



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

**Sustentabilidade na Construção Civil  
Coberturas “Verdes” – Estratégias de Prevenção e  
Segurança Contra Incêndios**

**Rui Manuel da Silva Ramos  
(Licenciado)**

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

**Orientadora:**

Doutora Maria Idália da Silva Gomes

**Júri:**

Presidente: Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques

Vogais:

Licenciado Especialista João António Antunes Hormigo

Doutora Maria Idália da Silva Gomes

**Janeiro de 2021**



*Por toda a motivação, inspiração, e  
principalmente por nunca teres deixado de acreditar, dedico-te a conclusão deste  
trabalho! “... por uma questão de Brio!”*



## AGRADECIMENTOS

O trabalho agora apresentado deve-se em grande parte ao apoio, motivação e empenho de várias pessoas e instituições que de alguma forma me proporcionaram as condições necessárias à realização deste empreendimento, contribuindo assim decisivamente para a conclusão do mesmo.

Começo por expressar o meu profundo agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Maria Idália da Silva Gomes, por todos os comentários e esclarecimentos, disponibilidade e motivação demonstradas.

Agradeço também ao Investigador Principal com Habilitação Engenheiro António Leça Coelho, pelo interesse e pela indicação de bibliografia relevante para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço, na pessoa do Exmo. Senhor Comandante Tenente-Coronel de Engenharia Tiago Lopes, ao Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa, por todas as possibilidades de desenvolvimento pessoal e profissional proporcionadas ao longo da minha carreira; em particular aos meus colegas da Secção de Prevenção na pessoa do Sr. Chefe João Vaz Ramos, e à coordenadora do Gabinete Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Eng<sup>a</sup> Cristina Caramujo.

O meu muito obrigado ao Sr. Diretor Marcos Batista das Águas de Portugal, pelo acompanhamento e esclarecimentos prestados nas visitas feitas à Fábrica de Água de Alcântara.

Muito obrigado também ao Professor. Dr. Miguel Centeno Brito, docente do departamento de Eng<sup>a</sup> Geográfica, Geofísica e Energia, e à Júlia Alves, coordenadora do Gabinete de Segurança, Saúde e Sustentabilidade, ambos da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pela disponibilidade demonstrada para visitas e esclarecimentos relativamente à cobertura fotovoltaica da referida faculdade.



## SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL COBERTURAS “VERDES” - ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

### RESUMO

A crescente preocupação com as questões relacionadas com a sustentabilidade tem motivado o aparecimento e o desenvolvimento de soluções que visam a diminuição do impacto ambiental derivado da atividade humana.

Sendo estas preocupações transversais a toda a sociedade têm na área da construção um campo de desenvolvimento muito pronunciado, na medida em que esta contribui de forma decisiva para o agravar desses impactes.

Esta abordagem sob o ponto de vista da sustentabilidade generalizou-se atuando a todos os níveis do projeto, com particular incidência nas tecnologias construtivas e nos materiais empregues surgindo assim naturalmente o conceito de coberturas “verdes”, que para além das soluções com vegetação engloba também soluções com tecnologias amigas do ambiente.

A presente dissertação, com a análise de dois casos de estudo, cobertura ajardinada e cobertura com painéis solares fotovoltaicos, pretende verificar de que forma estas soluções consideram e integram a segurança contra o risco de incêndios, tendo em conta o enorme impacto negativo dos incêndios na sustentabilidade ambiental, detetando eventuais fragilidades de cada um dos sistemas e sugerindo medidas compensatórias para os otimizar do ponto de vista da segurança contra incêndios.

Será realizada uma análise à bibliografia existente sobre o comportamento e contribuição destas tecnologias para o agravamento do risco de incêndio e à legislação nacional vigente, para que do cruzamento de ambas se possa aferir o grau de adequação da legislação às novas variáveis impostas, e, se for o caso, proporcionar a informação necessária para que esta se possa atualizar.

### PALAVRAS-CHAVE

Construção Sustentável; Coberturas Ajardinadas; Energia Solar Fotovoltaica; Segurança Contra Incêndios.



SUSTAINABILITY IN CONSTRUCTION  
"GREEN" ROOFS - FIRE PREVENTION AND SAFETY STRATEGIES

**ABSTRACT**

The growing concern with sustainability related issues has motivated the creation and development of solutions that aim to reduce environmental impact caused by human activity. Since these concerns are cross to society, in the construction activity it has a very pronounced development field, due to its decisive contribution to aggravate these impacts.

