e em elementos estruturais exteriores e interiores de betão armado (grupo G.) possuem uma ligeira frequência de observação, cerca de 16,70% e 10,15% respetivamente.

Tendo em consideração, apenas a totalidade de ocorrências de anomalias em revestimentos interiores e exteriores de paredes e tetos (cerca de 202 anomalias), verificou-se que o destacamento de reboco em paredes foi a anomalia mais observada (16,34%), em contraste com a manifestação de erosão do reboco em paredes (0,50%) (**Fig. 5.3**). Tal facto advém da reduzida frequência de observação da anomalia A.8., apenas verificada na primeira cave, ao invés da anomalia A.5. que foi observada em oito andares consecutivos (desde do primeiro até ao oitavo piso), resultado das manifestações de infiltração de água em caixilhos exteriores.

Respeitante às situações de fissurações em paredes, quantificou-se mais ocorrências de fissurações definidas (A.1.) do que fissurações mapeadas (A.2.) (sem orientação ou definição), onde a respetiva discrepância de valores relativos não é muito significativa (4,46%).

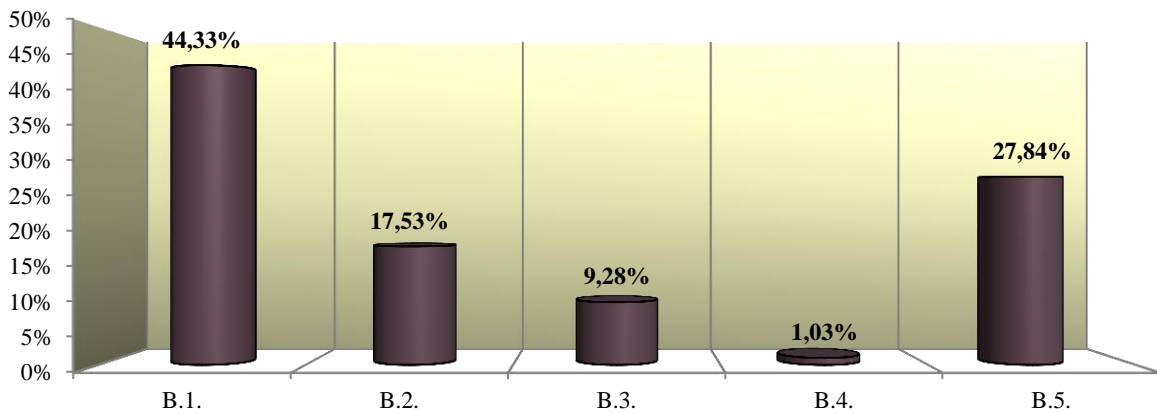
Importará referir, a significativa incidência de ocorrências de eflorescências (A.4.) e de espectros fantasmas interiores (A.6.) em revestimentos de paredes, traduzida pela frequência de observação na generalidade dos nove pisos aéreos, assim como em circunstâncias de pisos subterrâneos (no caso das manifestações de eflorescências).

Por fim, as manifestações de biodeterioração em rebocos (A.9.) e de escorrências em paredes exteriores de varandas (A.12.) reúnem frequências de observação ligeiramente consideráveis (cerca de 7,92% e 6,44% respetivamente), comparativamente às manchas de infiltração/condensação em tetos (A.10.) e com os efeitos de pulverulências de tinta em paredes (A.11.) (possuindo ambas as ocorrências cerca de 1,98% de frequência de observação).



**Figura 5.3** - Frequência relativa de ocorrência dos doze tipos de anomalias do grupo A.

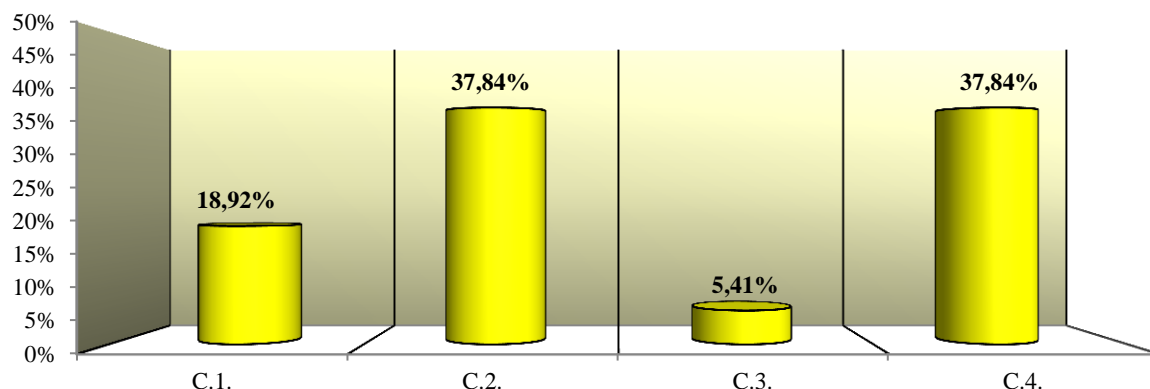
No que diz respeito às anomalias em revestimentos de *parquet* de madeira (**Fig. 5.4**), de pavimentos interiores de compartimentos administrativos, e tendo como base o referido em §4.4, na maioria das circunstâncias de destacamentos dos ditos revestimentos (B.1.), evidenciou-se, igualmente, ocorrências de deformação/empenos (B.2.) e de descolorações/manchas nas camadas superficiais dos mesmos (B.5.). Contudo as anomalias mais observadas foram as ocorrências de destacamentos tacos de madeira (B.1.), contemplando quase metade da totalidade das observações do grupo de anomalias B (cerca de 44,33%).



**Figura 5.4** - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo B.

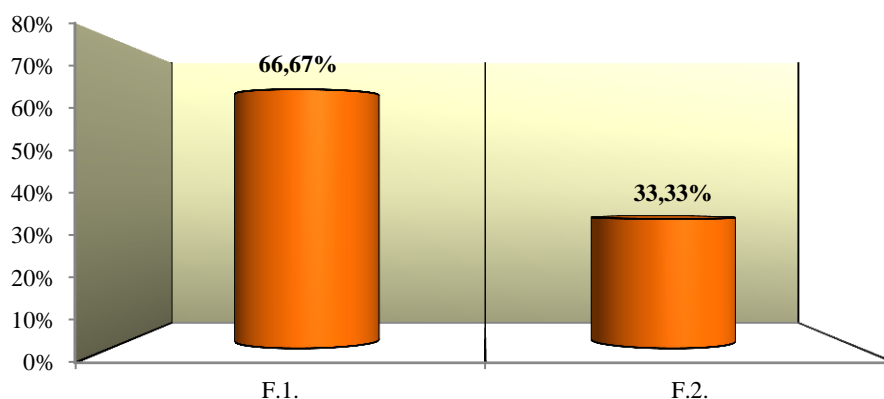
No entanto, o desenvolvimento de fungos (B.4.) apenas foi evidenciado uma vez (no piso do rés-do-chão), reunindo cerca de 1,03% da totalidade de ocorrências (**Fig. 5.4**), dos tipos de anomalias em questão.

Relativamente às anomalias associadas aos revestimentos pétreos, constatou-se que as ocorrências de colonização biológica em juntas (C.2.) e que as degradações em revestimentos exteriores (C.4.) foram as mais evidenciadas, possuindo cerca de 37,84% de frequência de observação (**Fig. 5.5**). Porém, os efeitos da generalidade das eflorescências (C.1. e C.3.) foram constatados cerca de 24,33% das circunstâncias anômalas, onde as eflorescências na superfície do revestimento pétreo foram as mais observadas (18,92%).



**Figura 5.5** - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo C.

Tendo em conta as reduzidas inspeções realizadas às duas tipologias de cobertura inclinada do edifício em estudo (descritas em §4.3.3.1.4) (resultado dos reduzidos meios de acessibilidade, assim como do estado de degradação dos mesmos), apenas se contabilizaram duas anomalias nos referidos revestimentos (**Fig. 5.6**).



**Figura 5.6** - Frequência relativa de ocorrência dos dois tipos de anomalias do grupo F.

Como tal, as anomalias F.1. foram observadas quer na cobertura com revestimento cerâmico (nono piso) quer na cobertura revestida em chapa metálica canelada lacada (primeiro piso), proporcionando conjuntamente cerca de 66,67% de frequência de observação. Por sua vez, os deslocamento/levantamento dos revestimentos descontínuos (F.2.) (telhas cerâmicas), apenas foram observados cerca de 33,33% da totalidade das situações anómalas em causa.

Quanto às anomalias evidenciadas em caixilhos de alumínio exteriores, constatou-se que cerca de 43,04% da totalidade das ocorrências verificadas encontram-se associadas à degradação do revestimento (D.2.) (**Fig. 5.7**), seguidas dos efeitos de infiltração de água (36,71%) e de manifestações de acumulação de detritos e de sujidade em calhas direcionais (12,66%). Contudo as manifestações de condensação interiores em caixa-de-ar de vidros duplos (D.1.), e as ocorrências de vidros partidos (D.6.) apenas foram verificados uma vez (num compartimento do sétimo piso), proporcionando, desta forma, a reduzida frequência relativa associada às mesmas (cerca de 0,63%).

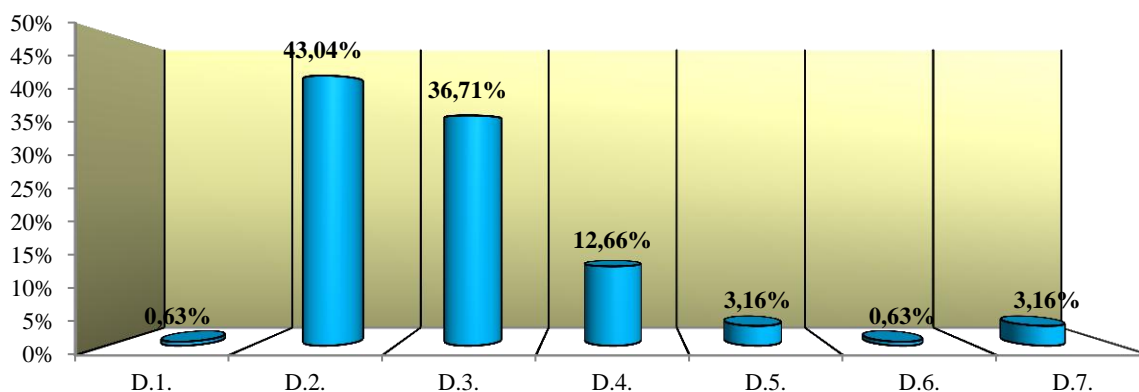


Figura 5.7 - Frequência relativa de ocorrência dos sete tipos de anomalias do grupo D.

Relativamente às anomalias evidenciadas na cobertura em terraço, poder-se-á admitir que as ocorrências de destacamento de revestimento (E.1.) foram as mais observadas (Fig. 5.8) (correspondendo cerca de 46,15% da totalidade dos casos das anomalias E.), seguidas dos efeitos de permanência de água (23,08%) e de fissurações (15,38%) nos mesmos.

