

**RECUPERAÇÃO DO EDIFICADO DO EXÉRCITO.  
SISTEMA DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS  
EM COBERTURAS EM TERRAÇO**

João Conceição <sup>a1</sup>, Jorge Brito <sup>b</sup>, Inês Flores-Colen <sup>b</sup>

<sup>a</sup> CINAMIL - Centro de Investigação da Academia Militar, Academia Militar, Lisboa, Portugal

<sup>b</sup> Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

**ABSTRACT**

This work intends to create a support system for the inspection and diagnosis of flat roofs, for the standardization and systematization of inspections, assisting the parties responsible for these actions. First of all, anomalies and related causes must be identified and classified, so that anomaly forms can be prepared, including related information such as the designation, a brief description, possible causes and consequences, the main aspects to be checked, inspection parameters and a classification of the anomaly according to the associated severity. At this point correlation matrices between anomalies and causes and inter-anomalies were built.

Afterwards, non-destructive in-situ diagnosis techniques were identified and classified according to the best-fitting anomalies and related causes classification system. All this information was gathered in individual inspection forms. Subsequently, a correlation matrix between anomalies and diagnosis techniques was created. Finally, the dissertation presents a validation of all systems proposed based on information collected from the inspections campaign including 105 cases. In addition, a complete statistical treatment of these results was prepared in order to get more detailed information about flat roofs.

Inspections' standardization allows improving, simultaneously, inspections' effectiveness and efficiency, by making them less subjective. On the other hand, the implementation of a system for inspections and diagnosis, through a computer tool, will be useful to technicians in charge of inspection activities, included in strategies of proactive maintenance from the predictive type.

**Keywords:** inspection system, flat roofs, standardization, anomalies, causes, diagnosis.

---

<sup>1</sup> O presente artigo resultou do trabalho desenvolvido para a Dissertação de Mestrado elaborada pelo autor.  
Email para contacto: [conceicao.jfm@mail.exercito.pt](mailto:conceicao.jfm@mail.exercito.pt)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é a proposta de um sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, tendo em vista a normalização e sistematização das inspeções de forma a auxiliar os intervenientes responsáveis por estas ações. Numa primeira fase, são identificadas e classificadas as anomalias e as respetivas causas prováveis e, seguidamente, elaboradas fichas de anomalias, nas quais são incluídas informações relacionadas com as mesmas, tais como a sua designação, descrição sumária do fenómeno de degradação, causas e consequências possíveis, aspetos a inspecionar, parâmetros de inspeção e, finalmente, classificação da anomalia de acordo com o nível de gravidade / urgência de reparação. Nesta fase, são elaboradas as matrizes de correlação anomalias - causas e inter - anomalias. Posteriormente, são identificadas e classificadas as técnicas de diagnóstico das anomalias e das causas, recorrendo a ensaios não destrutivos de realização *in situ* e, por fim, é construída a matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico. São apresentadas fichas individuais das técnicas, onde constam informações como a designação, os objetivos, o equipamento necessário, a descrição do método, as vantagens e as limitações.

Finalmente, apresenta-se a validação do sistema classificativo proposto, realizada através de uma campanha de inspeções a 105 coberturas planas. Como complemento, é apresentado um tratamento estatístico completo dos dados recolhidos, de forma a retirar conclusões relevantes para a temática. A normalização das inspeções permite aumentar a eficácia e eficiência das ações a tomar no âmbito da patologia, tal como permite avaliações o menos subjetivas possível. Por outro lado, a implementação prática deste sistema, através de uma ferramenta informática, seria uma mais-valia, uma vez que iria permitir auxiliar o inspetor nas atividades de inspeção inseridas em estratégias de manutenção pró-ativa do tipo preditivas.

**Palavras-chave:** sistema de inspeção, coberturas planas, anomalias, causas, diagnóstico, normalização.

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro caso documentado de uma inspeção estrutural com vista ao reforço de um edifício a preservar foi o da cúpula de S. Pedro, em Roma, decorria o ano de 1742. Outro exemplo de inspeção, e posterior diagnóstico, foi levado a cabo no Panteão de Paris, que permitiu concluir que a execução dos pilares foi incorreta. Os consultores chamados seguiram então uma me-

metodologia de diagnóstico. No caso das coberturas em terraço, a sua utilização data das civilizações egípcias que construía salões recorrendo a este tipo de solução construtiva. A sua evolução dependeu, predominantemente, dos locais onde eram construídas (zona climática), mas também dos materiais e tecnologia empregues. Este tipo de cobertura é amplamente utilizado nos dias de hoje, existindo por todo o mundo, sendo que cada zona região tem a sua própria tradição ou preferência por em termos dos materiais utilizados. Genericamente a cobertura tem uma função complexa e importante relativamente à dos restantes elementos da envolvente, pois os agentes atmosféricos atuam nela mais direta e intensamente. A principal função de uma cobertura é fechar o edifício de forma a criar um ambiente interior isolado e protegido do ambiente exterior, criando uma barreira aos agentes agressores exteriores, como as variações de temperatura, humidade, chuva, vento e ruído. Existem ainda, ações indiretas, como o caso da deficiente conceção em projeto ou pouca experiência na sua execução, que são provavelmente as maiores ameaças ao desempenho da função da cobertura nos dias de hoje. Relativamente a estas causas indiretas, e apesar do surgimento e desempenho de novos materiais de impermeabilização, a falta de formação dos executantes das camadas de impermeabilização é uma origem frequente de problemas. Destas deficiências resultam quase sempre infiltrações de água para as camadas subjacentes, ou ainda para os espaços do último piso, provocando prejuízos, que se traduzem em custos, não só devidos aos trabalhos de reparação das zonas afetadas, mas também, eventualmente, à impossibilidade de utilização dos espaços referidos (Lopes, 2010).

No que se refere à temática das coberturas em terraço, é fundamental ter um bom conhecimento da tecnologia existente, da técnica de execução, da boa conceção e das técnicas de diagnóstico e de reparação apropriadas, tendo em vista uma maior durabilidade e vida útil e o aparecimento tardio de sinais de degradação, reduzindo assim os custos associados à fase de utilização. Por sua vez, a existência de ferramentas que permitam normalizar as ações de manutenção contribui para a diminuição dos custos, na medida em que se conseguem intervenções mais eficientes e eficazes.

Com a realização deste trabalho de investigação pretende-se não só, a normalização do conhecimento das anomalias que ocorrem em coberturas em terraço, como também a sistematização do conhecimento de novos materiais e regras de boa execução. Desta forma, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, através de um sistema classificativo de anomalias e causas prováveis associadas, registadas durante as inspeções e materializadas em fichas de anomalias. A presente dissertação pretende ainda a concretização de dois pontos importantes para o aprofundar de conhecimento sobre a mesma:

correlacionar, através de matrizes, os diversos dados obtidos (anomalias - causas, anomalias entre si e anomalias - técnicas de diagnóstico); elaboração de uma análise estatística das frequências observadas das anomalias, causas e técnicas de diagnóstico em coberturas planas. Para validação do sistema de inspeção e diagnóstico proposto recorre-se a dados recolhidos nas várias inspeções realizadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

## **2. TECNOLOGIA**

O presente capítulo tem como objetivo apresentar as principais tecnologias disponíveis para a execução de coberturas. Serão abordadas as exigências funcionais das coberturas, as respetivas classificações possíveis, as principais funções de cada camada e os materiais utilizados. Não se pretende uma descrição exaustiva de todas as soluções visto não ser o desígnio da dissertação. De realçar o trabalho realizado por Poça (2015), aprofundando esta temática. Na constituição do sistema de coberturas, as suas camadas são as responsáveis por satisfazer as exigências funcionais, sendo que essas camadas podem considerar-se as seguintes: estrutura resistente, suporte de impermeabilização, revestimento da impermeabilização e proteção desse revestimento. Além destas, podem ainda constituir a cobertura em terraço, as seguintes camadas: camada de regularização, camada de forma, barreira ao vapor, camada de isolamento térmico, camada de difusão de vapor de água, camada de dessolidarização. Estes constituintes devem cumprir os requisitos básicos, ilustrados na Tabela 1, segundo o Anexo I do Regulamento nº305/2011 da União Europeia. Relativamente à Tabela 1, a coluna da esquerda apresenta os requisitos básicos e a coluna da direita apresenta os elementos responsáveis por tais requisitos. Como refere Gomes (1986), a posição, aproximadamente horizontal, da cobertura e o seu grau de exposição, tornam-na mais suscetível à ação dos agentes atmosféricos, como tal, a manutenção de níveis adequados de desempenho é concretizada à custa da satisfação das exigências funcionais. Tipicamente agrupam-se em três classes fundamentais: exigências de segurança, exigências de habitabilidade e de durabilidade. As coberturas em terraço podem ainda classificar-se segundo várias óticas: quanto à acessibilidade; quanto à camada de proteção; segundo o tipo de revestimentos de impermeabilização; quanto à localização da camada de isolamento térmico; quanto à pendente e quanto à estrutura de suporte (Lopes, 2010).