This approach from sustainability's view point has become widespread, across all project levels, with particular focus on the construction technologies and used materials, thus naturally emerging the concept of "green" roofs, which in addition to solutions using vegetation also includes solutions using environmentally friendly technologies.

The present dissertation, with two case studies analyses, garden roof and roof with solar photovoltaic panels, intends to verify how these solutions consider and integrate the security against fire risk, due to the enormous negative impact of fires in the environmental sustainability, detecting possible weaknesses in each of the systems and suggesting compensatory measures to optimize them in terms of fire safety.

An analysis will be carried out, considering the existing bibliography, on the behavior and contribution of these technologies to the aggravation of fire risk, and considering the national current legislation, so that the crossing of both can assess the degree of adequacy of the legislation to the new imposed variables, and, if case of need, provide the necessary information so that it can be updated.

**KEYWORDS**

Sustainable Construction; Garden Coverings; Photovoltaic Solar Energy; Fire Safety.



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>V</b>
<b>PALAVRAS-CHAVE.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>KEYWORDS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	4
<b>2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E OS EDIFÍCIOS VERDES .....</b>	<b>7</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	7
2.2 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PASSIVAS E A SUA CONTRIBUIÇÃO .....	12
2.2.1 <i>Telhados brancos</i> .....	14
2.2.2 <i>Coberturas ajardinadas</i> .....	15
2.3 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS ATIVAS E A SUA CONTRIBUIÇÃO.....	21
2.3.1 <i>Energia solar térmica</i> .....	23
2.3.2 <i>Energia solar fotovoltaica</i> .....	24
2.4 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE.....	27
2.4.1 <i>BREEAM®</i> .....	28
2.4.2 <i>LEED®</i> .....	29
2.4.3 <i>LiderA</i> .....	30
2.4.4 <i>SBTool<sup>PT</sup>®</i> .....	30
<b>3 EDIFÍCIOS VERDES E AS ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES COM IMPACTO NOS INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS VERDES	33
3.2 ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR O RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS VERDES .....	35
3.3 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E RISCOS ACRESCIDOS DOS EDIFÍCIOS VERDES .....	39
<b>4 CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>45</b>
4.1 COBERTURA AJARDINADA .....	45
4.1.1 <i>Caracterização do Edifício em estudo</i> .....	45
4.1.2 <i>Vulnerabilidade do Sistema</i> .....	54
4.1.3 <i>Sugestões - Medidas Compensatórias</i> .....	56
4.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	58
4.2.1 <i>Caracterização do edifício em estudo</i> .....	58
4.2.2 <i>Vulnerabilidade do Sistema</i> .....	65