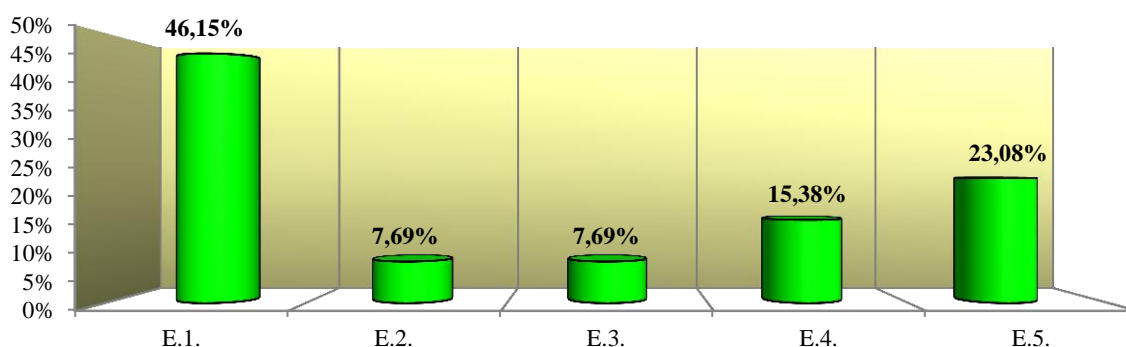
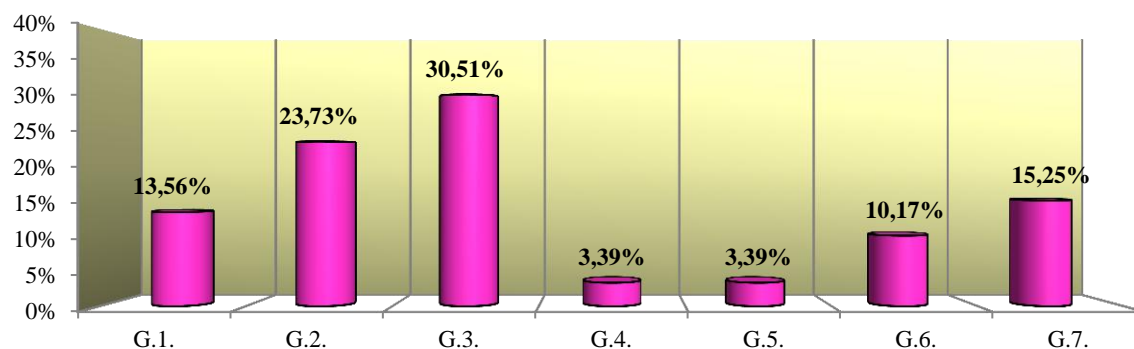


Figura 5.8 - Frequência relativa de ocorrência dos cinco tipos de anomalias do grupo E.

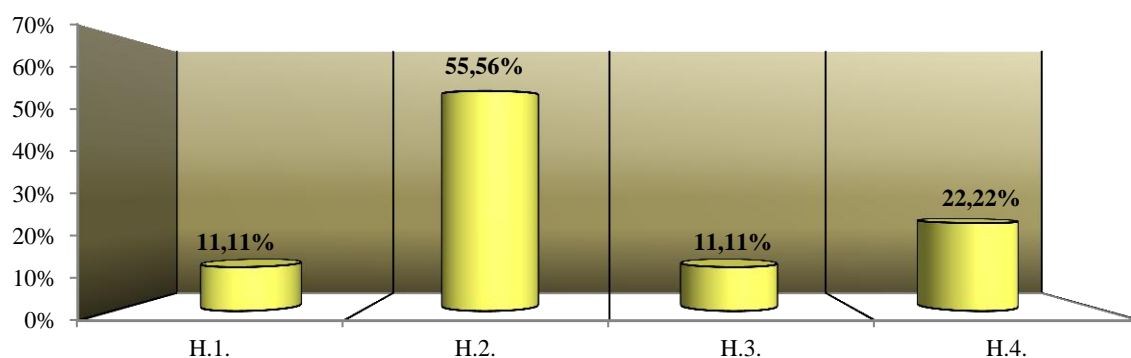
Porém, as circunstâncias de colonização biológica (E.2.) e de empolamentos (E.3.) constituem as ocorrências anómalas menos evidenciadas, contemplando cerca de 7,69% da totalidade das observações, em ambas as circunstâncias.

Como referido em §4.4, as anomalias em elementos estruturais interiores e exteriores, de betão armado foram evidenciadas nos doze pisos do edifício, onde a manifestação de eflorescências (G.3.) (em pilares interiores e em pilaretes) foi a ocorrência mais observada, seguida do destacamento de tinta (G.2.). Porém os efeitos de carbonatação (G.4.) e a provável presença de cloretos no ligante do betão armado (G.5.), representam as anomalias menos observadas do grupo G., tendo em conta que tais ocorrências apenas foram comprovadas no segundo e sétimo piso (descrito em § 4.4.2.3.5 e em §4.4.4.3.5). No entanto, será importante referir a ligeira expressividade de ocorrências relacionadas com o deficiente funcionamento de juntas de dilatação (G.7.), de fissurações (G.1.) e de desenvolvimentos de estalactites em tetos (G.6.) (ver Fig. 5.9).



**Figura 5.9** - Frequência relativa de ocorrência dos sete tipos de anomalias do grupo G.

Por fim, no que diz respeito às anomalias associadas aos revestimentos cerâmicos, as ocorrências de fissurações em pavimentos exteriores (H.2.) foram as anomalias mais evidenciadas (**Fig. 5.10**), em contraste com as manifestações de eflorescências (H.1.) e de descolorações (H.3.) no revestimento superficial, dos revestimentos em questão.



**Figura 5.10** - Frequência relativa de ocorrência dos quatro tipos de anomalias do grupo H.

Na **Figura 5.11**, poder-se-á verificar as frequências relativas das tipologias de anomalias evidenciadas no edifício. De facto, a anomalia mais observada, encontra-se associada à degradação do revestimento dos caixilhos de alumínio (evidenciadas na generalidade dos pisos aéreos, quer na fachada frontal e tardo do edifício) reunindo cerca de 11,70% da totalidade das anomalias (correspondente a uma frequência absoluta de 68 ocorrências). Porém as evidências de infiltrações de água (através de caixilhos exteriores) são igualmente significativas, assim como os destacamentos do revestimento de *parquet* de madeira (agrupando cerca de 9,98% e 7,40% de frequência de ocorrência, respetivamente).

Por sua vez, as anomalias menos registadas encontram-se relacionadas com a manifestação de erosão de reboco (A.8.), com o desenvolvimento de fungos em pavimentos interiores (B.4.), com a condensação interior de caixa-de-ar de caixilhos exteriores (D.1.) e quebra de vidros integrantes dos mesmos (D.6.), com o surgimento de colonização biológica (E.2.) e de empoamentos em camada impermeabilizante (E.3.) (empregue no terraço acessível) e com circunstâncias de descoloração (H.3.) e desenvolvimento vegetativo (H.4.) na camada superficial e nos locais de juntas de revestimentos cerâmicos, respetivamente. Tais anomalias apenas foram observadas uma única vez, possuindo cerca de 0,17% de frequência relativa de ocorrência.

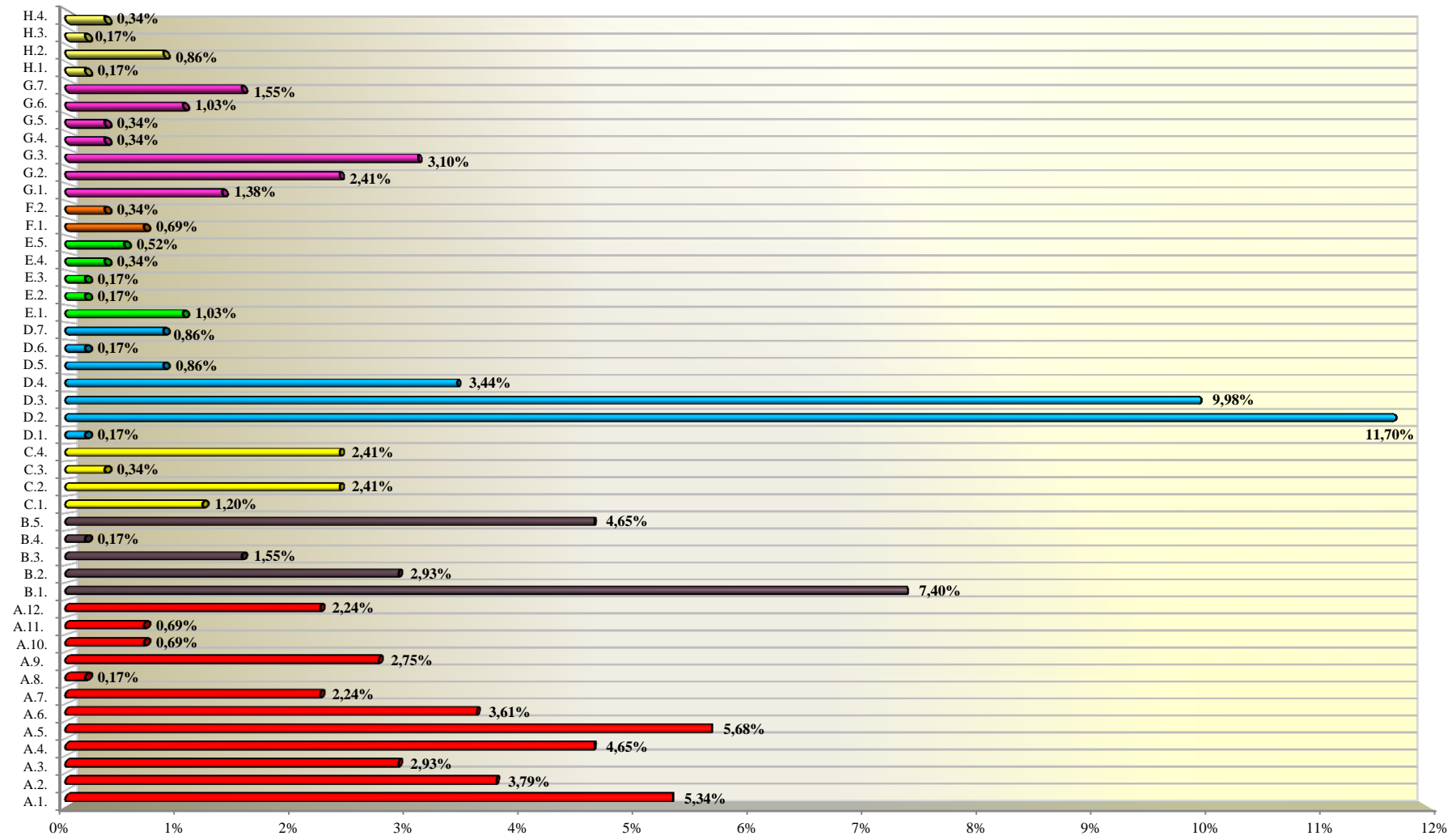


Figura 5.11 - Frequência relativa dos 46 tipos de anomalias evidenciadas, no edifício em estudo.

## 5.2.1 PRIORIDADE DE REPARAÇÃO/INTERVENÇÃO

Tendo em conta o referido em §4.2.2.1 verificou-se que cerca de 40,28% da totalidade das ocorrências possui uma prioridade mínima de intervenção (traduzindo-se em 234 anomalias) (Fig. 5.12), e que cerca de 211 anomalias necessitam de poucos trabalhos de reparação (36,32%), encontrando-se caracterizados pela pequena necessidade de intervenção. Na realidade, as anomalias presentes nos grupos A., B., C. F. e H. caracterizam-se, apenas, pelas mínimas e pequenas necessidades de reparação (Nível 4 e Nível 3 de intervenção, respetivamente).

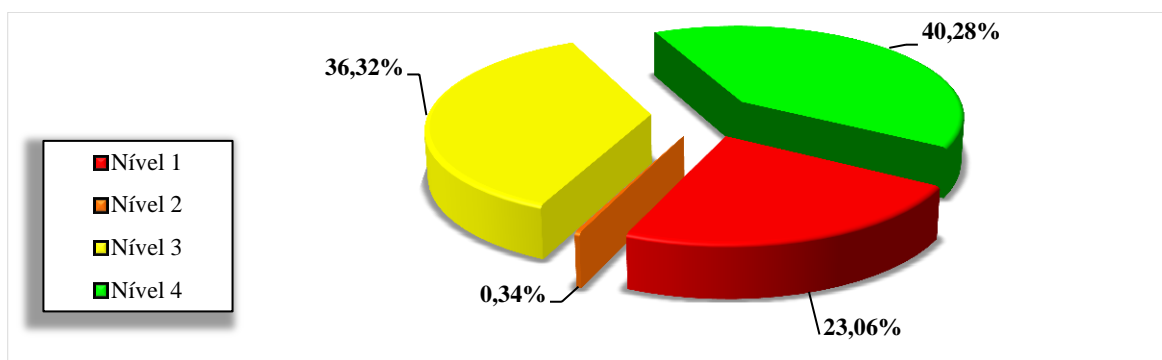


Figura 5.12 - Prioridade de reparação/intervenção da generalidade das anomalias evidenciadas.