**Tabela 1** - Requisitos básicos e constituintes do sistema de coberturas planas

Resistência mecânica e estabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura resistente</li> </ul>
Segurança contra incêndio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura resistente</li> <li>• Isolamento térmico</li> </ul>
Higiene, saúde e ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimento de impermeabilização</li> <li>• Isolamento térmico</li> </ul>
Segurança e acessibilidade na utilização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteção do revestimento de impermeabilização</li> </ul>
Proteção contra o ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura resistente</li> </ul>
Economia de energia e isolamento térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolamento térmico</li> <li>• Camada de forma*</li> </ul>
Utilização sustentável dos recursos naturais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os constituintes</li> </ul>

Os materiais e sistemas de impermeabilização podem dividir-se em: materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais (betumes, alcatrão e derivados, asfalto, produtos elaborados, sistemas de impermeabilização com base em asfalto ou emulsões betuminosas, telas e feltros betuminosos e sistemas de impermeabilização com base em telas ou feltros betuminosos), ou em materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais (produtos líquidos ou pastosos, sistemas de impermeabilização não-tradicional aplicados *in situ*; sistema de impermeabilização e de isolamento térmico aplicado *in situ*). Os materiais podem ser classificados em: materiais tradicionais (materiais betuminosos, materiais auxiliares, produtos elaborados e produtos prefabricados), ou em materiais não-tradicionais (produtos em pasta ou produtos prefabricados); quanto aos sistemas de impermeabilização podem ser classificados quanto à sua constituição (sistema tradicional ou não-tradicional), ou quanto ao modo de ligação (sistema aderente, sistema semi-aderente, sistema independente ou sistema fixado mecanicamente). Por sua vez, os isolamentos térmicos podem ser classificados segundo a natureza das matérias-primas (isolantes minerais, isolantes vegetais, isolantes sintéticos e mistos) ou segundo ao modo de produção ou execução (prefabricados, em pasta ou em espuma e granulares).

### 3. ANOMALIAS

No sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço é fundamental ter-se um conhecimento profundo das causas das anomalias, desta forma poder-se-á atuar preventivamente sobre as mesmas minimizando

o aparecimento de anomalias. De forma a agilizar e otimizar este processo propõe-se o sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço exposto na Tabela 2, com base na pesquisa bibliográfica. Tem-se também como objetivo a normalização da designação e tipificação das anomalias, tal como a sistematização da informação recolhida sobre as mesmas. Como resultado de todas estas considerações, tem-se dois grupos distintos: o primeiro engloba as anomalias de caráter geral, isto é, que podem ocorrer tanto em superfície corrente como em pontos singulares ou no sistema de drenagem; no segundo grupo, inserem-se as anomalias que podem apenas ocorrer em locais específicos, ou seja em pontos singulares ou no sistema de drenagem. O conjunto destes dois grupos perfaz um total de 20 anomalias. Todas as anomalias são identificadas recorrendo a letras e numeração, a fim de auxiliar a produção de matrizes correlação.

**Tabela 2** - Classificação de anomalias em coberturas em terraço proposta  
Anomalias de caráter geral

<b>Anomalias de caráter geral</b>	
<b>A-G1</b> Desgaste superficial	<b>A-G7</b> Ausência / posicionamento inadequado de camada
<b>A-G2</b> Fratura / rotura	<b>A-G8</b> Acumulação de detritos
<b>A-G3</b> Descolamento / arrancamento	<b>A-G9</b> Deficiências de inclinação / empoçamento
<b>A-G4</b> Formação de pregas / empolamento	<b>A-G10</b> Colonização biológica
<b>A-G5</b> Fissuração	<b>A-G11</b> Corrosão
<b>A-G6</b> Perfuração	<b>A-G12</b> Manchas de humidade de condensação / infiltração
<b>Anomalias em pontos singulares</b>	
<b>A-S1</b> Conceção inadequada de juntas de dilatação	<b>A-S5</b> Conceção inadequada de juntas de sobreposição
<b>A-S2</b> Conceção inadequada de tubos de queda	<b>A-S6</b> Fixações deficientes
<b>A-S3</b> Conceção inadequada de tubos ladrão	<b>A-S7</b> Capeamento deficiente
<b>A-S4</b> Conceção inadequada de caleiras	<b>A-S8</b> Remates deficientes

### 3.1 DESGASTE SUPERFICIAL (A-G1)

A designação desta anomalia pretende abranger os casos de desgaste superficial, de envelhecimento / deterioração e de oxidação das camadas da cobertura. Relativamente ao envelhecimento das camadas, o aparecimento deste fenómeno está associado à elevada sensibilidade aos agentes de envelhecimento natural que se processam em função do tempo, das condições de exposição, das variações de temperatura e alternância entre o estado seco e húmido (adaptado Gomes, 1968). Frank (2002) apresentou um estudo concretizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration's* (NOAA's), em 1997, em que conclui que a localização geográfica da cobertura tem forte impacto no envelhecimento que as camadas desta sofrem. Assim,

é fundamental conferir aos revestimentos de impermeabilização adequada proteção contra o envelhecimento.

### **3.2 FRATURA / ROTURA (A-G2)**

A designação “fratura / rotura” entende-se como um caso extremo de fissuração e pode ocorrer tanto em zona corrente como em pontos singulares. A ação do calor origina a perda de ductilidade da camada de impermeabilização, o que por sua vez, diminui a sua resistência face às ações impostas. A perda de ductilidade aplica-se igualmente ao sistema da cobertura que, com o avançar do tempo, vai perdendo capacidade de acomodar as deformações impostas pelo gradiente de temperatura e, por vezes, pela passagem de pessoas. A ação da radiação solar pode mesmo levar à rotura da membrana, através de um processo denominado “heat aging”, ou seja, envelhecimento devido à ação da temperatura. Outro fator que pode intervir no aparecimento da fratura / rotura é o vento. A sua ação pode originar roturas parciais ou mesmo totais da camada de impermeabilização expondo o sistema da cobertura aos agentes atmosféricos. A ação cíclica do vento pode causar um problema de fadiga na impermeabilização, o que poderá resultar na sua rotura ou fissuração (Baskaran e Smith, 2008).

No caso das membranas fixas mecanicamente, se não se encontrarem convenientemente fixas ao seu suporte, as forças induzidas pela ação do vento geram tensões na membrana que podem originar roturas (Malpezzi e Gillenwater, 1993).

### **3.3 DESCOLAMENTO / ARRANCAMENTO (A-G3)**

O descolamento / arrancamento ocorre quando se exerce uma pressão de sucção sobre a cobertura e tem como principal causador o vento. Uma boa forma de minimizar os problemas de descolamento / arrancamento é o recurso a membranas de impermeabilização aderentes. Neste caso, o risco de descolamento é bastante reduzido, porque a resistência à ação perturbadora se regista ao nível da camada de isolamento e da solução adotada para a aderência. No entanto, mesmo após o processo de aderência estar completo, é necessário assegurar a sua correta execução ao longo do perímetro da cobertura e nos pontos singulares. Testes realizados por Baskaran (2005), em túneis de vento, confirmam que o efeito de sucção varia no tempo e espaço e adquire maior relevância nas extremidades, o que destaca a importância do referido.

Outro fator chave para a ocorrência do descolamento, agora nas juntas, é a ação da temperatura. O calor excessivo também origina um amolecimento

dos produtos utilizados na colagem das juntas que passam a apresentar um comportamento viscoso ao invés de elástico.

### **3.4 FORMAÇÃO DE PREGAS / EMPOLAMENTO (A-G4)**

Griffin (1982) define empolamento como “sobreelevações / bolsas, visíveis à superfície, do revestimento de impermeabilização”. O empolamento pode-se produzir em diferentes circunstâncias, mas só por um motivo: a água e a sua transformação em vapor (Trujillo e Caula, 2003).

A origem desta anomalia encontra-se intrinsecamente associada à existência de vazios e acumulação de vapor de água entre as camadas do sistema de impermeabilização, ou entre este e o seu suporte (adaptado Griffin e Dwight, 1982 e 1981). O empolamento ocorre quando existe humidade e um gás, neste caso vapor de água, encurralado entre as camadas da impermeabilização ou entre o sistema de impermeabilização e o seu suporte.