4.2.3	<i>Sugestões - Medidas Compensatórias</i> .....	69
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>73</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	73
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	75
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>77</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 - COBERTURAS AJARDINADAS: A) JARDINS SUSPENSOS DA BABILÓNIA; B) HABITAÇÕES VIKINGS, ISLÂNDIA .....	11
FIGURA 2-2 - SOLUÇÕES DE FACHADA AJARDINADA: A) RESTAURANTE EM CAMPOLIDE, LISBOA; B) EDIFÍCIO HOTEL NA PRAÇA DE ESPANHA, LISBOA .....	12
FIGURA 2-3 - SOLUÇÕES DE COBERTURA AJARDINADA: A) EDIFÍCIO SEDE DO SANTANDER, LISBOA; B) EDIFÍCIOS DA FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN, LISBOA.....	13
FIGURA 2-4 - TURF HOUSE (TELHADO INCLINADO), HUSAVIK, ISLÂNDIA .....	17
FIGURA 2-5 - COBERTURA AJARDINADA: A) EDIFÍCIO DO MUSEU DE ARTE, ARQUITETURA E TECNOLOGIA (MAAT), LISBOA; B) CAMPUS DA JUSTIÇA, LISBOA .....	18
FIGURA 2-6 - COBERTURAS AJARDINADAS: A) SISTEMA INTENSIVO, B) SISTEMA SEMI-INTENSIVO; C) SISTEMA EXTENSIVO .....	19
FIGURA 2-7 - TELHADOS AJARDINADOS EXTENSIVOS: HEALTH EDUCATION BUILDING, KANSAS CITY .....	19
FIGURA 2-8 - WILD GARDENS IN MANHATTAN, NEW YORK CITY .....	20
FIGURA 2-9 - TELHADOS AJARDINADOS SEMI-INTENSIVOS: A) EDIFÍCIO SEDE DO SANTANDER, LISBOA; B) COBERTURA DA FÁBRICA DE ÁGUA DE ALCÂNTARA, LISBOA .....	20
FIGURA 2-10 - SISTEMAS HÍBRIDOS: A) FOTOVOLTAICO E COMBUSTÃO; B) FOTOVOLTAICO E EÓLICO .....	22
FIGURA 2-11 - ARQUITETURA SOLAR: A) BIBLIOTECA POMPEU FABRA DE MATARÓ, CATALUNHA, ESPANHA; B) ACADEMIA MONT-CENIS, HERNE SODINGEN, ALEMANHA.....	23
FIGURA 2-12 – SISTEMA TÉRMICO DE CONCENTRAÇÃO SOLAR: A) PRINCÍPIO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA; B) COMPONENTES DO SISTEMA.....	23
FIGURA 2-13 - COLETORES DOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS: A) PLANO, B) PARABÓLICO CONCENTRADOR COMPOSTO, C) TUBOS DE VÁCUO .....	24
FIGURA 2-14 - UTILIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA: A) DIRETAMENTE; B) ARMAZENADA EM BATERIAS .....	25
FIGURA 2-15 RASTREAMENTO SOLAR: A) EIXO DUPLO; B) EIXO ÚNICO POLAR; C) EIXO ÚNICO HORIZONTAL .....	26
FIGURA 2-16 INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM SIMULTÂNEO COM OUTRAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS: A) INSTALAÇÃO EM JARDINS; B) SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EM TELHADO BRANCO, ISEL .....	26
FIGURA 2-17 - INSTALAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM GRANDES ÁREAS RURAIS: A) PARQUE FOTOVOLTAICO EM LOURES; B) FOTOGRAFIA AÉREA DO PARQUE SOLAR HÉRCULES, SERPA.....	27
FIGURA 2-18 - SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM PARQUES DE ESTACIONAMENTO: A) INSTALAÇÕES DA RTP, LISBOA; B) PINGO DOCE DE TELHEIRAS, LISBOA.....	27
FIGURA 3-1 - SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETEÇÃO DE INCÊNDIOS (SADI): A) CENTRAL DO SADI; B) CONFIGURAÇÃO DE UM SADI.....	37
FIGURA 4-1 - FÁBRICA DE ÁGUA DE ALCÂNTARA, LISBOA: A) COBERTURA DAS INSTALAÇÕES; B) PORTARIA - ENTRADA PRINCIPAL DA FÁBRICA .....	45
FIGURA 4-2 - PLACA DE ATRIBUIÇÃO DO PRÉMIO VALMOR E MUNICIPAL DE ARQUITETURA EM 2013.....	46