Não obstante a tais factos, importará referir que cerca de 134 anomalias qualificam-se pelo alto nível de degradação, e como tal possuem uma prioridade máxima de intervenção (traduzindo-se em 23,06% da totalidade das anomalias). Tais anomalias encontram-se distribuídas nos revestimentos de caixilhos exteriores e na camada de impermeabilização do terraço acessível (Fig. 5.13). Como tal, as ocorrências de degradação de caixilhos exteriores (D.2.) e manifestações de infiltrações de água (D.3.) compõem cerca de 79,75% da totalidade das anomalias D., que necessitam imediatamente de reparação (Nível 4 de intervenção). Em igualdade de circunstâncias, cerca de 61,54% da totalidade das anomalias E., possuem uma prioridade máxima de intervenção, encontrando-se associadas às ocorrências de destacamentos (E.1.) e de fissurações (E.4.).

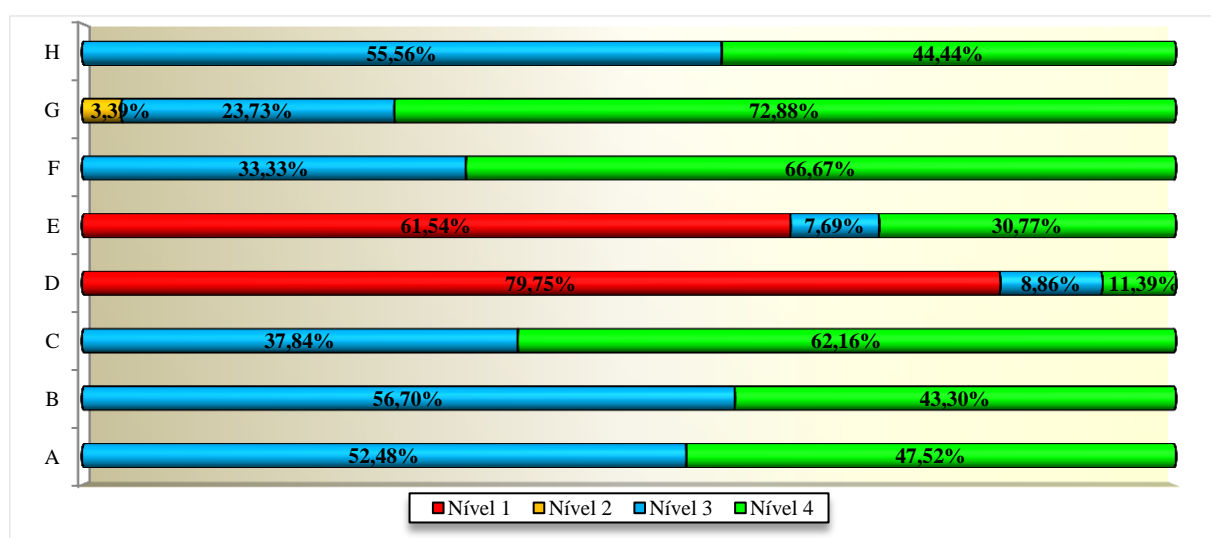


Figura 5.13 - Prioridade de reparação/intervenção nos oito grupos de anomalias considerados no edifício.

Por fim, importará salientar que as únicas ocorrências caracterizadas pela grande prioridade de reparação (Nível 2 de intervenção), encontram-se associadas às fissurações em pilares interiores, presentes no piso do rés-do-chão.

### 5.3 Meios/Técnicas de diagnóstico realizados

Como referido em §4.2.3, utilizaram-se três tipos de meios de diagnóstico, tendo em conta a tipologia de funcionamento (Fig. 5.14), nas 480 ocorrências de técnicas de diagnósticos concretizadas.

Assim sendo, poder-se-á admitir que a grande maioria dos meios de diagnóstico utilizados encontram-se relacionados com a execução de ensaios *in situ* (86%), devido à significativa aplicação do humidímetro (TD-2-ND-1) (Fig. 5.15).

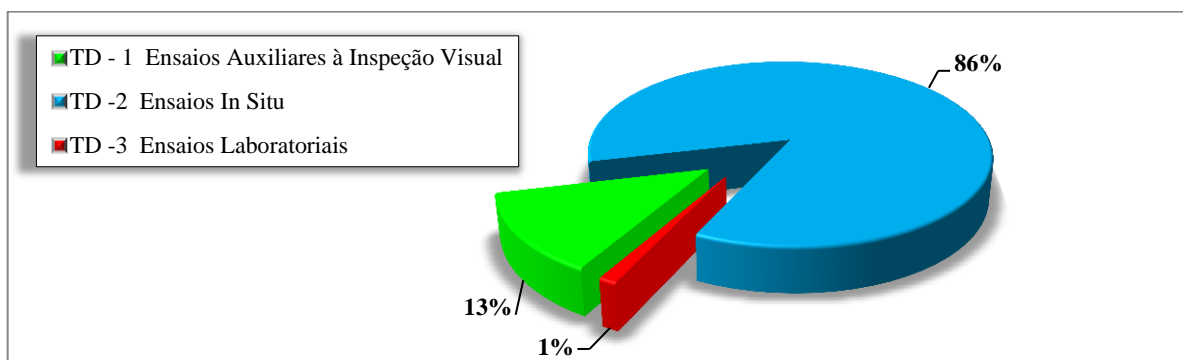


Figura 5.14 - Frequência de escolha dos três métodos de diagnósticos realizados nas inspeções efetuadas.

Não obstante a tais factos, a inspeção visual foi sempre utilizada na generalidade das anomalias evidenciadas, quer como meio complementar de inspeção quer como único meio de diagnóstico (em algumas circunstâncias de anomalias do grupo A., B., C., D. e G. (A.10., B.3., B.5., C.2., C.3., C.4., D.1., D.2., D.4., D.5., D.6., D.7., G.6. e G.7.) e em todas as anomalias do grupo F., E. e H.).

Relativamente ao ensaio auxiliar à inspeção visual (comparador de fissuras) foi utilizado cerca de 13% da totalidade de frequências de ocorrência das técnicas de diagnóstico (Fig. 5. 15), em contraste com o ensaio de quantificação de sais em eflorescências (TD-3-ISP-1) (através da utilização de fitas colorimétricas) que apenas foi utilizado sete vezes (traduzindo-se em cerca de 1,46% das frequências de ocorrências).

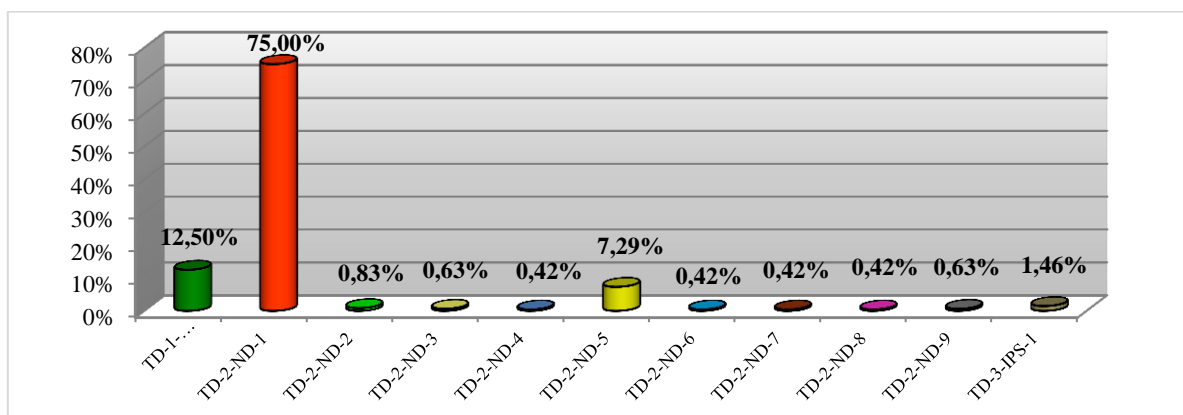
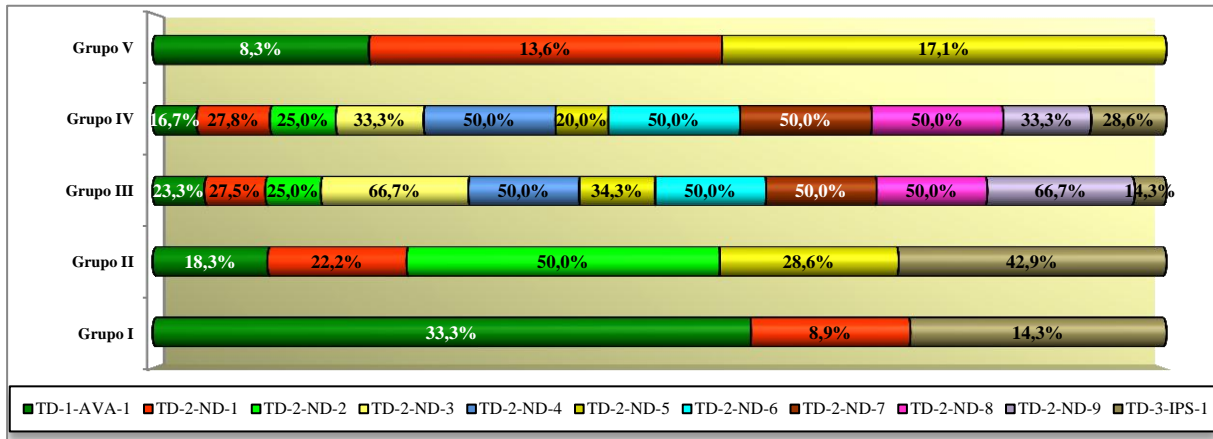


Figura 5.15 - Frequência de ocorrências das técnicas de diagnóstico utilizadas.

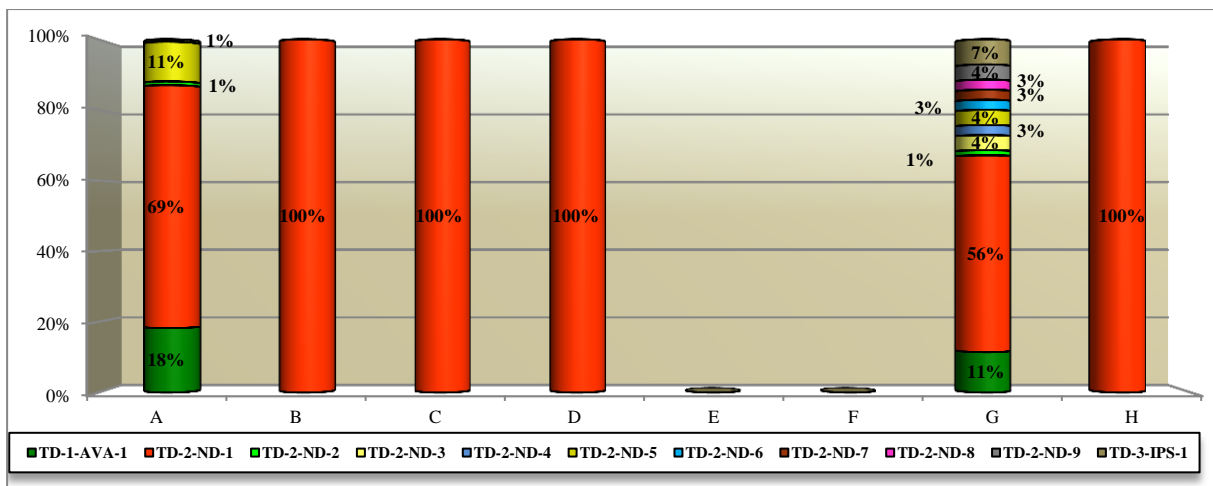
No que diz respeito aos meios técnicos termográficos (TD-2-ND-2 e TD-2-ND-5), poder-se-á verificar que a utilização da câmara termográfica foi utilizada maioritariamente no primeiro grupo de pisos (rés-do-chão e primeiro piso) (**Fig. 5.16**), onde a utilização do termómetro observou-se com maior incidência no terceiro grupo de pisos (quinto, sexto e sétimo piso).