### **3.5 FISSURAÇÃO (A-G5)**

A designação pretende englobar as fendas que se formam na membrana de impermeabilização, nas juntas, nos remates e no paramento interior do teto. Segundo Trujillo e Caula (2003), a manifestação desta anomalia deve-se a: movimentos estruturais; movimentos de dilatação; movimentos e fissuração do suporte; soluções construtivas incorretas; falta de isolamento; corrosão de elementos metálicos. Para além disso, com o envelhecimento do sistema da cobertura regista-se um decréscimo da sua rigidez, tal como a ocorrência de retração dos materiais. Assim sendo, ações como as alterações climáticas, o impacto de cargas e respetivas deformações e movimentos diferenciais do próprio sistema podem provocar fissuras na membrana de impermeabilização. Gibson e Hollis (1991) referem um estudo realizado pelo departamento de comércio dos Estados Unidos da América, em 1960, que conclui que a dilatação dos materiais do sistema da cobertura, gerada pela ação da temperatura, deve ser tomada em consideração durante o período de vida útil do edifício, a fim de minimizar ou evitar a ocorrência desta anomalia. Relativamente aos movimentos do suporte, caso o sistema de impermeabilização seja aderido, a membrana de impermeabilização irá sofrer as mesmas solicitações do que o respetivo suporte. Para evitar este problema, Potter (1991) sugere que o sistema de impermeabilização não deveria ser aderido a fim de não receber as deformações transmitidas pelas camadas adjacentes.

A fissuração em juntas de dilatação está impreterivelmente associado à própria execução das juntas comprometendo por isso o seu próprio desempenho. Uma solução que permite minimizar este problema da fissuração é a adoção de disposições construtivas que permitam o livre movimento do revestimento de impermeabilização nas zonas mais críticas (juntas entre placas de certos tipos de isolantes) (Lopes, 2010).

Em relação à fissuração da camada de impermeabilização nos remates, poder-se-á aplicar bandas de dessolidarização, nas juntas de sobreposição em questão, tal como proteção térmica da platibanda recorrendo a material isolante (Lopes, 2010).

### **3.6 PERFURAÇÃO (A-G6)**

Esta anomalia é característica das impermeabilizações e é com alguma frequência que está associada à origem de infiltrações colocando, por isso, em causa a integridade e o desempenho do sistema de cobertura. Um estudo, realizado por Schild (1978), na Alemanha, revela que 20% das infiltrações de água pela cobertura são devidas a perfurações localizadas no respetivo revestimento de impermeabilização.

### **3.7 AUSÊNCIA / POSICIONAMENTO INADEQUADO (A-G7)**

Estando a laje da cobertura submetida a variações térmicas muito mais relevantes do que as lajes de pisos intermédios, se não houver isolamento térmico ou se for insuficiente, estas variações, podem originar movimentos do último elemento exposto e, para além disso, graves problemas tanto no sistema de impermeabilização como na estrutura do edifício. Segundo Trujillo e Caula (2003), os movimentos originados pelos ciclos de calor / frio podem ocasionar fissuras, por esforço de corte, nos muros em que apoia a laje. Outro exemplo típico desta anomalia é a ausência da camada de dessolidarização entre a camada de proteção pesada rígida e o revestimento de impermeabilização. Neste caso, os movimentos da camada de proteção, originados pela variação de temperatura, são transmitidos diretamente à impermeabilização, cuja capacidade de deformação vem a ser excedida (Lopes, 2010).

### **3.8 ACUMULAÇÃO DE DETRITOS (A-G8)**

A acumulação de detritos diversos junto às embocaduras dos tubos de queda e a obstrução das próprias embocaduras são fatores que dificultam a descarga

normal das águas pluviais da cobertura, fazendo assim com que ela se acumule e permaneça, durante períodos mais ou menos prolongados (adaptado Brito et al., 2008). Os detritos referidos são, normalmente, folhas de árvore, granulado da camada de proteção, poeiras mas também pássaros mortos.

### **3.9 DEFICIÊNCIAS DE INCLINAÇÃO / EMPOÇAMENTO (A-G9)**

Segundo Lawson (2012), citando NRCA (1989), a acumulação de água é, possivelmente, o fator que mais influência tem na deterioração do sistema da cobertura. A NRCA (1989) destaca consequências do empoçamento como: a deterioração camada superficial do sistema de cobertura e da membrana de impermeabilização; a acumulação de detritos; a colonização biológica; a deformação ou colapso do sistema de cobertura. Para evitar o empoçamento, a NRCA (2011) e Wilen (2012) defendem o conceito de “drenagem positiva”. Este conceito atinge-se quando o sistema de drenagem escoar toda a água existente na cobertura em 48 horas. Segundo Kirby (1997), com o emprego deste conceito, promove-se o bom desempenho da cobertura, evitando ao mesmo tempo inúmeras anomalias.

Relativamente à conformação inadequada das pendentes nas zonas circundantes das embocaduras, é um fator que dificulta o escoamento das águas pluviais, facilitando a acumulação de água e detritos e, conseqüentemente, a proliferação de musgos (adaptado Brito et al., 2008).

### **3.10 COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA (A-G10)**

Esta anomalia encontra-se relacionada com a frequência, tipo e quantidade de precipitação, estando estes fatores subjugados à localização geográfica. Toda a água proveniente da precipitação deve ser escoada da superfície da cobertura, sendo que, quanto mais tempo permanecer acumulada na cobertura, mais favorece a colonização biológica ou a acumulação de detritos. Esta anomalia pode ocorrer em qualquer local da cobertura, seja em zona corrente ou em pontos singulares e, por essa razão, as inspeções e a manutenção adquirem especial relevância.

### **3.11 CORROSÃO (A-G11)**

Esta designação pretende abordar a corrosão que ocorre em peças metálicas utilizadas nas caleiras, nas peças de fixação dos rufos, nos próprios rufos e nos ralos de embocadura. A par de outras anomalias, esta também se

encontra muitas das vezes associada à presença de humidade ou à escolha de materiais inadequados.

### **3.12 MANCHAS DE HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO / INFILTRAÇÃO (A-G12)**

Esta designação pretende englobar os fenómenos de condensação, infiltração e termoforese que, sendo diferentes na sua essência, manifestam-se apresentando semelhante aspeto visual.

As infiltrações apenas ocorrem quando existe uma falha no sistema de impermeabilização da cobertura, enquanto, no caso das condensações, por exemplo no paramento interior do último piso, basta que se registre um diferencial de temperatura entre a superfície interior (fria) e o ar ambiente, no caso da condensação superficial. Por sua vez, as condensações ocorrem principalmente no inverno, tanto em pontos singulares como em zona corrente das coberturas, essencialmente, devido a duas razões: isolamento térmico deficiente e ausência de barreira pára-vapor (Cóias, 2006).

A presença de condensações no interior das habitações aumenta a probabilidade de proliferação de microrganismos, causa manchas e pode danificar o mobiliário existente. Por outro lado, exteriormente, as condensações contribuem para a degradação das coberturas, traduzindo-se na redução das características de isolamento térmico (devido ao seu humedecimento) e ainda na acumulação de água nos elementos de suporte dos revestimentos da cobertura (Aguiar, et al., 1997). A existência de heterogeneidades acentuadas na espessura de isolante térmico nas várias zonas (zona estrutural e corrente) que compõem a envolvente dos edifícios dá origem a uma diferenciação nas temperaturas superficiais, motivando a ocorrência de fenómenos de termoforese (adaptado Jorne, 2012).

### **3.13 CONCEÇÃO INADEQUADA DE JUNTAS DE DILATAÇÃO (A-S1)**

As juntas de dilatação em coberturas planas são as mais difíceis de executar pois, para além de estarem sujeitas a fatores que contribuem para a sua degradação como o envelhecimento, a ação do vento e a eventual circulação de pessoas, têm que se manter estanques. É recomendável que as juntas de dilatação tenham a capacidade de acomodar as deformações impostas pela ação da temperatura. É, igualmente, aconselhável que as mesmas sejam dispostas ao longo de toda a superfície da membrana, criando assim áreas menores de membrana, o que facilitará a acomodação de deformações (adaptado Cullen e Edwards, 1965). Segundo Henshell (1985), as juntas de dilatação procuram reduzir as tensões, permitindo o movimento da própria membrana, transmitidas à membrana de impermeabilização por agentes como: a temperatura; o vento; a corrosão de elementos da cobertura; a humidade; as vibrações.

### **3.14 CONCEÇÃO INADEQUADA DE TUBOS DE QUEDA (A-S2)**

Esta designação, para além de abranger situações como a inexistência dos próprios tubos de queda, engloba a inexistência de ralos nas embocaduras. A inexistência de ralos nas embocaduras dos tubos de queda contribui substancialmente para a obstrução desses tubos, a qual é agravada quando a secção de escoamento é insuficiente.