FIGURA 4-3 NOVO COMPLEXO DE EDIFÍCIOS DA FÁBRICA DE ÁGUA DE ALCÂNTARA, LISBOA: A) EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO E DE MONITORIZAÇÃO; B) PARQUES DE ESTACIONAMENTO.....	46
FIGURA 4-4 - REQUALIFICAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ALCÂNTARA (ETAR): A) ETAR ANTES DA SER REQUALIFICADA; B) FÁBRICA DE ÁGUA, DEPOIS DAS OBRAS DE REQUALIFICAÇÃO.....	47
FIGURA 4-5 - ESPAÇOS DE LAZER NA COBERTURA AJARDINADA DA FÁBRICA.....	48
FIGURA 4-6 - DESCONTINUIDADE FISICA E DE ESPÉCIES PARA PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS: A) COBERTURA DOS ESTACIONAMENTOS; B) COBERTURA DO EDIFÍCIO SEDE.....	49
FIGURA 4-7 - ACESSIBILIDADES VIÁRIAS AO EDIFÍCIO DE OPERAÇÃO NA FÁBRICA DE ÁGUA: A) PORTARIA NORTE; B) ACESSO JUNTO À PORTARIA SUL; C) ACESSO LATERAL.....	50
FIGURA 4-8 - ACESSIBILIDADE VIÁRIA AOS EDIFÍCIOS SEDE E DE MONITORIZAÇÃO.....	51
FIGURA 4-9 - VIAS DE CIRCULAÇÃO INTERNA: A) ACESSO AO EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO E DE MONITORIZAÇÃO; B) ACESSO AOS PARQUES DE ESTACIONAMENTO.....	51
FIGURA 4-10 - ACESSIBILIDADE À COBERTURA AJARDINADA PELAS VIAS DE CIRCULAÇÃO INTERNA.....	52
FIGURA 4-11 - ESCADAS EXTERIORES DE ACESSO À COBERTURA AJARDINADA: A) JUNTO AO VIADUTO DUARTE PACHECO; B) PRÓXIMA DA ENTRADA PRINCIPAL DAS INSTALAÇÕES.....	52
FIGURA 4-12 - DISTÂNCIA DA FÁBRICA DE ÁGUA DE ALCÂNTARA AO QUARTEL DO RSB MAIS PRÓXIMO, QUARTEL DO ALTO DE SANTO AMARO, 2ª COMPANHIA.....	53
FIGURA 4-13 - OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO.....	53
FIGURA 4-14 - TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO: A) COBERTURA DO EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO; B) COBERTURA DA ZONA DE ESTACIONAMENTO.....	54
FIGURA 4-15 - ACESSIBILIDADES PEDONAIS À COBERTURA JARDIM: A) RAMPA JARDIM; B) PASSAGENS DE ACESSO AOS SPOTS DE CONVÍVIO; C) CAMINHOS DEFINIDOS.....	55
FIGURA 4-16 - COBERTURA SEM "GUARDAS" CONTRA QUEDAS: A) COBERTURA DOS PARQUES DE ESTACIONAMENTO E DO EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO E DE MONITORIZAÇÃO; B) COBERTURA DO EDIFÍCIO DE OPERAÇÃO.....	55
FIGURA 4-17 - CONTINUIDADE DE MATÉRIA VERDE ENTRE COBERTURA AJARDINADA E VEGETAÇÃO - ÁRVORES - DA ZONA ENVOLVENTE.....	56
FIGURA 4-18 – DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE SCIE: A) COLOCAÇÃO NOS PARQUES DE ESTACIONAMENTO; B) SAÍDA PEDONAL DE ESTACIONAMENTO; C) RAMPA JARDIM DE ACESSO ÀS ZONAS DE LAZER.....	57
FIGURA 4-19 - FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA: A) CAMPUS DA FAC. CIÊNCIAS B) EDIFÍCIO C1 DA FAC. DE CIÊNCIAS.....	58
FIGURA 4-20 - IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA UNIVERSIDADE DE LISBOA: A) FACULDADE DE CIÊNCIAS, B) FACULDADE DE PSICOLOGIA E INSTITUTO DE EDUCAÇÃO.....	59
FIGURA 4-21 - IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA UNIVERSIDADE DE LISBOA: A) BIBLIOTECA E CENTRO DE ESTUDOS CLÁSSICOS, B) FACULDADE DE LETRAS E CENTRO DE HISTÓRIA.....	59
FIGURA 4-22 - INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA NO SOLO; A) PARQUE DE ESTACIONAMENTO DA FACULDADE DE PSICOLOGIA E INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, B) JARDIM DE PEDRA DO EDIFÍCIO C7.....	60

FIGURA 4-23 - UNIDADE DE PRODUÇÃO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA COLOCADA NA COBERTURA DO EDIFÍCIO C1 .....	61
FIGURA 4-24 - SAÍDA DE EMERGÊNCIA DO EDIFÍCIO C1: A) SAÍDA NA COBERTURA, B) ESCADA DE EMERGÊNCIA DA FACHADA DO ALÇADO DIREITO, C) ESCADA DE EMERGÊNCIA DA FACHADA DO ALÇADO ESQUERDO .....	62
FIGURA 4-25 - MARCO DE INCÊNDIO LOCALIZADO JUNTO AO EDIFÍCIO C1 .....	62
FIGURA 4-26 - DISTÂNCIA DO CAMPUS DO CAMPO GRANDE DA UL AO QUARTEL DO RSB MAIS PRÓXIMO, QUARTEL DE ALVALADE, 3ª COMPANHIA .....	63
FIGURA 4-27 - PASSAGENS PEDONAIS AÉREAS ENTRE EDIFÍCIOS DA FACULDADE DE CIÊNCIAS, LISBOA: A) PASSAGEM PEDONAL ENTRE OS EDIFÍCIOS C1 E C4; B) PORMENOR DA PLACA DE AVISO DE ALTURA MÁXIMA PARA VEÍCULOS .....	64
FIGURA 4-28 - INVERSORES E QUADROS AC/DC .....	65
FIGURA 4-29 - TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO: A) REMATES JUNTO A PONTOS SINGULARES; B) ZONA CORRENTE.....	66
FIGURA 4-30 - INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO EDIFÍCIO C1 DA FACULDADE DE CIÊNCIAS	67
FIGURA 4-31 - MONTAGEM DO QUADRO DE CORTE GERAL .....	68
FIGURA 4-32 - QUADRO DE CORTE GERAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO NA COBERTURA DO EDIFÍCIO C1 .....	70



## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AC/DC	<i>Alternating Current/Direct Current</i>
ACV	Avaliação Ciclo de Vida
ANEPC	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i>
EPAL	Empresa Portuguesa das Águas Livres
EPBD	<i>Energy Performance in Buildings Directive</i>
EUA	Estados Unidos da América
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GRO	<i>Green Roof Organiation</i>
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i>
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PV/T	<i>Photovoltaic/Thermal</i>
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RCN	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
RIA	Rede de Incêndio Armada
RJ-SCIE	Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
RSB	Regimento de Sapadores Bombeiros
RT-SCIE	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SADI	Sistema Automático de Detecção de Incêndio
SAEI	Sistema Automático de Extinção de Incêndios
SCI	Segurança Contra Incêndios
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SNB	Serviço Nacional de Bombeiros
SNPC	Serviço Nacional de Proteção Civil
UHI	<i>Urban Heat Island</i>
UN	United Nations
UT	Utilização Tipo



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A tomada de consciência das questões ambientais e das implicações que as suas alterações têm, fez surgir a necessidade de se repensar os modelos de utilização e exploração dos recursos naturais disponíveis. Questões como o aquecimento global, o aumento das emissões de gases com efeito de estufa e respetiva poluição da atmosfera, a perda de biodiversidade, a desflorestação acelerada das grandes manchas verdes mundiais, a poluição dos rios e dos mares com o consequente aparecimento de “zonas mortas”, os eventos climáticos e temperaturas extremas, não deixam margem para dúvidas quanto à necessidade de uma mudança de paradigma.

Essa mudança para ser efetiva tem de ser generalizada, feita a todos os níveis da sociedade, e assim, a sustentabilidade na construção é uma consequência natural da evolução do conceito em si mesmo, uma vez que os edifícios residenciais e comerciais são responsáveis por consumos de energia primária nos países desenvolvidos na ordem dos 30 a 40 % e pela mesma percentagem de emissão de gases com efeito de estufa (Escrivá-Escrivá, 2012 citado por Palmiere, 2015).

O enorme desenvolvimento de que esta área é exemplo nos últimos anos é observável tanto ao nível de materiais aplicados, como ao das tecnologias construtivas desenvolvidas, tendo como consequências uma complexidade cada vez maior do edifício, o que se traduz inevitavelmente por um acréscimo nos riscos de segurança, em particular na segurança contra os incêndios.

Os incêndios têm um impacto negativo na sustentabilidade, nomeadamente ao nível da libertação de substâncias e partículas tóxicas para a atmosfera, com reflexos no efeito de estufa, no elevado consumo de água utilizada no combate ao incêndio que seguidamente segue naturalmente para o solo e respetivos aquíferos, estando esta nessa fase já contaminada com os produtos da combustão. Também no edifício existem consequências, nomeadamente a diminuição do ciclo de vida que seria expectável e o consequente aumento de custos com reparações e reconstruções.

É importante ter presente que mesmo um edifício classificado como sustentável só será seguro contra o risco de incêndio se durante as fases de projeto este risco for considerado, e forem implementadas medidas de proteção nas suas diferentes dimensões.

Estas medidas terão de abranger todas os elementos da estrutura do edifício, tais como as coberturas, e dentro destas, as coberturas “verdes”. Estas terão de ser concebidas e executadas de tal forma que proporcionem a necessária resistência à eclosão e à propagação do incêndio.

Em Portugal, em termos de legislação de segurança contra o risco de incêndio, existe fundamentalmente a Lei nº 123/2019, de 18 de outubro - terceira alteração ao Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de Novembro - que estabelece o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE), e a Portaria nº 135/2020, de 2 de junho, que procede à alteração ao Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE), aprovado pela Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro. Esta última descreve as disposições técnicas gerais e específicas do RJ-SCIE que concentra em si toda a legislação que se encontrava dispersa até à data da sua publicação e engloba as disposições regulamentares de SCIE distribuídas entre 12 Utilizações-Tipo (UT).