**Figura 5.16** - Contribuição dos cinco grupos de pisos para a utilização das técnicas de diagnóstico consideradas.

Será interessante analisar que no primeiro e quinto grupo de pisos apenas se utilizou três tipos de meios de diagnóstico, em contraste com a significativa diversidade de técnicas de diagnóstico realizadas no terceiro e quarto grupo de pisos (**Fig. 5.16**). Tal facto é derivado da realização da campanha de inspeção a dois pilaretes presentes no segundo e sétimo piso, o qual desencadeou igualmente a execução de seis técnicas de diagnóstico (TD-2-ND-3, TD-2-ND-4, TD-2-ND-6, TD-2-ND-7, TD-2-ND-8 e TD-2-ND-9).

Através da **Figura 5.17**, poder-se-á verificar que as anomalias na generalidade das paredes, assim como em elementos estruturais de betão armado encontram-se caracterizadas pela realização de diversos tipos de meios de diagnóstico. No grupo G. utilizou-se a totalidade das técnicas de diagnóstico, consideradas inicialmente (onze técnicas), ao invés dos grupos de anomalias E. e F., em que não foi realizada nenhum ensaio de diagnóstico. No entanto, poder-se-á verificar que as anomalias do grupo B., C. e D. foram analisadas, exclusivamente, pelo aparelho humidímetro.



**Figura 5.17** - Frequência de utilização das técnicas de diagnóstico realizadas nos oito grupos de anomalias considerados.

## 5.4 Frequência das causas associadas

Através da análise estatística das causas associadas à ocorrência de cada anomalia considerada (tendo em consideração os valores de associação de diagnóstico atribuídos nas matrizes de correlação – Anexo II), foi possível construir gráficos de frequência relativa de ocorrência das mesmas (Fig. 5.18 a Fig. 5.25), os quais permitem retirar algumas conclusões de interesse.

Como tal, e analisando primeiramente as anomalias do grupo A., é possível verificar que na maioria das circunstâncias anómalas os erros de execução foram os mais associados (Fig. 5.24). Porém as manifestações de fissurações definidas (A.1.) e de espectros fantasmas interiores (A.6.) foram, relacionadas, maioritariamente, pelas ações mecânicas e pelos erros de projeto, respetivamente. Por sua vez, os efeitos de alterações das condições inicialmente previstas apenas foram associados às manifestações de manchas de infiltração/condensação em tetos (A.10.) e nas situações de fissurações definidas (A.1.). Será importante referir que as associações das causas entre as anomalias de destacamento de película de tinta e as manifestações de eflorescências são bastante semelhantes, tendo em conta as frequências relativas relacionadas com os erros de execução, de utilização e falta de manutenção, as ações de origem humana e de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos.

Relativamente às anomalias do grupo B. poder-se-á verificar que os diagnósticos atribuídos às anomalias B.1. e B.2. são idênticos entre si, o mesmo não acontece às restantes anomalias (B.3., B.4., B.5.). Porém, os erros de utilização e falta de manutenção surgem como o tipo de causas que mais contribui para a ocorrência dos cinco tipos de anomalias do grupo B. (Fig. 5.25).

O diagnóstico realizado às anomalias evidenciadas em revestimentos pétreos exteriores e interiores encontra-se caracterizado pelo contributo maioritário das ações humanas (em circunstâncias de anomalias C.1.) e dos agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (em circunstâncias de anomalias C.2.). Porém, é visível uma certa semelhança entre o diagnóstico das manifestações de eflorescências em juntas e de degradação do revestimento pétreo exterior, tendo em conta as frequências relativas de associação dos erros de execução e de projeto (Fig. 5.18).

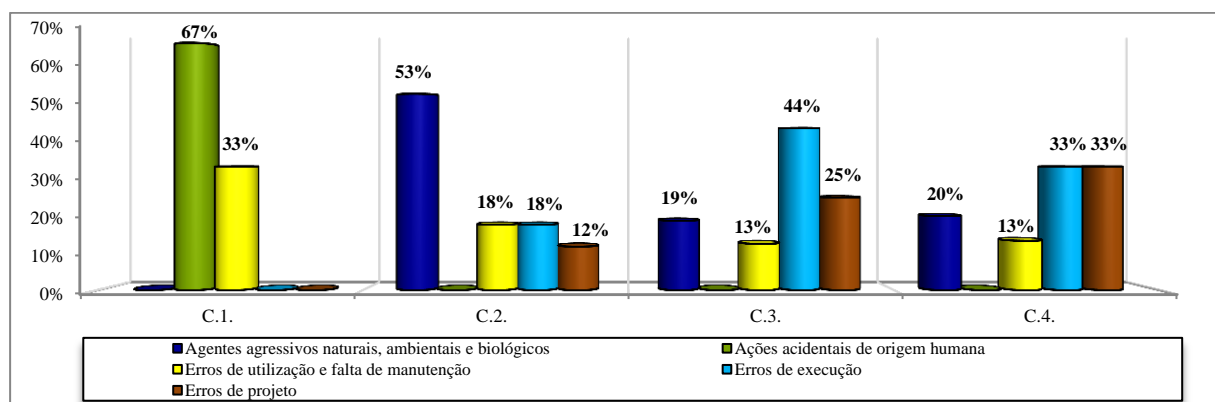
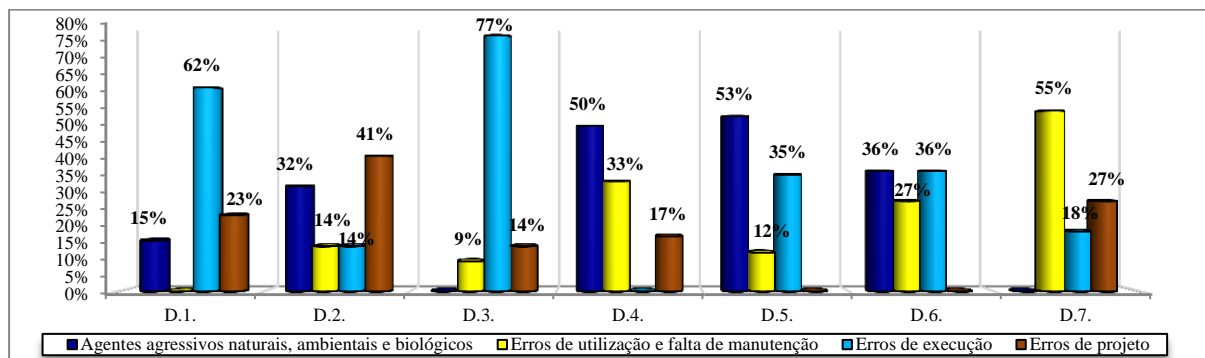


Figura 5.18 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo C.

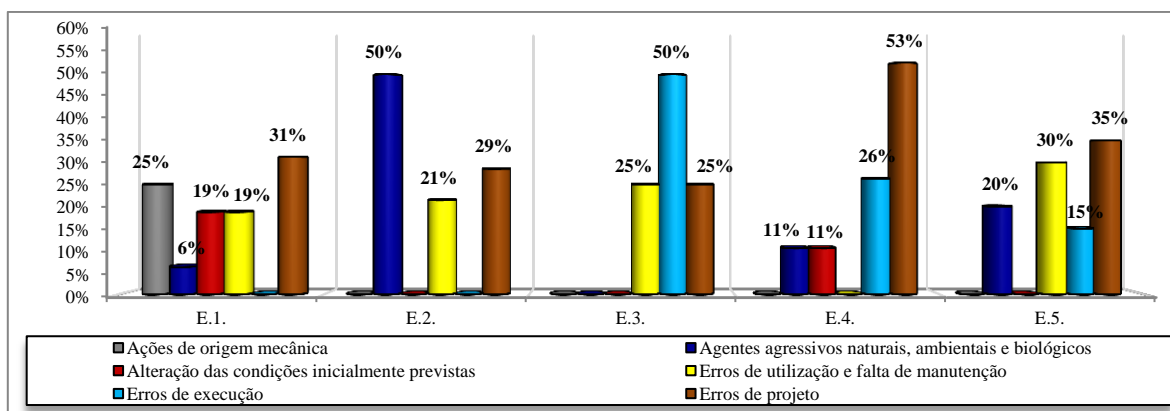
A maioria das anomalias em revestimentos de caixilhos exteriores encontra-se significativamente, associada a erros de projeto (nas situações de anomalias D.2.), de execução (nas situações de anomalias D.1., D.3. e D.6.), de utilização e falta de manutenção (em circunstâncias de anomalias D.7.), assim como da ação de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (em circunstâncias

de anomalias D.4. e D.5. e D.6.) (**Fig. 5.19**). Por sua vez, a associação das causas das anomalias do grupo E. encontra-se distribuída maioritariamente pelos erros de execução (nas situações de anomalias E.3.), de projeto (em circunstâncias de anomalias E.1., E.4. e E.5.) e das ações providas de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (E.2.). Contudo os efeitos de ações mecânicas apenas foram considerados nas situações de empolamentos (E.1.) (**Fig. 5.20**).



**Figura 5.19** - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo D.

Relativamente ao desencadeamento das anomalias observadas nas coberturas inclinadas do edifício (**Fig. 5.21**), encontra-se relacionado, essencialmente, às ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (anomalia F.1.), assim como a erros de utilização e falta de manutenção (anomalia F.2.).



**Figura 5.20** - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo E.

O diagnóstico atribuído aos sete tipos de anomalias, do grupo G., é caracterizado pela diversidade associativa entre as anomalias e as causas prováveis, encontrando-se distribuída pelos erros de projeto, de execução, de utilização e falta de manutenção e pelas ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos. Porém, será importante salientar que nas situações de deficiente funcionamento de junta de dilatação atribuiu-se, exclusivamente, as causas derivadas de erros de execução (**Fig. 5.22**).

Por fim, as anomalias localizadas em revestimentos cerâmicos encontram-se significativamente associadas a erros de projeto e de ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos. Todavia, as causas de origem humana e os efeitos de alterações de condições inicialmente previstas foram, apenas, atribuídas às anomalias H.1. e H.2., respetivamente (**Fig. 5.23**).

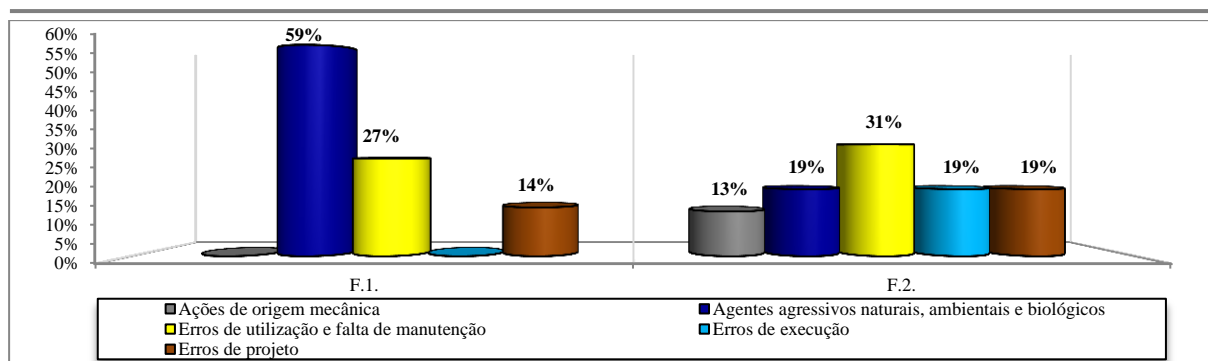


Figura 5.21 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo F.

Assim sendo, e tendo em conta a informação disponível na **Figura 5.26**, poder-se-á verificar que os erros de projeto, de execução e as ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos foram associados nos oito grupos de anomalias considerados.