Os tubos de queda são pontos onde se esgota a água existente na cobertura e encontram-se no final das caleiras, nos pontos de menor cota da cobertura, podendo ser classificados como interiores ou exteriores. Nas imediações das embocaduras, é necessário o rebaixamento da camada de forma para evitar sobrelevações do respetivo revestimento de impermeabilização.

### **3.15 CONCEÇÃO INADEQUADA DE TUBOS LADRÃO (A-S3)**

Os tubos ladrão funcionam como um sistema de drenagem “secundário”, evacuando para o exterior a água acumulada que os tubos de queda não têm capacidade para escoar. Esta função adquire particular relevância no caso de chuvas intensas porque, ao funcionar como um sistema de drenagem “secundário”, evita a acumulação de água por tempo excessivo. Para cumprir o seu desígnio, os tubos ladrão encontram-se a uma cota superior ao tubo de queda, para que, quando este se encontre entupido ou o nível de água esteja muito elevado, o tubo ladrão escoe diretamente a água da cobertura para o exterior.

### **3.16 CONCEÇÃO INADEQUADA DE CALEIRAS (A-S4)**

O comportamento das juntas de sobreposição entre membranas de impermeabilização é determinante no desempenho dos sistemas de camada única fixados mecanicamente. Daí a importância do conhecimento dos fatores que condicionam e influenciam o comportamento das juntas de sobreposição, para evitar, tanto quanto possível, as anomalias que possam comprometer o bom desempenho do sistema de impermeabilização (Gonçalves et al., 2007).

### **3.17 CONCEÇÃO INADEQUADA DE JUNTAS DE SOBREPOSIÇÃO (A-S5)**

Segundo Lopes (2010), as principais anomalias que se pode encontrar nestes elementos, quando realizados com revestimentos de impermeabilização, são

o descolamento de juntas de sobreposição das respetivas membranas e a fissuração dessas membranas.

Relativamente ao posicionamento das caleiras, podem situar-se junto ao murete, na zona central do edifício ou no beirado. Nas caleiras, tratando-se de uma zona da cobertura onde se regista uma maior concentração de água, é importante o sentido de aplicação das membranas. Assim, a aplicação das membranas deve ser feita de modo a que a membrana adjacente fique com o seu bordo protegido pela membrana sobrejacente. Desta forma, evita-se a acumulação de água junto ao bordo da membrana inferior e a exposição do bordo da junta à ação da água, que no seu movimento potenciaria o descolamento desse bordo.

### **3.18 FIXAÇÕES DEFICIENTES (A-S6)**

A inexistência de fixações, nomeadamente no isolamento térmico e remates, propicia fenómenos de arrancamento / descolamento, referidos em 3.3. A ausência de fixações também se pode traduzir em fenómenos de deslizamento por fluência de remates, conduzindo posteriormente ao descolamento. Esta situação ocorre, particularmente, em remates com altura elevada onde se recomenda a utilização de fixações.

Relativamente às fixações pontuais, em zona corrente de coberturas em terraço, são geralmente colocadas na faixa correspondente às juntas de sobreposição das membranas. Nestas fixações, cada peça de fixação dispõe de um elemento de distribuição da força de aperto, o qual é localizado em cada ponto da fixação.

### **3.19 CAPEAMENTO DEFICIENTE (A-S7)**

Esta designação procura abranger os casos da inexistência e conceção inadequada do capeamento e pingadeiras em platibandas.

A ausência de capeamento adequado, especialmente quando a platibanda é constituída por alvenaria de tijolo furado ou por blocos de betão, pode originar a penetração de água para o tardo do revestimento de impermeabilização e para as camadas subjacentes. Nas platibandas, quando o remate da impermeabilização não cobre o seu paramento horizontal, verifica-se que, devido à fissuração existente no revestimento de impermeabilização, a estanqueidade à água desse paramento é francamente comprometida (Lopes, 2010).

Relativamente à execução de juntas no capeamento, deve ser reduzida e cuidadosa pois pode tornar-se um caminho preferencial para as águas da chuva, podendo originar manchas de sujidade na fachada. As juntas de dilatação devem possuir uma configuração que lhe garanta estanqueidade e simultaneamente movimento (Mascarenhas, 2008).

### 3.20 REMATES DEFICIENTES (A-S8)

A designação desta anomalia pretende cobrir todas as anomalias relacionadas com a ausência / insuficiência de remates, em locais como soleira de portas, elementos emergentes, juntas e platibandas.

Pierce (2004), citado na revista *Buildings Magazine*, refere “95% das infiltrações ocorrem devido à execução deficiente de remates”. Os remates devem possuir uma altura suficiente de forma a prevenir o deslizamento e a formação de um “caminho” que leve a água a infiltrar-se no interior do edifício. Segundo a legislação francesa, no caso dos revestimentos betuminosos tradicionais, a altura máxima permitida para o remate da impermeabilização é de 1,0 m contra um paramento de alvenaria (CSTB, 1986). Na generalidade dos revestimentos de impermeabilização, é comum adotar-se um valor mínimo de 0,15 m (Lopes, 2010). Nos pontos singulares é frequente ocorrer o deslocamento dos remates que podem ser limitados se a base do remate, através de uma disposição construtiva, for dessolidarizada na extensão adequada, com o revestimento corrente de impermeabilização. Para este efeito, pode recorrer-se a um cordão flexível colocado no perímetro da tubagem (Lopes, 2010). Relativamente ao topo superior do remate, este pode ser protegido através da sua cintagem e aperto nessa zona, complementada com um vedante apropriado.

Não é objetivo da presente dissertação a descrição exaustiva das causas, mas sim o estabelecimento de uma tipificação segundo grupos de responsabilidade de origem humana ou natural, das mesmas causas. O universo de possíveis causas aqui apresentado é dependente do universo de anomalias previamente definido. Como tal, apenas se considerou as possíveis causas para as anomalias definidas anteriormente.

Para a organização das possíveis causas, considerou-se os seguintes subgrupos (Tabela 3): Erros de projeto / conceção; Erros de execução; Ações ambientais; Erros de manutenção / utilização; Ações de origem mecânica exterior. Estes subgrupos enquadram-se em dois grupos principais: o grupo das causas diretas, que engloba as ações ambientais e as ações mecânicas exteriores, e o grupo das causas indiretas, que engloba os erros de projeto /conceção, de execução e de utilização / manutenção.

De forma a facilitar a reparação e o diagnóstico das anomalias existentes, estabelecem-se relações entre as anomalias e causas prováveis e entre anomalias através da construção de matrizes correlação anomalias - causas e inter-anomalias, respetivamente. Para o preenchimento destas matrizes, dividiu-se as causas prováveis de ocorrência das anomalias em causas diretas (próximas) e causas indiretas (primeiras). Para cada anomalia, são assim identificadas, através de matrizes de correlação, as causas prováveis da sua ocorrência, sendo cada uma delas classificada de acordo com um número, que se designará por índice de correlação, que pode ser 0, 1 ou 2, de acordo com o grau de correlação que possui com a

anomalia (Brito, 1992): 0 – sem relação; 1 – pequena correlação; 2 – grande correlação. Numa primeira fase as matrizes foram obtidas com base na pesquisa bibliográfica, sendo que, posteriormente foram validadas com base numa campanha de inspeções. Foram criadas fichas de anomalias, onde constam todas as informações sobre as mesmas (Tabela 4).

**Tabela 3** - Sistema de classificação de possíveis causas proposto

<b>Erros de projeto / conceção</b>	
C-P1	Conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar
C-P2	Conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação
C-P3	Conceção / pormenorização deficiente dos elementos emergentes
C-P4	Conceção / pormenorização deficiente de tubos de queda
C-P5	Conceção / pormenorização deficiente de caleiras
C-P6	Conceção / pormenorização deficiente das juntas sobreposição
C-P7	Conceção / pormenorização deficiente da pendente
C-P8	Conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados
C-P9	Conceção / pormenorização deficiente de tubos ladrão
C-P10	Dificuldade / ausência de acesso aos paramentos
C-P11	Escolha inadequada dos materiais
<b>Erros de execução</b>	
C-E1	Falta de qualidade na mão-de-obra
C-E2	Aplicação em tempo húmido / chuvoso (condições térmicas desfavoráveis)
C-E3	Deficiente armazenamento / transporte de materiais
C-E4	Deficiente execução de remates e elementos de proteção associados
C-E5	Deficiente execução da junta de dilatação
C-E6	Deficiente execução da junta de sobreposição
C-E7	Deficiente execução dos tubos de quedas
C-E8	Deficiente execução de caleiras
C-E9	Deficiente execução dos tubos ladrão
C-E10	Fixações deficientes
C-E11	Deficiente colocação da membrana de impermeabilização
C-E12	Pendente deficiente
<b>Ações Ambientais</b>	
C-A1	Vento
C-A2	Radiação ultravioleta / solar
C-A3	Humidade
C-A4	Presença prolongada de água / chuva
C-A5	Vegetação
C-A6	Envelhecimento natural
C-A7	Ciclos de humedificação-secagem
<b>Erros de manutenção / utilização</b>	
C-U1	Falta de limpeza de detritos na zona corrente
C-U2	Acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras
C-U3	Ausência / inadequada inspeção
C-U4	Alteração do tipo de utilização da cobertura
C-U5	Vandalismo
<b>Ações de origem mecânica exterior</b>	
C-M1	Cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração)
C-M2	Cargas pontuais de natureza estática (permanentes)

## 4 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Reconhecida a importância da reparação de anomalias em coberturas em terraço, é de todo recomendável realizar inspeções técnicas com certa periodicidade que servirão para diagnosticar as possíveis intervenções a realizar. Estas inspeções têm como objetivo a recolha dos dados resultantes de uma minuciosa prospeção e de uma compilação de dados e descrições. Para proceder a estas inspeções, é necessário recorrer a técnicas de diagnóstico, as quais, se enquadram no princípio do diagnóstico.