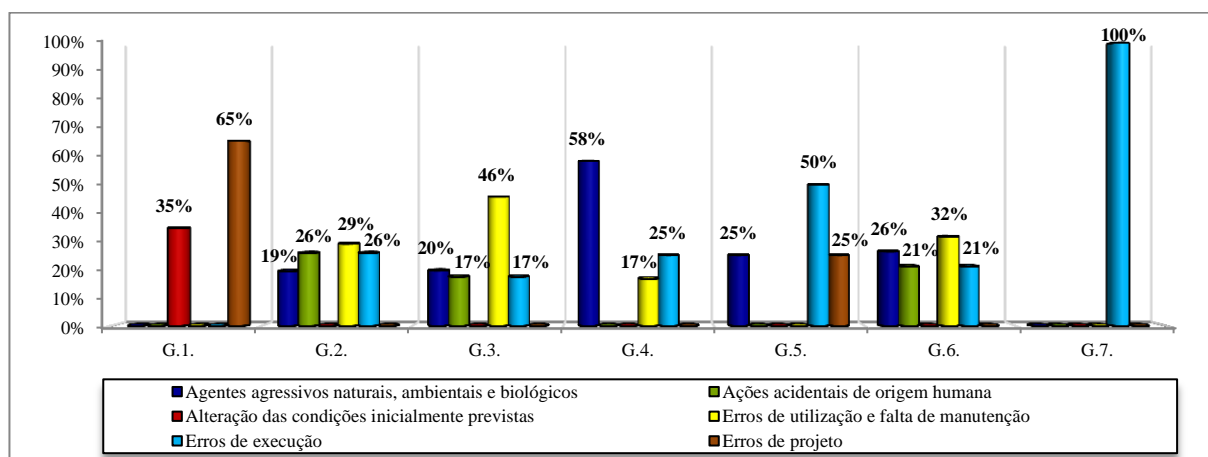


Figura 5.22 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo G.

Os erros de execução foram maioritariamente associados às anomalias do grupo A., C. e D., e os erros de projeto foram atribuídos, significativamente, às ocorrências de anomalias do grupo E. e H. Relativamente às causas provindas dos erros de utilização e falta de manutenção e das ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos foram consideravelmente relacionadas às anomalias do grupo B. e F., respetivamente.

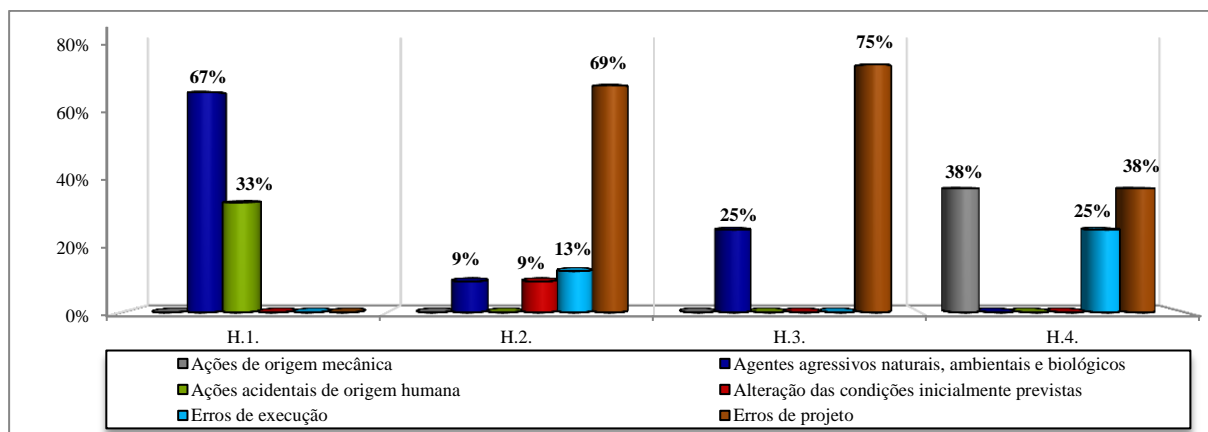


Figura 5.23 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo H.

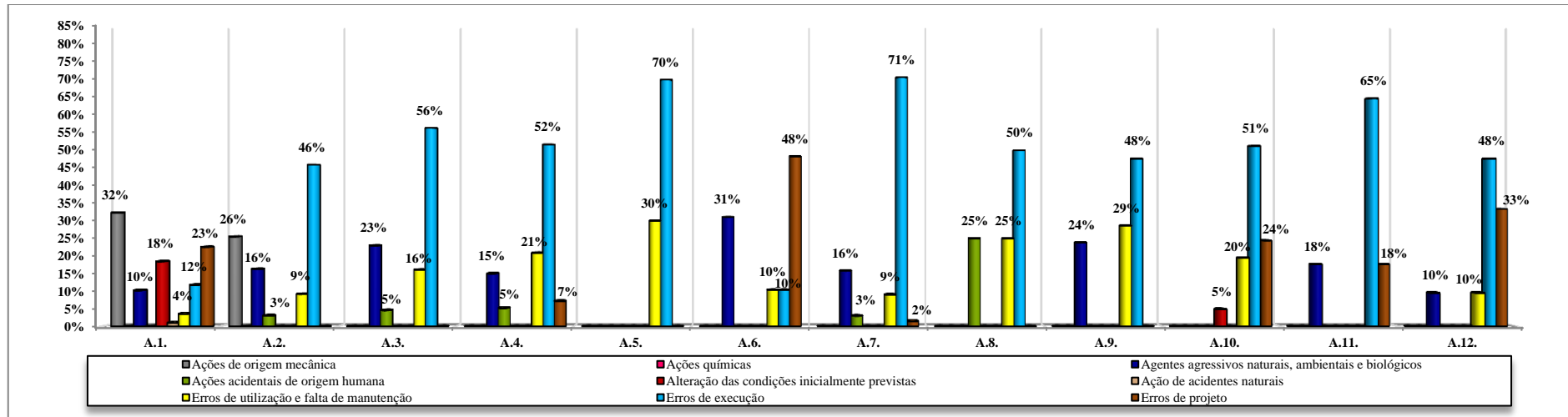


Figura 5.24 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo A.

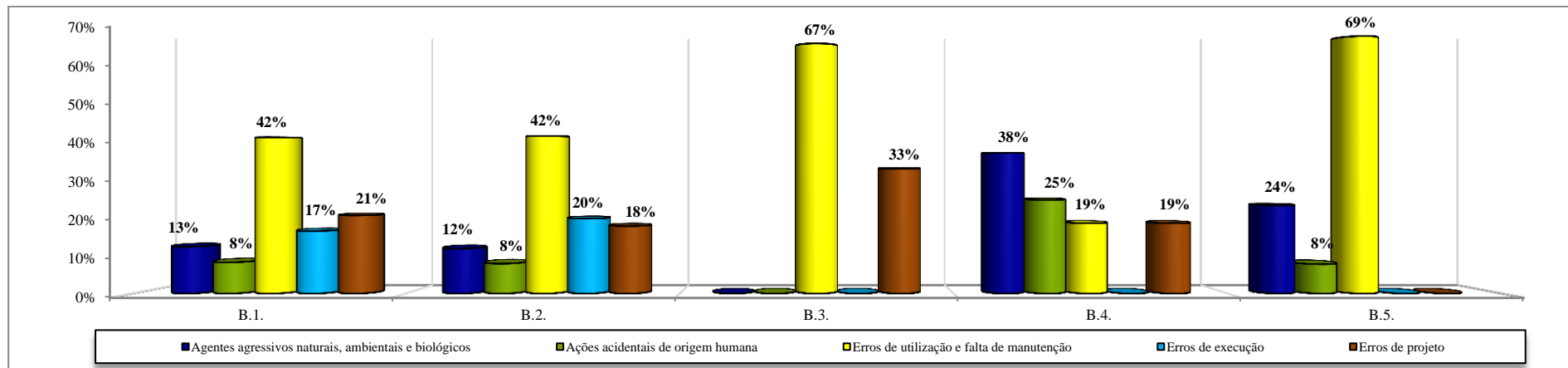


Figura 5.25 - Frequência de associação de causas das anomalias do grupo B.

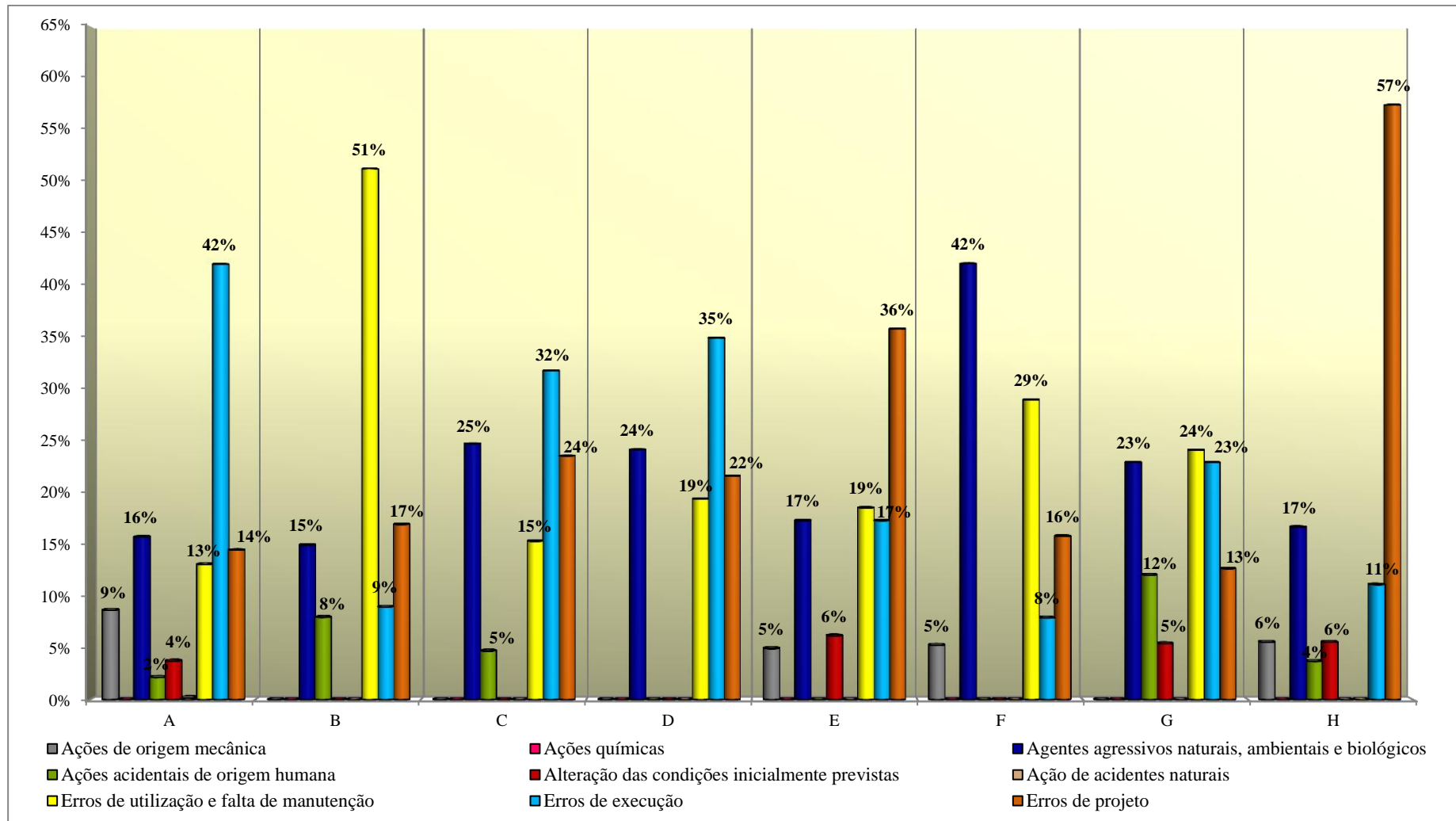


Figura 5.26 - Frequência de associação das causas nos oito grupos de anomalias considerados.

Importará referir que as causas associadas aos erros provindos de ações naturais, humanas, mecânicas e dos efeitos das alterações de condições inicialmente foram pouco associadas aos grupos de anomalias em questão. Contudo as ações naturais foram apenas associadas à ocorrência de uma fissuração (A.1.), em contraste com as ações químicas que não obtiveram nenhuma correlação com as 46 anomalias consideradas.

## 5.5 Conclusão

O tipo de dados recolhidos, assim como a dimensão dos trabalhos de inspeção realizados permitiram aferir de modo consistente o sistema classificativo e identificativo de inspeção e diagnóstico proposto e aplicado no edifício em estudo. Como tal, com o tratamento estatístico dos dados recolhidos nas inspeções foi possível retirar algumas conclusões de interesse sobre os fenómenos anómalos e as suas possíveis causas, assim como as técnicas de diagnóstico realizadas. Entre essas conclusões, devem ser destacadas as seguintes, relativas às frequências e às prioridades de reparação/intervenção das anomalias:

- O grupo de anomalias mais observado foi o grupo A., onde a ocorrência de destacamento de reboco (A.5.) foi a anomalia mais verificada;
- Tendo em conta os 46 tipos de anomalias considerados, a anomalia mais observada foi a degradação dos caixilhos exteriores (D.2.), ao invés das ocorrências de anomalias A.8., B.4., D.1., D.6., E.2., E.3.; H.3., H.4. (que foram menos evidenciadas);
- Relativamente às necessidades de reparação/intervenção das anomalias, cerca de 40% da totalidade das ocorrências anómalas possuem uma prioridade mínima de intervenção. Em contrapartida cerca de 23% das anomalias caracterizam-se pelo nível elevado de degradação (prioridade máxima de intervenção), onde 94% das referidas ocorrências encontram-se associadas aos fenómenos de degradação de caixilhos exteriores (D.2.) e de infiltração de água nos mesmos (D.3);

No que diz respeito aos métodos de diagnóstico que integram o sistema classificativo, as conclusões que se obtiveram da análise dos dados, foram as seguintes:

- Tendo em consideração a totalidade das situações de utilização de meios/técnicas de diagnóstico, os ensaios *in situ* foram os mais efetuados, onde o aparelho humidímetro foi a técnica de diagnóstico mais utilizada, em todos os pisos do edifício;
- Apesar da reduzida aplicação da câmara termográfica (TD-2-ND-2), da quantificação de sais de amostras de eflorescências (TD-3-IPS-1-) e da realização das técnicas *in situ* em elementos estruturais de betão armado (TD-2-ND-4, TD-2-ND-6, TD-2-ND-7, TD-2-ND-8 e TD-2-ND-9), foi imprescindível a informação adquirida através das mesmas, para a obtenção de um diagnóstico coerente e plausível, de certas circunstâncias anómalas.

Em relação às causas que contribuem para a ocorrência das anomalias, foi possível retirar algumas conclusões dos resultados obtidos, como as que se apresentam (**Fig. 5.27**):

- Os erros de execução surgem como o tipo de causas que mais contribuem para a ocorrência da generalidade das anomalias inspecionadas (cerca de 32,9% das correlações entre causas e anomalias encontram-se associadas aos erros de execução), seguidos dos erros da utilização e da

falta de manutenção (19,2%), das ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (18,6%), e dos erros de projeto (18,2%). Tendo em conta as informações obtidas a partir das sondagens realizadas às paredes exteriores e dos projetos de especialidades (arquivo da CML) do edifício, ocorreu a possibilidade de conhecer e compreender as intervenções construtivas aplicadas no edifício, e por consequência associar o desencadeamento de determinadas anomalias a possíveis erros de projeto;

- Apesar da reduzida frequência de associação entre as causas das ações mecânicas e dos efeitos das alterações das condições inicialmente previstas e a generalidade das anomalias (cerca de 5% e 2,8% respetivamente), tais causas foram significativamente relacionadas com alguns tipos de anomalias do grupo A., E. e H. (Fig. 5.27);
- A causa proveniente de acidentes de origem humana encontra-se associada à inundação ocorrida, apresentando uma significativa proporção de valores (3,3%), tendo em conta a incidência dos respetivos efeitos, em apenas dois pisos do edifício;
- Por fim, e como já referenciado anteriormente, as ações naturais possuem uma frequência de ocorrência bastante reduzida (0,1%), onde as ações químicas encontram-se caracterizadas pela ausência de associação entre qualquer tipologia de anomalia considerada.

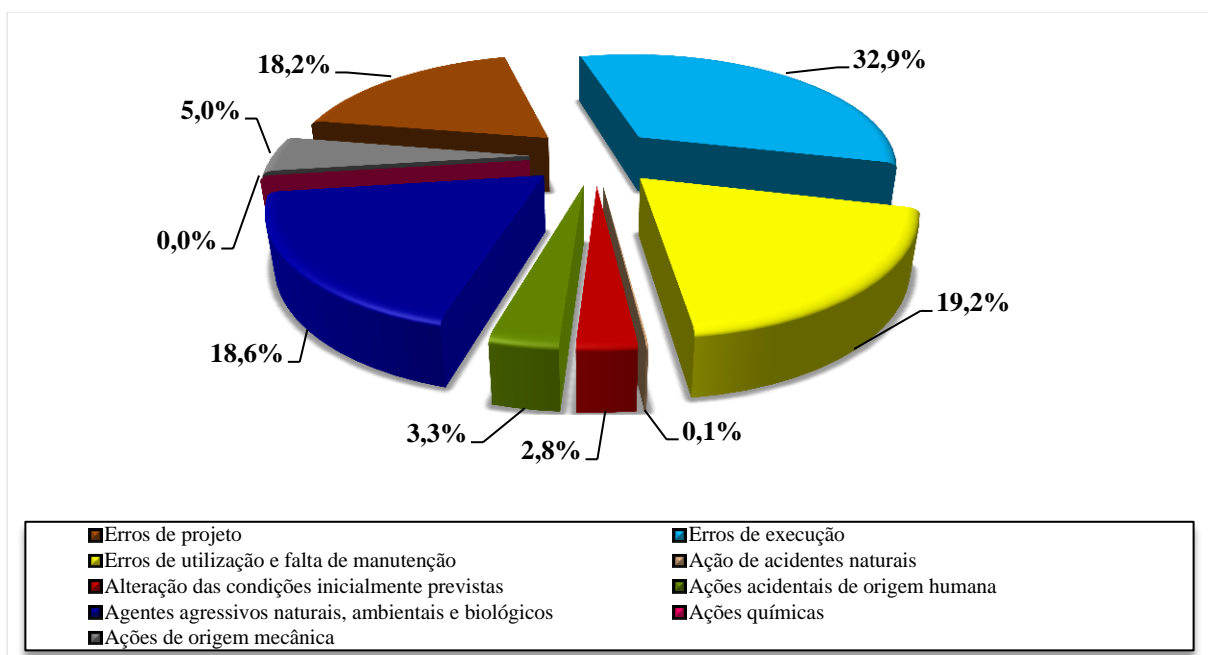


Figura 5.27 - Contribuição dos nove grupos de causas para a ocorrência das anomalias evidenciadas no edifício.

Assim sendo, poder-se-á admitir que com a aplicação do sistema classificativo de inspeção e diagnóstico em edifícios recentes (SIDER), é possível realizar uma identificação, classificação e organização de ocorrências, a fim de serem analisadas posteriormente. Como tal, acaba-se por construir um modelo que se adapta a edificações reais, permitindo conhecer as frequências das situações anómalas e das técnicas de diagnóstico (posteriormente realizadas), assim como compreender as possíveis causas associadas aos desencadeamentos de tais anomalias.



## 6 Conclusões

### 6.1 Considerações finais

Nas últimas décadas tem-se vindo assistir à degradação do parque edificado recente português, devido à manifestação significativa de anomalias estruturais e funcionais nos mesmos. Tais fenómenos surgem, essencialmente, devido a erros na fase de conceção/projeto, assim como na fase de execução. De facto, a introdução cada vez mais acelerada no mercado de novas soluções construtivas, materiais e tecnologias tem tido repercussões na qualidade nos mais diversos elementos construtivos dos edifícios recentes, uma vez que a sua complexidade tem exigido níveis de conhecimentos que, na maioria das circunstâncias, são incompatíveis com a formação básica dos engenheiros civis e arquitetos.

Quando se aplica materiais de fraca qualidade em componentes construtivos, o incremento de ocorrências anómalas nos mesmos torna-se inevitável, levando à redução implícita do período de vida útil espectável dos mesmos, e por consequência à privação da sustentabilidade dos edifícios. Nesse sentido, torna-se deveras importante o aumento da especialização dos intervenientes nas fases de conceção e execução dos edifícios, assim como a dos responsáveis pela inspeção dos mesmos, de forma a dotá-los de conhecimentos que os auxiliem na prevenção de anomalias na construção.

Importará referir que o conhecimento das possíveis proveniências das anomalias, assim como o estabelecimento das medidas de intervenção mais ajustadas às mesmas não são suficientes para o saneamento definitivo das ocorrências anómalas no edificado recente. Assim sendo, será essencial que tais estratégias sejam acompanhadas pela formação contínua e pela sensibilização dos agentes envolvidos no processo construtivo, desde os técnicos superiores aos serventes.

Para efetivar a adoção de uma estratégia de manutenção pró-ativa, é necessário que as inspeções que a integram sejam desprovidas de qualquer tipo de subjetividade, não dependendo da experiência nem dos conhecimentos técnicos do inspetor. No sentido de auxiliar a objetividade das inspeções e consequentes aquisições de diagnóstico, foi proposto no presente trabalho um sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias verificadas em edifícios recentes (SIDER), baseando-se nas ocorrências verificadas no edifício em estudo. Tal sistema contemplou a identificação e classificação das anomalias observadas e das possíveis causas associadas, assim como os principais métodos de diagnóstico que melhor se adequam às diferentes anomalias possíveis de se verificarem nos tipos de elementos construtivos considerados. Por fim, foi desenvolvido, posteriormente, um tratamento estatístico, do qual foi possível compreender a importância da aplicação dos sistemas de identificação e de classificação de ocorrências e da sua aplicabilidade lógica. Como tal, acaba-se por construir um modelo que se adapta a edificações reais, permitindo a disponibilização de informações e de resultados sistematizados, práticos e facilmente inteligíveis.

De um modo geral, consideram-se realizados os objetivos propostos. Espera-se que o presente trabalho possa contribuir para a divulgação da relevância do estabelecimento de atividades de inspeção e diagnóstico, quer como parte integrante em projetos de reabilitação, quer em sistemas de gestão de edifícios correntes. De facto, só desta forma se julga possível minimizar a ocorrência de muitos dos

fenómenos aqui apresentados, aos quais estão geralmente associados custos de reparação elevados (Pereira, 2008 citando Garcia, 2006).

## 6.2 Considerações gerais

No presente trabalho, foi proposto desenvolvido um estudo de inspeção e diagnóstico num edifício recente, tendo como base o estabelecimento de um sistema identificativo e classificativo de ocorrências anómalas, respetivas causas e possíveis técnicas de diagnóstico a desenvolver (SIDER). Ao longo do desenvolvimento do trabalho proposto, verificaram-se vários factos de interesse que em seguida se relatam.

No que diz respeito às anomalias em edifícios recentes, foi possível concluir o seguinte:

- Nos edifícios recentes denota-se a presença de diversos componentes construtivos, os quais possuem particularidades bastante divergentes face às exposições de temperatura, de humidade e até de possíveis alterações de submissão de cargas. Tal facto desencadeia um conjunto de anomalias específicas, que são causadas pela junção de materiais com diferentes capacidades de deformabilidade e de características higrotérmicas, as quais surgem, essencialmente, pela inadequada conceção/projeto ou por eventuais deficiências a nível de técnicas construtivas realizadas;
- É evidente o significativo conjunto de tipo de revestimentos empregues em paramentos interiores de paredes e tetos, no edificado recente. Como tal, a seleção e especificação do revestimento a adotar deverá ter em consideração as condições de exposição, a natureza dos materiais, as condições de execução, os níveis de resistência mecânica, assim como as especificações de desempenho expectáveis, uma vez que a sua escolha influencia diretamente as condições de habitabilidade, em última análise, de salubridade, das habitações, dos locais de trabalho da generalidade do edificado recente;
- A causa mais associada aos diferentes tipos de anomalias é a manifestação de humidade, tendo em conta as suas diferentes manifestações. Porém, as ocorrências de fissurações surgem em todo o tipo de revestimentos e de elementos construtivos, caracterizando-se pela sua complexidade e dificuldade de obtenção de diagnóstico;
- Os elementos construtivos de fachadas são os mais expostos aos agentes ambientais, naturais e biológicos, provocando, em alguns casos, o destacamento de sistemas de revestimento empregues, causando, por consequência, danos humanos e materiais;
- Um tipo de anomalia, bastante particular do tipo de edificado em análise, associa-se à degradação do betão armado, incluindo a delaminação do betão e a conseqüente corrosão de armaduras, a qual influencia, implicitamente, a sustentabilidade dos edifícios em questão.
- O surgimento de um vasto conjunto de anomalias desencadeia a perda inadmissível da qualidade de uso do edificado recente em Portugal. A fim de minimizar os custos de intervenção associados às anomalias, torna-se necessário compreender os processos/mecanismos que desencadeiam tais ocorrências.