O estudo de diagnóstico compreende um 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 (Appleton, 2002). Por intermédio desta ação, é possível identificar um problema e suas causas, recorrendo a técnicas de diagnóstico. Através do estudo de diagnóstico, é ainda possível prever-se, com relativa segurança, eventuais consequências futuras.

**Tabela 4** - Ficha de anomalia - Ausência / posicionamento inadequado de camada

<b>FICHA DE ANOMALIA A-G7</b>	
<b>DESIGNAÇÃO:</b>	
Ausência / posicionamento inadequado de camada	
<b>DESCRIÇÃO:</b>	
Traduz-se na ausência de camada afeto ao sistema da cobertura escolhido ou no seu posicionamento incorreto.	
<b>CAUSAS PROVÁVEIS:</b>	
- conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1)	
- falta de qualidade na mão de obra (CE-1)	
<b>CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS:</b>	
- fissuração da membrana de impermeabilização	
- fratura da membrana de impermeabilização	
- infiltrações	
- manchas de humidade	
<b>ASPETOS A INSPECIONAR:</b>	
- correto posicionamento e presença de todas as camadas previstas para o tipo de sistema de cobertura adotado	
<b>TESTES A REALIZAR:</b>	
- inspeção visual (D-A1)	
- termografia (D-C1)	
- técnicas intrusivas	
<b>PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO:</b>	
- correto posicionamento de camadas (S/N)	
- ausência de camadas previstas (S/N)	
<b>URGÊNCIA DE REPARAÇÃO / NÍVEL DE GRAVIDADE</b>	
0 - quando se registar a ausência da camada de impermeabilização	
1 - quando se registar a ausência de qualquer outro tipo de camada	

A lista classificativa das técnicas de diagnóstico das coberturas em terraço, apresentada na Tabela 5, é constituída por cinco grupos, de acordo com o tipo de execução e funcionamento do equipamento utilizado em cada uma das técnicas: análise visual, métodos elétricos, métodos termo-higrométricos, métodos nucleares e ensaios de carga.

**Tabela 5** - Técnicas de diagnóstico *in situ*

<b>D-A - ANÁLISE VISUAL</b>
D-A1 inspeção visual
D-A2 medição de inclinação
<b>D-B - MÉTODOS ELÉTRICOS</b>
D-B1 deteção elétrica
D-B2 medição da capacitância
<b>D-C - MÉTODOS TERMO-HIGROMÉTRICOS</b>
D-C1 termografia de infravermelhos
<b>D-D - MÉTODOS NUCLEARES</b>
D-D1 método nuclear
<b>D-E – ENSAIO DE CARGA</b>
D-E ensaio de estanqueidade

Relativamente a esta classificação, cabe ainda tecer algumas considerações. Foram descartados os ensaios laboratoriais, pois exigem equipamento e pessoal especializado, maiores custos, maior complexidade e tempos de execução. Esta decisão prende-se com o facto de neste trabalho se pretender um método de inspeção e diagnóstico expedito. As técnicas utilizadas não são destrutivas apresentando por isso um custo inferior face às técnicas destrutivas. O recurso a estes métodos proporciona não só a obtenção de resultados em laboratório, como também *in-situ* (Carino e Clifton, 1982). Prevê-se uma exceção, a fim de averiguar anomalias como “Ausência / posicionamento inadequado de camada”, onde se pode ter de recorrer a técnicas destrutivas.

No quadro classificativo, são uma vez mais apresentadas siglas identificativas de cada técnica, necessárias à construção da matriz de correlação entre as anomalias e as técnicas de diagnóstico, apresentada em 5.

#### **4.1. INSPEÇÃO VISUAL**

Durante a inspeção, deverão ser verificadas e classificadas todas as anomalias encontradas em qualquer parte da cobertura, sendo que a observação e a análise das anomalias permitem realizar um primeiro diagnóstico baseado na experiência, intuição e observação do investigador.

Apesar de a inspeção visual ser, muitas das vezes, suficiente, não obstante deve ser conduzida de uma forma sistemática de modo a reduzir possíveis erros de avaliação (Gonçalves, 2004).

Em suma, a principal vantagem da aplicação de inspeção visual para o diagnóstico final encontra-se no nível da não destruição e simplicidade inerente. Contudo, uma das principais desvantagens destes métodos de inspeção visual reside na dependência da eficácia, no treino, experiência e perspicácia dos operadores, tal como da acessibilidade às coberturas, podendo os resultados ser, por inerência, subjetivos (Cóias, 2006).

#### **4.2. MEDIAÇÃO DA INCLINAÇÃO**

Esta técnica destina-se à medição da inclinação da pendente da cobertura. A medição pode ser efetuada recorrendo a uma régua de nível, a um inclinómetro ou a um laser. É uma técnica simples de utilizar, rápida na obtenção de resultados e não requer utilização de mão-de-obra especializada.

#### **4.3. DETEÇÃO ELÉTRICA**

O método de deteção elétrica de infiltração divide-se em duas vertentes: o método de baixa tensão e o método de alta tensão. O primeiro utiliza corrente contínua de baixa tensão para produzir um campo elétrico através da membrana de impermeabilização, enxaguada. O método garante uma localização precisa de pontos de infiltração na membrana de impermeabilização e pode ser usado nas imediações de pontos singulares. Este método tem ainda a vantagem de se poder utilizar em praticamente todos os tipos de impermeabilização (WITA, 2012). Esta possibilidade está relacionada com facto de grande parte das membranas não serem condutores elétricos, tal como refere Ceja (2013). Como limitações, o método impõe que a membrana de impermeabilização não seja condutora elétrica, enquanto o seu suporte deve ser um condutor elétrico. A própria membrana deve estar húmida, na área submetida ao teste (Thornton, 2001). Thornton (2001) acrescenta que o método é de difícil aplicabilidade aquando da existência de vento. Ao invés,

o segundo método, utiliza corrente de alta tensão e realiza-se com todas as superfícies secas, sejam horizontais ou verticais. Esta tecnologia permite detetar rápida e eficazmente roturas na membrana de impermeabilização. Relativamente às limitações, apresenta as seguintes: não se pode utilizar em produtos que tenham asfalto na sua composição; não deteta defeitos nas juntas de sobreposição ou remates; necessita de estar exposto à água antes de ser utilizado; só funciona com as membranas de impermeabilização à vista e não pode ser utilizado em coberturas invertidas (Thornton, 2001).

#### **4.4. MEDIÇÃO DA CAPACITÂNCIA**

Este método baseia-se no princípio da alteração das propriedades elétricas de um material quando na presença de humidade e tem como objetivo a medição das mesmas propriedades, neste caso a capacitância (Carino e Clifton, 1982). O método recorre à criação de um campo elétrico de corrente alternada que percorre o material a ser testado. Quando se regista a existência de humidade, as propriedades elétricas do material são alteradas, o que altera as características do campo elétrico gerado aumentando a sua capacitância (Tobiasson e Korhonen, 1985). É através destas alterações no campo elétrico que é detetada a presença de água.

Em suma, este método apresenta as seguintes vantagens (Carino et al., 1982): o clima não influencia de forma decisiva os resultados obtidos; fácil manuseamento do equipamento e transporte; baixo custo do equipamento. Como desvantagens apresenta as seguintes (Carino et al., 1982): não determina as fronteiras exatas da anomalia; a cada ensaio só tem capacidade para testar uma área reduzida da cobertura; devido à sua natureza elétrica, os resultados do teste pode ser influenciado por agentes exteriores; as medições efetuadas por este método podem, por vezes, corresponder a errados valores quantidade de humidade presente nos materiais (Knab, 1981).