No que diz respeito à inspeção e diagnóstico em edifícios recentes, foi possível concluir o seguinte:

- Desenvolver uma tipificação de causas de anomalias em edifícios é uma tarefa extremamente difícil, devendo-se essencialmente à grande variedade de elementos e materiais que constituem um edifício, ao conhecimento limitado do desempenho de alguns elementos e materiais em construção e dos parâmetros que condicionam a sua durabilidade, à multiplicidade de funções a desempenhar pelas várias partes de um edifício e pelos elementos de construção que os integram, à complexidade do meio ambiente que envolve o edifício, às diversas fases por que passa um edifício durante o ciclo de vida e por fim à forte influência da componente humana, por ação ou inação, nas várias fases do processo de degradação (Aguiar *et al.*, 2006);
- Não é possível através de um simples levantamento ou descrição de efeitos identificar as causas associadas das situações anómalas, caracterizando, desta forma, o processo iterativo, complexo e, por vezes, incoerente que é o estabelecimento de diagnóstico de anomalias em edifícios. Tal circunstância deve-se, essencialmente, ao facto que uma anomalia poderá ser consequência de um ou mais fenómenos a montante e ao mesmo tempo é causa de outro (s) fenómeno (s) a jusante;
- O estabelecimento de um diagnóstico que proporcione a identificação e classificação de ocorrências alicerçado por abordagens sistémicas, é uma condição fundamental para a correção adequada das possíveis anomalias observadas. Porém, definir uma única metodologia de inspeção e diagnóstico de anomalias pertencentes ao edificado contemporâneo, torna-se numa tarefa bastante difícil de alcançar, devendo-se ao facto de existir divergentes circunstâncias de carácter construtivo, estrutural e funcional, entre os mesmos;
- Procurou-se mencionar as técnicas de diagnóstico (instrumentos auxiliares de inspeção visual, ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais) mais correntemente utilizadas e adequadas aos edifícios recentes, descrevendo pormenorizadamente as que foram, efetivamente, realizadas no edifício em estudo. A recolha bibliográfica efetuada para as referidas técnicas permitiu fazer uma análise crítica de cada uma delas, elaborando fluxogramas de síntese com a informação recolhida (parâmetros medidos), a sua contribuição para a avaliação do desempenho em serviço (quais as propriedades que podem ser analisadas com a técnica) e, ainda, a sua relação com os fenómenos anómalos. A análise efetuada incidiu, também, nos fatores que influenciam os resultados, e respetiva variabilidade, e na vantagem da combinação de mais do que uma técnica de ensaio.

No que diz respeito ao caso de estudo: edifício e aplicação do SIDER foi possível concluir o seguinte:

- Tendo como base as inspeções gerais realizadas ao edifício verificou-se que a zona do edifício associada ao “envelope exterior” é um dos maiores fatores negativos, devido ao nível de degradação dos caixilhos e à inadequação dos vidros duplos empregues nos mesmos, face às exigências atuais. Não obstante a tal facto, constou-se que a totalidade das paredes exteriores possui um mau funcionamento, a nível térmico, devendo-se, essencialmente, à composição construtiva dos panos de alvenaria utilizados;
- A generalidade dos elementos estruturais e não estruturais apresenta um bom estado de conservação e de robustez, excetuando alguns casos, que devido à ocorrência de uma inundação afetou significativamente a qualidade de diversos revestimentos aplicados em pavimentos, paredes e pilares presentes no rés-do-chão e primeiro piso;

- Registrar, identificar, caracterizar e diagnosticar as anomalias de um volumoso edifício, como o caso de estudo, revelou ser uma tarefa bastante morosa e complexa, visto que o mesmo é constituído por um conjunto colossal de elementos e componentes, com diferentes funções e materiais ou produtos. No entanto, perante a aplicação do referido sistema de inspeção e diagnóstico em edifícios recentes (SIDER), conseguiu-se implementar uma metodologia de identificação, classificação e quantificação de ocorrências (das anomalias evidenciadas e das possíveis causas que potenciam o seu desenvolvimento, assim como a identificação das técnicas de diagnóstico), proporcionando a redução da subjetividade associada a este tipo de procedimentos;
- A metodologia de identificação aplicada permitiu organizar de uma forma coerente e delineada os oito tipos de ocorrências anómalas (tendo como base a tipologia de revestimentos e os elementos construtivos em que as mesmas se manifestam), os nove grupos de causas associadas, assim como as onze técnicas de diagnóstico posteriormente realizadas (tendo como base o sistema de funcionamento). Será importante referir que a divisão da identificação de anomalias e de causas por tipos de revestimento, empregues nos elementos construtivos, revelou-se fundamental para a objetividade e coerência do sistema proposto;
- Perante a proposta de classificação de anomalias, tendo como referência a urgência de intervenção das mesmas, foi possível conhecer o nível de degradação associado a diferentes ocorrências anómalas observadas em idênticos elementos construtivos e/ou revestimentos;
- Devido ao facto de uma anomalia poder estar associada a vários fenómenos, os quais contribuem de uma forma diferente para o surgimento da dada anomalia, permitiu que o estabelecimento das matrizes de correlação para cada tipo de anomalias, assim como a atribuição de cinco níveis de correlação entre as anomalias e causas, revelasse uma ferramenta imprescindível no apoio à obtenção de um diagnóstico coerente e objetivo de tais ocorrências. Porém, a possibilidade de aferir se a correlação entre anomalias/causas é coerente (validação do diagnóstico superior ou igual a 50%), fez, em algumas circunstâncias, repetir os procedimentos de inspeção e de realização de meios de diagnóstico a fim de se alcançar um diagnóstico aceitável da totalidade das anomalias registadas;
- Após a compreensão das causas das anomalias observadas, realizou-se as fichas de anomalias. Tais documentos revelaram ser bastante úteis no que diz respeito à apreensão sucinta e objetiva das principais características das mesmas, nomeadamente o nível de degradação, as causas associadas, os parâmetros de classificação e os métodos de diagnóstico utilizados. Por consequência, as referidas fichas apresentam as condições necessárias para servirem de material de apoio à fase de intervenção do edifício e estudo, devendo-se à sua apresentação sintética, inequívoca, de fácil interpretação e utilização.

No que diz respeito ao tratamento estatístico de resultado, foi possível concluir o seguinte:

- A tipologia dos dados recolhidos, assim como a organização dos procedimentos pré - delineados no SIDER, permitiu aferir de forma consistente o sistema identificativo e classificativo proposto, permitindo conhecer as frequências das situações anómalas e das técnicas de diagnóstico (posteriormente realizadas), assim como compreender e contabilizar as possíveis causas associadas aos desencadeamentos de tais anomalias;

- As anomalias mais observadas no edifício associam-se às ocorrências em revestimentos de paredes e tetos, em que os destacamentos de reboco foram os mais observados (tendo em conta os referidos revestimentos);
- O tipo de anomalia mais observada foi a degradação dos caixilhos exteriores, ao contrário da erosão de reboco, do desenvolvimento de fungos em pavimentos de madeira, da condensação interior em vidros duplos, da quebra de vidros, da colonização biológica e do empolamento em camada de impermeabilização de cobertura em terraço e da descoloração e crescimento de vegetação de revestimentos cerâmicos em pavimentos exteriores, que foram menos observadas.
- Relativamente às necessidades de reparação/intervenção das anomalias, cerca de 40% da totalidade das ocorrências anómalas possuem uma prioridade mínima de intervenção. Porém cerca de 23% das anomalias caracterizam-se pelo nível elevado de degradação (prioridade máxima de intervenção), as quais são maioritariamente associadas aos fenómenos de degradação de caixilhos exteriores e de infiltração de água nos mesmos;
- Tendo em consideração a totalidade das situações de utilização de meios/técnicas de diagnóstico, os ensaios *in situ* foram os mais efetuados, em que o aparelho humidímetro foi a técnica de diagnóstico mais utilizada. Porém, a inspeção visual, auxiliada por instrumentos complementares, foi a técnicas de diagnóstico mais privilegiada na inspeção geral do edifício, assim como na inspeção pormenorizadas às ocorrências anómalas.
- Os erros de execução surgem como o tipo de causas que mais contribuem para a ocorrência da generalidade das anomalias inspecionadas (32,9%), seguidos dos erros da utilização e da falta de manutenção (19,2%), das ações de agentes agressivos naturais, ambientais e biológicos (18,6%), e dos erros de projeto (18,2%). Em contrapartida as ações naturais possuem uma frequência de ocorrência bastante reduzida (0,1%) e as ações químicas nunca foram associadas ao surgimento de qualquer tipologia de anomalia considerada.

### 6.3 Desenvolvimentos futuros

O desenvolvimento futuro do trabalho apresentado nesta dissertação poderá ser constituído por várias vertentes. Entre aquelas que se pensa serem mais interessantes e que podem ser principiadas de imediato, encontram-se as seguintes (Silvestre, 2005; Pereira, 2008):

- Visto que o sistema proposto foi baseado no edifício em estudo, propõe-se melhorar o sistema identificativo e classificativo de ocorrências (SIDER), alargando a quantificação de tipos de anomalias (tendo em conta outros tipos de revestimentos), dos grupos de causas associadas, assim como a introdução de outros tipos de técnicas de diagnóstico. Desta forma, conseguir-se-á obter um modelo adaptado à maioria das particularidades dos edifícios contemporâneos;
- Após os dados obtidos através do sistema proposto e aplicado no edifício em estudo, dever-se-á continuar a análise das anomalias, tendo em consideração o estabelecimento de técnicas de intervenção nas mesmas. Como tal, deve-se realizar um sistema classificativo e identificativo de um conjunto de técnicas de intervenção de carácter corretivo e preventivo, permitindo a sua correlação com as ocorrências anómalas (através de matrizes de correlação). Contudo para além da eficácia e eficiências das medidas corretivas, há que ter em consideração a componente

económica, associadas às mesmas (realizar uma estimativa orçamental que inclua os custos de mão de obra, equipamentos e de materiais utilizados);

- Tendo como base os procedimentos e etapas estabelecidos no sistema de apoio à inspeção e diagnóstico em edifícios recentes (SIDER), dever-se-á desenvolver um módulo informático, por forma a apoiar as decisões de intervenção a desenvolver posteriormente à fase de inspeção e diagnóstico. Com aplicação desta ferramenta auxiliar, possibilitará o armazenamento de uma significativa quantidade de dados recolhidos pelo inspetor (em vários casos de edifícios recentes), permitindo aos investigadores na área da patologia aumentar a eficiência da investigação nesta área, assim como estudar a evolução e as características das ações de manutenção que são realizadas;
- De forma a efetivar a aplicação do módulo informático, deverá ser elaborado um documento relativo às inspeções em edifícios recentes, o qual deverá incluir os procedimentos/etapas obrigatórios e opcionais de se realizarem (conforme as particularidades dos edifícios em inspeção), descrevendo as informações/dados relevantes a observar, registar e analisar;
- Tendo em conta os diferentes tipos de revestimentos interiores e exteriores e de outros elementos construtivos, necessita-se de construir ferramentas de apoio à inspeção dos mesmos, adotando a mesma metodologia de identificação e classificação proposta. Desta forma, torna-se possível alargar o âmbito do estudo a todos os elementos da construção (estruturais e não estruturais), de forma a auxiliar o desenvolvimento de um sistema global de inspeção e diagnóstico no edificado recente;
- Através de uma ferramenta informática dever-se-á desenvolver e estabelecer o módulo de apoio à decisão sobre a ação a efetuar após a inspeção e o diagnóstico de anomalias em edifícios recentes, o qual será responsável pelas opções ao longo da vida dos elementos construtivos presentes no tipo de edificados em análise, no que diz respeito à execução de ensaios *in situ*, assim como à sua reparação, reabilitação ou substituição.