#### **4.5. TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS**

O método de termografia de infravermelhos é baseado no princípio de que uma superfície molhada tem diferente taxa de emissão e receção de energia face a uma superfície seca. A superfície molhada tem significativamente mais massa e uma menor taxa de emissão de energia, o que significa que o processo de ganho e perda de calor é mais lento face a uma superfície seca. Os aparelhos de infravermelhos registam as diferentes temperaturas existen-

tes no edifício, sendo utilizados para detetar os locais onde o isolamento é deficiente e onde ocorrem as perdas de calor mais relevantes. No entanto, estes aparelhos também podem ser utilizados para a deteção de infiltrações, humidade nos materiais ou na sua superfície. Nas coberturas em terraço, este método, adquire particular relevância na procura da origem das infiltrações.

#### **4.6. Método nuclear**

O teste de medição nuclear é um método que utiliza leituras relativas que são interpretadas para localizar áreas com diferentes teores de humidade. O medidor nuclear emite um fluxo de neutrões de alta velocidade que colide com os átomos de hidrogénio, perdendo alguma energia, e regressando de seguida ao medidor nuclear a uma menor velocidade. O equipamento utilizado deve ser calibrado convenientemente conforme os diferentes sistemas de cobertura e tendo em atenção as espessuras das camadas empregues. As limitações estão relacionadas com o transporte de materiais radioativos, que requer licença, e, tal como no teste de medição de capacitância, as infiltrações devem ser encontradas de forma visual após a conclusão do teste (Capolino, 2004).

#### **4.7. ENSAIO DE ESTANQUEIDADE**

O teste de estanqueidade é um dos testes mais básicos podendo igualmente ser o mais eficaz (Capolino, 2004). O método fornece informação sobre a existência de infiltrações, se a quantidade de água aplicada em teste for adequada, mas para além disso não permite avaliar o seu comportamento a longo prazo, tal como não fornece indicações sobre a resistência do sistema de cobertura à ação do vento ou comportamento face à ação da temperatura. A concretização deste método apresenta algumas dificuldades, tais como: a demora no enchimento da cobertura com água, no teste e na drenagem da água após teste; dependendo da inclinação da cobertura, a água necessária para executar o teste pode aumentar, ou seja, para uma maior inclinação é necessária uma maior quantidade de água; relativamente à quantidade de água necessária, é imprescindível uma análise da mesma, tendo em conta a capacidade resistente da estrutura, como referido.

A matriz correlação anomalias – técnicas de diagnóstico foi realizada adequando o método de diagnóstico consoante as características das anomalias identificadas. Cada par de anomalia – técnica de diagnóstico é classificado de acordo com o seguinte: 0 – sem relação; 1 – pequena correlação;

2 – grande correlação, representando a correlação entre os intervenientes. Foram criadas fichas para caracterizar os métodos de diagnóstico, contendo informações como, a designação, tipologia do ensaio (destrutivo ou não), objetivos, equipamento necessário, descrição do método, vantagens e limitações, como ilustrado na Tabela 6.

## 5 VALIDAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o objetivo de validar o sistema classificativo de anomalias proposto em 3 e calibrar as matrizes de correlação teóricas, organiza-se neste capítulo uma série de dados que permitem, simultaneamente, aferir e calibrar os procedimentos adotados e as matrizes de correlação construídas. Este capítulo, numa fase inicial, tem como objetivo a apresentação de toda a informação obtida nas inspeções efetuadas a um total de 105 coberturas com anomalias. Posteriormente procurar-se-á a validação do sistema classificativo de anomalias em coberturas em terraço proposto, bem como a validação das matrizes correlação construídas anteriores.

**Tabela 6** - Ficha de ensaio - inspeção visual

<b>FICHA DE ENSAIO D-A1</b>	
<b>DESIGNAÇÃO:</b>	
Inspeção visual	
<b>DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND):</b>	
ND	
<b>OBJETIVOS</b>	
Avaliar o estado de degradação dos elementos que constituem a cobertura e as causas das anomalias por simples observação direta complementada com equipamentos auxiliares simples	
<b>EQUIPAMENTO NECESSÁRIO:</b>	
Binóculos; máquina fotográfica; fita métrica; escada; equipamento de segurança	
<b>DESCRIÇÃO DO MÉTODO:</b>	
1 - colocação do equipamento de segurança pessoal; 2 - deslocação até à cobertura; 3 - avaliação da cobertura através de observação direta auxiliada por outros equipamentos simples	
<b>VANTAGENS</b>	
Técnica de realização simples, de baixo custo e não necessita de equipamento especial	
<b>LIMITAÇÕES</b>	
Exige um profissional com elevada experiência e conhecimento neste âmbito	
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:</b>	
Gonçalves (2004); Córias (2006); Carino e Clifton (1982); Flores-Colen (2008); Garcez (2009)	

Toda a informação adquirida encontra-se reunida em fichas de inspeção e validação. As fichas de inspeção têm como objetivo condensar informação sobre as inspeções a coberturas em terraço, nomeadamente as características

do edifício e outras informações destinadas à caracterização das anomalias identificadas. As fichas de validação destinam-se a validar o sistema de inspeção e diagnóstico proposto, sendo que, para tal, se criou uma ficha de validação para cada cobertura analisada. Nestas fichas foi efetuado o registo das anomalias detetadas (sempre igual ou superior a uma, dado que só foram inspeccionadas coberturas que apresentavam anomalias) de acordo com a classificação apresentada em 3.

Após as alterações da matriz de correlação anomalias - causas, decorrentes das inspeções realizadas, obrigaram também a ajustamentos na matriz de correlação das anomalias entre si e à obtenção de novos índices de correlação percentuais, CI% entre anomalias. Verificou-se que o ajuste é muito bom em 69% dos casos, sendo bom em 19% dos casos, razoável em 10% dos casos e apenas 2% dos casos apresentam um mau ajuste (Tabela 7).

Uma vez que as relações apresentadas resultam diretamente dos graus de correlação apresentados na matriz anomalias - causas prováveis, anteriormente validados, não é possível efetuar alterações diretamente na matriz de correlação inter-anomalias, com vista a melhorar a qualidade do ajustamento. Tendo em conta os resultados obtidos, considera-se bastante boa a matriz inter-anomalias proposta e adequada aos casos em que se pretende estimar a probabilidade de ocorrência simultânea das várias anomalias.

**Tabela 7 - Matriz de correlação inter-anomalias**

	A-G1	A-G2	A-G3	A-G4	A-G5	A-G6	A-G7	A-G8	A-G9	A-G10	A-G11	A-G12	A-S1	A-S2	A-S3	A-S4	A-S5	A-S6	A-S7	A-S8
A-G1		64%	23%	27%	73%	14%	0%	18%	0%	27%	23%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A-G2	39%		31%	28%	56%	33%	6%	8%	0%	19%	11%	25%	11%	8%	0%	0%	0%	11%	0%	0%
A-G3	11%	25%		32%	14%	14%	9%	9%	9%	5%	5%	34%	18%	7%	5%	5%	36%	36%	25%	39%
A-G4	17%	28%	39%		44%	0%	22%	0%	11%	22%	11%	28%	39%	6%	6%	6%	22%	11%	6%	47%
A-G5	53%	67%	20%	53%		3%	13%	3%	0%	13%	13%	27%	27%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A-G6	14%	55%	27%	0%	5%		0%	32%	0%	14%	0%	27%	0%	9%	0%	0%	0%	18%	0%	0%
A-G7	0%	25%	50%	100%	50%	0%		0%	50%	0%	0%	50%	50%	25%	25%	25%	50%	50%	25%	50%
A-G8	11%	8%	11%	0%	3%	18%	0%		37%	32%	8%	8%	0%	16%	0%	21%	0%	0%	11%	0%
A-G9	0%	0%	17%	17%	0%	0%	17%	58%		25%	8%	0%	17%	8%	8%	58%	17%	17%	42%	17%
A-G10	25%	29%	8%	33%	17%	13%	0%	50%	25%		29%	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A-G11	42%	33%	17%	33%	33%	0%	0%	25%	17%	58%		58%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A-G12	15%	26%	44%	29%	24%	18%	12%	9%	0%	15%	21%		0%	3%	0%	0%	12%	24%	24%	24%
A-S1	0%	25%	50%	75%	50%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	0%		13%	13%	13%	50%	25%	13%	50%
A-S2	0%	0%	25%	17%	0%	17%	17%	50%	17%	0%	0%	8%	17%		8%	8%	17%	17%	8%	17%
A-S3	0%	0%	20%	20%	0%	0%	20%	0%	20%	0%	0%	0%	20%	10%		10%	20%	20%	10%	20%
A-S4	0%	0%	11%	11%	0%	0%	11%	44%	78%	0%	0%	0%	11%	6%	6%		11%	11%	50%	11%
A-S5	0%	0%	100%	50%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	25%	50%	13%	13%	13%		25%	13%	50%
A-S6	0%	25%	100%	25%	0%	25%	25%	0%	25%	0%	0%	50%	25%	13%	13%	13%	25%		63%	75%
A-S7	0%	0%	55%	10%	0%	0%	10%	20%	50%	0%	0%	40%	10%	5%	5%	45%	10%	50%		55%
A-S8	0%	0%	94%	44%	0%	0%	22%	0%	22%	0%	0%	44%	44%	11%	11%	11%	44%	67%	61%	