Todavia, para além das diversas manifestações anómalas, constatou-se algumas situações no edifício em estudo, as quais deverão ser igualmente analisadas, nomeadamente:

- Necessidade de melhorar/aproveitar o espaço funcional/útil interior e exterior do edifício;
- A circulação vertical encontra-se profundamente prejudicada pelas muito reduzidas características dimensionais da caixa de escadas e elevadores, impossibilitando o acesso a pessoas de mobilidade reduzida e dificultando a circulação de utilizadores em geral;
- O sistema de segurança contra incêndios, assim como as redes de drenagem de águas residuais e pluviais não cumprem os requisitos exigências atuais, face à legislação em vigor.

## Bibliografia

- Aguiar, J.; Cabrita, A.; Appleton, J. *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais*. Lisboa: LNEC, 2006.
- Alves, L. *Obras-de-arte especiais BR-267/MG: Patologias x Fatores influentes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.
- Alves, S. *WWW.PATORREB.COM.Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Faculdade do Porto, 2008.
- Amaral, S. & Henriques, D. *Inspection and Diagnosis: A contribution to modern buildings sustainability. Portugal SB13: Contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets* (Chapter 2: Policies for Sustainable Construction). ISBN, Guimarães, 2013: 75 – 82.
- Amaro, B.; Brito, J.; Flores-Colen, I; Saraiva, D. *Sistema de Inspeção e Diagnóstico de ETICS em Paredes*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, APFAC, Março de 2012.
- Amaro, J. *Caracterização de Argamassas para Reparação de Betão*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.
- Appleton, J. *Patologia precoce de edifícios*. 2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema h: Estruturas de Betão Armado). LNEC, 1994: 823 – 833.
- Appleton, J. *Estudos de Diagnóstico em Edifícios. Da Experiência à Ciência. A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação*. Porto: FEUP, 2002.
- Appleton, J. *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e técnicas de Intervenção*. 1ª Edição, Amadora: Edições Orion, 2003.
- Appleton, J. & Baião, M. *Inspeção em edifícios para diagnóstico do seu estado patológico*. 2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema e: Ensaio e métodos de avaliação de materiais e técnicas de conservação). LNEC, Lisboa, 1994: 313 – 316.
- Appleton, J. & Costa, A. *Análise da Penetração de Cloretos em Estruturas de Betão Armado Expostas ao Ambiente Marítimo*. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, 1999.
- Araújo, A.; Brito, J.; Júlio, E. *Patologia da envolvente exterior de construções edificadas no distrito de Castelo Branco entre 1970 e 1995*. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 359-364.
- Barrelas, J. *Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário. Caso de estudo: Edifícios pavilhonares e prefabricados*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.
- Bragança, L; Mateus, R. *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios. Impacte ambiental de soluções construtivas*: 1ª Edição, Multicomp, 2011.

Brito, J. *Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, 1992.

Brito, J. Sistemas de Inspeção e Diagnóstico em Edifícios. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 13-23.

Brito, L.; Real, F.; Redol, P. Como conhecer melhor as construções. *2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema a: Conceitos e Estratégicas). LNEC, Lisboa, 1994: 11-17.

Chai, C. *Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.

Chaves, A. *Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2009.

Cóias, V. *Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: IST PRESS, 2006.

Cóias, V. & Ribeiro, M. Desenvolvimento de materiais cimentícios para reparação e consolidação de estruturas de betão. *2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema h: Estruturas de Betão Armado). LNEC, Lisboa, 1994: 609 – 618.

CONTROLS S.A. – Digital Resistivity Array Meter 58 – E0062: Instruction Manual, Milan, Italy, s.d.

Cordeiro, I. *Manual de Inspeção e Manutenção da Edificação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.

Costa, A. Patologias em edifícios recentes. Patologias estruturais em edifícios recentes. *Construção Magazine*, Setembro/Outubro 2012: nº51.

Cruz, H. & Aguiar, J. Patologias em pavimentos e cobertura. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 409-414.

EN ISO 10211 - *Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations*. European Committee for Standardization. Appendix A, pp. 30–36, 2007.

Estrela, S.; Henriques, P; Veiga, M. Reparação de fissuras em rebocos. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 225-230.

Ferreira, J. *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Faculdade do Porto, 2010.

Flores-Colen, I. Planos de Manutenção Pró – Activa em edifícios recentes. *3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema III: Parque Edificado Recente). LNEC, Lisboa, 2003: 1027 – 1035.

Flores-Colen, I. *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, 2008.

Flores-Colen, I. & Brito, J. A influência de alguns parâmetros na fiabilidade de estratégias de manutenção em edifícios correntes. *3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema III: Parque Edificado Recente). LNEC, Lisboa, 2003: 1017 – 1025.

Flores-Colen, I. & Brito, J. *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção* (Rebocos). Lisboa: IST PRESS, 2012.

FLUKE. (22.05.2013). <http://www.fluke.com/fluke/ptpt/home/>.

Freitas, V.; Alves, S.; Sousa, M. Um Contributo para a Sistematização do Conhecimento da Patologia da Construção em Portugal – [www.patorreb.com](http://www.patorreb.com). 2008.

Galvão, J. *Técnicas de ensaio in-situ para avaliação do comportamento mecânico de rebocos em fachadas - Esclerómetro e ultra-sons*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.

Garcez, N. *Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.

Garcia, J. *Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos epóxicos em pisos industriais*. Dissertação de Mestrado em Construção. IST, Lisboa, 2006.

Gaspar, P. & Brito, J. Tipos de vida útil das construções. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 307.

Gaspar, P.; Brito, J.; Flores-Colen, I. Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Fissuração em Fachadas Rebocadas. *Actas do 2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2006: 541-550.

Ginga, D. *Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço. Materiais, sistemas e anomalias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.

Gonçalves, A. *Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2010.

Gonçalves, A.; Branco, F; Brito, J. *Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes*. *Engenharia Civil*, 2008: 5-18.

Gonçalves, C. *Anomalias Não Estruturais em Edifícios Correntes. Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Inspeção, Registo e Classificação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2004.

Gonçalves, C.; Brito, J.; Pereira, T. Desenvolvimento de um sistema de apoio à inspeção de edifícios correntes. *3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema III: Parque Edificado Recente). LNEC, Lisboa, 2003: 1167 – 1175.

Haapio, A. & Viitaniemi, P. How workmanship should be taken into account in service life planning. *11DBMC*, 2008: 1466-1482.

Henriques, F. *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, Coleção Edifícios, 1994.

INE (2012), Censos 2011: resultados definitivos - Portugal, INE.

INE. Instituto Nacional de Estatística. (23.03.2013). [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_main](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main).

Jâcome, C. & Martins, J. Identificação e tratamento de patologias em edifícios. *Reabilitação*: 2005.

Jorne, F. *Análise Do Comportamento Higrotérmico De Soluções Construtivas De Paredes Em Regime Variável*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010.

Lanzinha, J.; Castro Gomes, J; Freitas, V. Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios. *Engenharias 2001 - Investigação e inovação*, UBI, Covilhã: 2001.

Lanzinha, J.; Castro Gomes, J., Freitas, V. Metodologia de diagnóstico exigencial aplicada à reabilitação de edifícios de habitação. *Congresso construção 2007*, FCT – UC, Coimbra: 2007.

Lapa, J. *Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

Leal, A. *Argamassas tradicionais de revestimento de paredes: Fendilhação e sua reparação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2009.

Leite, C. *Estrutura de um plano de manutenção de edifícios habitacionais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2009.

Lima, A. *Análise de anomalias. Métodos simplificados*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Faculdade do Porto, 2009.

LNEC. (15.04.2013). [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol\\_tipol.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html).

Lopes, J. *Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço*. Lisboa: LNEC, Informação Técnica Edifícios, ITE 34: 2010.

Lopes, J. *Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa: LNEC, Informação Técnica Edifícios, ITE 33: 2011.

Lopes, T. *Fenómeno de pré-patologia em manutenção de edifícios. Aplicação ao revestimento ETICS*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Faculdade do Porto, 2005.

MACHEREY-NAGEL. (19.10.2013). <http://www.mn-net.com/>

Madureira, S. *Plano e manual de inspeção e manutenção de fachadas de edifícios correntes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.

Marques, B. *Caracterização de anomalias em edifícios escolares portugueses de tipologia Liceu*. Métodos analíticos de estudo de anomalias construtivas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.

Nepomuceno, M. *Ensaio não-destrutivos em betão*. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. Trabalho de síntese, Universidade da Beira Interior, 1999.

Neto, N. *Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.

Neto N. & Brito J. Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural (RPN). *Teoria e Prática na Engenharia Civil n.17*, Maio, 2011: 9–23.

Neto N. & Brito J. Validação de um sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural (RPN). *Teoria e Prática na Engenharia Civil n.1*, Novembro, 2011: 23-38.

NP EN 1992 – *Projeto de estruturas de betão – Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios*. IPQ: Instituto Português da Qualidade, 2004.

NP EN 12504 - *Ensaio de betão nas estruturas – Parte 4: Ensaio não destrutivo. Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons*. IPQ: Instituto Português da Qualidade, 2007

NP EN 12504 - *Ensaio de betão nas estruturas - Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico*. IPQ: Instituto Português da Qualidade, 2012.

Oliveira, A. *Avaliação da qualidade térmica de edifícios. Proposta de indicadores para o projecto*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

Oliveira, C. & Cabrita, A. Tipificação do parque habitacional. *1º Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação*, Documentos introdutórios, LNEC, Lisboa, Junho: 1985.

Oliveira, R. *Análise de Práticas de Conservação e Reabilitação de Edifícios com Valor Patrimonial*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

OZ. Diagnóstico e levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, Lda. (26.06.2013). <http://www.oz-diagnostico.pt/>.

PATORREB. (16.04.2013). <http://www.patorreb.com/>.

Pereira, A. *Sistema de inspeção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.

Pereira, C. *Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário. Caso de estudo: Escolas Industriais e Comerciais*. Trabalho de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.

Pereira, M. *Anomalias em Paredes de Alvenaria sem Função Estrutural*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Faculdade do Minho, 2005.

Pereira, S. & Paiva, A. Avaliação e certificação do comportamento térmico de uma habitação. *Actas do 2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2006: 329-338.

Pipa, M. *Evolução da Regulamentação de Estruturas em Portugal*. LNEC, 2006.

PROCEQ S.A. – Concrete Test Hammer Types N and NR: Operating instructions, Zurich, Switzerland, s.d.

Ribeiro, T. & Córias, V. “Construdoctor”: Um Serviço de Pré- Diagnóstico via internet. *3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema III: Parque Edificado Recente). LNEC, Lisboa, 2003: 1037 – 1046.

Rodrigues F; Varum, H.; Velosa, A; Vicente, R. Revestimentos *pétreos em fachadas - Caso de Estudo*. *Actas do 2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2006: 487–496.

Sampaio, C. *Caracterização do betão através de técnicas não-destrutivas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

Santos, A. *Sistema de inspeção e diagnóstico de caixilharias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.

Santos, S. & Lanzinha, J. Reabilitação de edifícios existentes. Avaliação exigencial da qualidade térmica. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 937-941.

Silva, A. *Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.

Silva A.; Brito J.; Gaspar P. Modelo de previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes (fixados directamente ao suporte). *Teoria e Prática na Engenharia Civil n.41*, Novembro, 2011:35-50.

Silvestre, J. *Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2005.

Simões, A. *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*. Lisboa (Tintas e Vernizes): IST PRESS, 2012.

Sousa, H.; Faria, J.; Sousa, R. Anomalias associadas ao revestimento de fachadas exteriores com placas de pedra natural. *Materiais de Construção, APCMC*, Ano 22, nº 119, Maio/Junho, 2005: 12-17.

Sousa, M. *Patologia da construção - elaboração de um catálogo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

Sousa, P. *Soalhos compósitos industrializados em madeira. Revisão Tecnológica*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

Sousa, R. *Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.

Taborda, R. & Soeiro, A. Análise de patologias. Metodologia de Quantificação “Causa - Efeito. *2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema h: Estruturas de Betão Armado). LNEC, Lisboa, 1994: 807 – 811.

Torres, J. *Manutenção Técnica de edifícios. Vãos Exteriores: Portas e Janelas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Tuna, J. *Caracterização in-situ de eflorescências e de outros compostos salinos em paramentos*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.

Vicente, M. *Tecnologia e Reabilitação de Caixilharias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.

Vieira, M. *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção (Betão)*. Lisboa: IST PRESS, 2012.