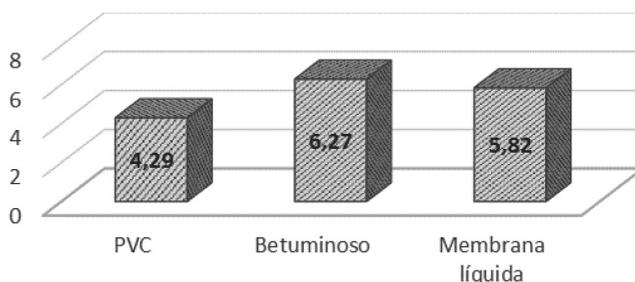
**Tabela 8** - Matriz correlação anomalias - técnicas de diagnóstico

	A-G1	A-G2	A-G3	A-G4	A-G5	A-G6	A-G7	A-G8	A-G9	A-G10	A-G11	A-G12	A-S1	A-S2	A-S3	A-S4	A-S5	A-S6	A-S7	A-S8
D-A1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2
D-A2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0
D-B1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
D-B2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
D-C1	0	2	0	2	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
D-D1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
D-E1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2

Após o sistema classificativo proposto ter sido validado, apresenta-se um tratamento estatístico relativo aos dados recolhidos durante as inspeções realizadas. Com isto, pretende-se obter informações e conclusões através do cruzamento da informação recolhida, de forma a complementar o sistema classificativo. O plano de inspeções realizado consistiu num total de 608 anomalias registadas, distribuídos por 105 coberturas em terraço. Não foi realizado qualquer tipo de ensaio in situ ou em laboratório.

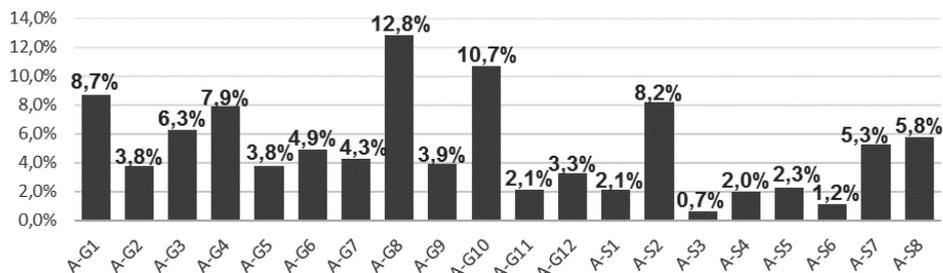
Em suma, foram identificadas 608 anomalias, perfazendo uma média de 5,8 anomalias por cobertura inspecionada; 1962 causas perfazendo uma média de 3,2 causas por anomalias e 936 métodos de diagnóstico com uma média de 1,5 métodos de diagnóstico associados a cada anomalia. A restante caracterização da amostra, nomeadamente dos dados recolhidos nas fichas de inspeção, encontra-se na dissertação de Poça (2015) que complementa este trabalho.

Com base na classificação proposta em 3, apresenta-se na Figura 1, a percentagem de ocorrência de cada uma das anomalias na sua amostra total verificada em coberturas em terraço. As anomalias A-G8 - acumulação de detritos e A-G10 - colonização biológica são as que apresentam maior probabilidade de serem observadas durante uma eventual inspeção. Seguidamente, apresentam-se com maiores frequências as anomalias A-G1 - desgaste superficial, A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda e A-G4 - formação de pregas / empolamento. Por outro lado, as anomalias A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão e A-S6 - fixações deficientes apresentam as probabilidades de ocorrência mais baixas.



**Figura 1** - Contribuição relativa de cada anomalia na amostra total

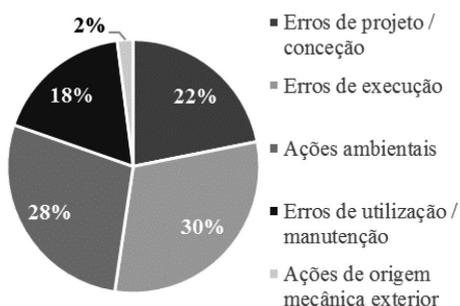
Visto grande parte das anomalias terem sido registadas ao nível do revestimento de impermeabilização decidiu-se fazer o levantamento das anomalias consoante o tipo de revestimento inspecionado, para tal apresenta-se na Figura 2, o número médio de anomalias encontrado nos diferentes tipos de revestimentos de impermeabilização inspecionados. A média de anomalias foi calculada dividindo o número total de anomalias no revestimento de impermeabilização pelo número total de revestimentos desse tipo na amostra.



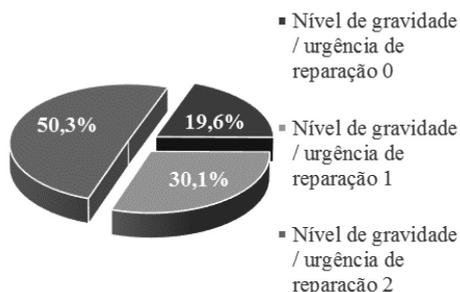
**Figura 2** - Média de anomalias registadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados

Pode concluir-se que nas membranas betuminosas regista-se um maior número médio de anomalias. É de realçar que apesar do número de membranas líquidas inspecionadas (11) ser bastante inferior ao número de membranas betuminosas inspecionadas (86), ambas as médias se encontram relativamente próximas, o que permite concluir que, em geral, as membranas líquidas têm tendência a apresentar um número de anomalias próximo das registadas nas membranas betuminosas. Apresenta-se na Figura 3 as percentagens dos três tipos de intervenção (0 - intervenção imediata, até 6 meses; 1 - intervenção a médio prazo, até 1 ano e 2 - monitorização da anomalia) para o total de anomalias da amostra e a frequência relativa destes graus para cada tipo de anomalia identificada na amostra. A urgência de intervenção para cada anomalia foi estimada, tendo como base as informações recolhidas nas fichas de inspeção e de validação e os níveis de gravidade / urgência de reparação descritos nas fichas de anomalias apresentadas anteriormente. Observando a verifica-se que o nível de gravidade mais vezes registado foi o 2 (50,3% da amostra), enquanto, o nível de gravidade que exige intervenção mediata é o que apresenta menor número de registos (19,2%), com destaque para as anomalias A-G12 - manchas de humidade de condensação / infiltração, A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda e a A-S6 - fixações deficientes. Na Figura 4, que ilustra a contribuição de cada grupo de causas para o total de ocorrências assinaladas, verifica-se que as causas associadas ao grupo C-E - erros de execução (30%) são aquelas que mais contribuem para a ocorrência de anomalias, seguidas das causas respeitantes ao grupo C-A - ações ambientais (28%), como seria expectável. Este facto prende-se com sujeição do

sistema de cobertura às ações ambientais, que face às coberturas inclinadas têm um efeito mais nefasto. O grupo C-P - erros de projeto / conceção (22%) também apresenta uma elevada contribuição para a ocorrência de anomalias, embora este tipo de erros seja, por vezes, mais dificilmente identificável. Com uma representatividade muito próxima da do grupo anterior, aparece o grupo C-U - erros de utilização / manutenção (18%) principalmente devido à causa C-U3 - ausência / inadequada inspeção. Por fim, o grupo C-M - ações de origem mecânica (2%) apresenta o menor número de registos.

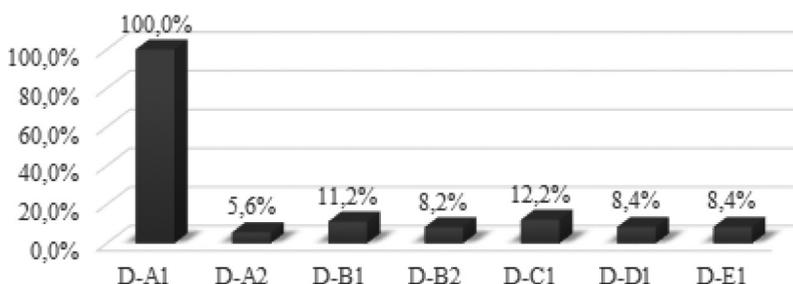


**Figura 3** - Contribuição relativa de cada grupo de causas para as anomalias assinaladas



**Figura 4** - Nível de gravidade / urgência de reparação das anomalias

O método D-A1 - inspeção visual, que constitui o único comum a todas as anomalias, foi destacadamente o mais assinalado, tendo-o sido em todos os casos, uma vez que, tal como referido, é considerado o método primário de diagnóstico em todas as anomalias, seguido de outros métodos mais específicos, caso estejam disponíveis e sejam necessários. Esses métodos são, por exemplo, o D-C1 - termografia de infravermelhos, tendo sido observado em 12,2% dos casos e o D-B1 - deteção eletrónica de infiltração, registado em 11,2% dos casos. O método D-A2 - medição da inclinação apresenta uma frequência baixa por ter um campo de aplicação muito limitado, tal como o próprio nome indica.



**Figura 5** - Frequência relativa de cada método de diagnóstico

## 6 CONCLUSÕES

As coberturas tiveram, desde sempre, um papel muito importante nos edifícios, nomeadamente na proteção contra os fenómenos atmosféricos. É de notar que o desenvolvimento registado nas coberturas em terraço, hoje em dia, não se prende unicamente com a simples garantia de estanqueidade, procurando alcançar outras exigências funcionais já descritas.

No presente, verifica-se que a mão-de-obra utilizada não é especializada na execução dos sistemas de coberturas (nos pontos singulares e sistema de drenagem, essencialmente) ou não se realizam as respetivas ações de limpeza e manutenção do sistema de cobertura. Também na fase de projeto se aponta algumas debilidades, nomeadamente nas conceções / pormenorizações omissas ou incorretas e na prescrição inadequada dos materiais. Desta forma, na fase de projeto, devem ser exigíveis pormenorizações e prescrições de materiais corretas; na fase de execução, o recurso a mão-de-obra qualificada e aplicação de materiais em conformidade com o definido no projeto e, na fase de manutenção, a existência de um plano de inspeções periódicas e não-periódicas.

É de relevar que a dissertação em causa se insere na fase da manutenção destinando-se a auxiliar as inspeções em coberturas planas, tal como a ajudar a compreender os fenómenos patológicos, respetivas causas e técnicas de diagnóstico. A importância desta fase prende-se com o facto de permitir a adoção de medidas preventivas e a redução de eventuais custos futuros na reparação de anomalias com maior dimensão. O estudo das correspondentes técnicas de reparação é desenvolvido na dissertação que complementa este trabalho e que se designa “Tecnologia e reabilitação de coberturas em terraço” (Poça, 2015). Considera-se que este trabalho atingiu o objetivo de apresentar um sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, devidamente calibrado e validado através de uma assinalável campanha de inspeções, constituindo por isso uma boa ferramenta de auxílio a futuras inspeções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, José; CABRITA, A.M. Reis; APPLETON, João (1997). “Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais”. Lisboa: LNEC-DGOT. ISBN 972-49-1726-6. Vol. 1 e 2.

APPLETON, J. (2002). “Estudos de Diagnóstico em Edifícios. Da Experiência à Ciência. A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação”. FEUP, Porto.

ARAÚJO, A., BRITO, J. e JÚLIO, E. (2008). “Manual de inspecção de patologia exterior de construções edificadas em Portugal no período de 1970 a 1995”. Relatório ICIST, DTC nº12/08.

BASKARAN, B.A., SMITH, T. L. (2008). “ Wind uplift design of flexible membrane roofs”. NRCC – 50466, 4th International Conference on Advances in Wind and Structures, Korea, pp. 911-919.

BASKARAN, A. (2005). “A Guide for the Wind Design of Mechanically Attached Flexible Membrane Roofs”. Ottawa: Institute for Research in Construction National Research Council of Canada.

BRITO, J. (1992). “Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

CARINO, N. e CLIFTON, J. (1982). “Nondestructive Evaluation Methods for Quality Acceptance of Installed Building Materials”. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 87, Washington.

CAPOLINO, R. (2004). “Integrity Testing”. RCI, Interface.

CEJA, C. (2013). “Recommended Test Procedure for High-Voltage Membrane Integrity Testing”. 28TH RCI International Convention and Trade Show, Chicago.

CÓIAS, V. (2006). “Inspeção e Ensaios na Reabilitação de Edifícios”. Lisboa: IST Press.

CULLEN, W. (1965). “Effects of Thermal Shrinkage on Built-up Roofing.” U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. p(1-6), United States of America.

FRANK, J., KOONTZ, J., e VALAITIS, J. (2002). “ Aging and Hail Research of PVC Membranes”. 12th International Roofing and Waterproofing Conference.

GIBSON, C., HOLLIS, M. (1991) “Surveying Buildings”. Technische Universiteit Eindhoven. RICS books, 12 great George Street, London, ISBN 0854064648.

GOMES, R J. (1968). “Cobertura em terraço.” Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

GONÇALVES, M., LOPES, J., BRITO, J. e LOPES, G. (2007). “Mechanical performance of lap joints of flat roof waterproofing membranes”. Society for Experimental Mechanics, Vol.32. p. 50-57.

GONÇALVES, M. ( 2004). “Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço com base em Membranas Prefabricadas - Comportamento de Juntas de Sobreposição”. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

GRIFFIN, C. (1982). “Manual of built-up roof systems. New York, McGraw-Hill Book Company, Second edition.

HENSHELL, J. (2008). “ When is a waterproofing membrane not a When is a waterproofing membrane”. RCI Interface, Roof Consultants Institute.

JORNE, F. (2012). “Análise do comportamento higrotérmico da solução etics na óptica da identificação e reparação de anomalias”. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

KIRBY, J. (1997). “Avoiding Ponding Water by Positive Drainage.” Professional Roofing. NRCA p(56).

KNAB, L., MATHEY, R., and JENKINS, D. (1981). “Laboratory Evaluation of Nondestructive Methods o Measure Moisture in Built-Up Roofing Systems”, National Bureau of Standards Building Science Series 131.

LAWSON, J. (2012). “Roof drainage – Not my problem... Maybe”. Structural Engineers Association of California 2012 Convention Proceedings, San Luis Obispo.

LOPES, G. (2010). “Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço”. Informação Técnica, ITE 34, Laboratório Nacional Engenharia Civil, Lisboa.

DTU (1986). “Travaux d’étanchéité des toitures - terrasses et des toitures inclinées”. Document Technique Unifié (DTU), Le Groupe de Coordination des Textes Techniques. Cahiers du CSTB, Paris, (165), Cahier 1353, DTU 43.

MALPEZZI, J., GILLENWATER, R. (1993). “Static vs. dynamic: A wind uplift testing study”. National Roofing Contractors Association, 10th Conference on Roofing Technology, Gaithersburg.

MASCARENHAS, J. (2008). “Sistemas de construção”. 4ª edição, Livros Horizonte, Lisboa.

NRCA (2012). “Roof System Types.” National Roofing Contractors Association.

POÇA, B. (2015) “Recuperação do edificado afeto ao exército. Tecnologia e reabilitação de coberturas em terraço”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

POTTER, J. (1991). “Achieving the perfect flat roof”. International Symposium on Roofing Technology, United Kingdom.

PIERCE, H. (2004). “The Top 10 Most Common Roof Problems - Discover and Understand the Problems Plaguing Low-slope Roofs Everywhere”. Buildings magazine.

SCHILD, E. et al. (1978). “L’étanchéité des l’habitation. Préventions des sinistres”. Éditions Eyrolles. Tome 1 – Toitures-terrasses. Balcons. Points faibles. Paris.

THORNTON, S. (2001). “Electronic leak detection”. RCI Symposia, Seattle and Cincinnati.

TOBIASSON, W. e KORHONEN, C. (1985). “Roof moisture surveys: Yesterday, today and tomorrow”. Symposium on Roofing Technology, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL), Hanover.

TRUJILLO, Lara; CAULA, Lluís (2003). Manual de diagnosis e intervenció en cubiertas planas. Barcelona, Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes tècnics de Barcelona, 1ª edição.

WITA (2012). “Non-destructive testing of roof and other membrane waterproofing coverings”. Guidance notes, Waterproofing integrity test association, United Kingdom.

WILEN, J. (2012). “Art and Science of Electronic Leak Detection”. National Roofing Contractors Association, Professional Roofing Magazine, VOL.42, Issue 11, Rosemont.

João Conceição é Tenente de Engenharia e Mestre em Engenharia Militar.

Jorge Brito é Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Instituto Superior Técnico. Desenvolve as

suas atividades de investigação no centro Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS).

Inês Flores-Colen é Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Instituto Superior Técnico. Entre outras, desenvolve as suas atividades de investigação nas áreas das patologias e reabilitação de edifícios.