Face ao exposto, torna-se pertinente estudar em que medida as soluções adotadas nas coberturas “verdes” - neste trabalho serão analisadas as coberturas ajardinadas e coberturas com instalações fotovoltaicas - criadas para tornar um edifício mais sustentável, se enquadram ao nível da segurança contra o risco de incêndio, e se as exigências a que são sujeitas as habilitam de facto a atingir os objetivos de sustentabilidade a que se propõem.

Será assim fundamental aferir se as referidas soluções não serão por si só um acréscimo de risco para os edifícios, para os seus utilizadores habituais ou mesmo para as equipas de socorro eventualmente acionadas, nomeadamente em questões como a eclosão e propagação de incêndios nas coberturas ajardinadas, ou agravamento do risco de eletrocussão nas coberturas com instalações fotovoltaicas.

## **1.2 Objetivos e metodologia**

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar e analisar dois casos de estudo onde foram implementadas soluções sustentáveis de coberturas verdes e quais as relações com as questões da segurança contra incêndios nos edifícios onde se inserem. É ainda importante analisar a legislação nacional de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) vigente e verificar a adequabilidade da mesma, para se perceber de que forma esta tem acompanhado o desenvolvimento das tecnologias construtivas e dos materiais empregues por estas.

Pretende-se com a análise destes dois casos de estudo, não apenas perceber de que forma estas soluções construtivas contabilizam as questões da segurança contra incêndios como mais valia para atingirem o patamar de sustentabilidade a que se propõem, e em que medida a segurança contra incêndios efetivamente contribui para atingir esses objetivos, mas também detetar falhas ou omissões legislativas, podendo nessa situação este estudo contribuir para uma base de trabalho para encontrar soluções que as ultrapassem.

Para atingir os objetivos principais serão ainda estudadas as soluções implementadas em cada um dos casos de estudo no âmbito da segurança contra os incêndios, e verificada a segurança de cada uma delas em si mesma.

Para tal serão avaliados os seus mecanismos próprios de prevenção e de atuação de sistemas de extinção, bem como de que forma a intervenção de agentes de segurança externos, como o caso dos bombeiros, foi ou não prevista e é ou não facilitada. Desta forma poderão identificar-se eventuais fragilidades das soluções implementadas e, nesse caso, sugerir medidas compensatórias que melhorem a segurança e garantam a sustentabilidade pretendida.

A metodologia utilizada para desenvolver o presente trabalho assenta em duas etapas distintas, discriminadas a seguir:

- Na primeira etapa, será feita uma revisão da literatura existente sobre coberturas ajardinadas e coberturas com painéis solares fotovoltaicos, bem como uma análise do evoluir do quadro legislativo nacional no que diz respeito às questões de segurança contra o risco de incêndios, desde que estas passaram a ser uma clara preocupação na legislação em vigor. Será ainda feita uma análise de ocorrências de incêndios em ambas as soluções construtivas para se tentar perceber a existência de alguma tendência que os potencie, servindo esta análise para posterior averiguação das condições dos casos de estudo escolhidos. Servirá ainda para se perceber de que forma estas duas vertentes, sustentabilidade das coberturas e segurança contra os incêndios interagem;
- Na segunda etapa proceder-se à análise crítica de dois casos de estudo, sendo estes uma cobertura ajardinada e uma cobertura onde foi instalada um sistema de painéis solares fotovoltaicos. Pretende assim perceber-se de que forma, para cada uma das soluções estudadas, as questões de segurança contra os incêndios são tratadas; se estão ou não em conformidade com a legislação nacional em vigor, caso esta as contemple, e se representam ou não um acréscimo de risco de incêndio.

Tendo em vista as conclusões deste trabalho será possível desenvolver procedimentos de atuação por parte das forças de segurança em coberturas onde estejam implementadas estas tecnologias.

Podem ainda definir-se critérios para que os sistemas de deteção e de extinção automática de incêndios já existentes sejam otimizados, ou caso estes não estejam ainda implementados, de que forma podem e devem ser pensados para terem a sua atuação otimizada.

Por outro lado, este trabalho pode ser relevante para projetistas e para as empresas que atuam tanto na área da deteção e extinção de incêndios como na área do desenvolvimento das coberturas verdes, na medida em que contribuirá para a obtenção de uma maior consciência de todas as particularidades subjacentes às tecnologias aqui estudadas de coberturas verdes.

### 1.3 Organização do documento

A presente dissertação desenvolve-se em cinco capítulos. Apresenta-se de seguida o resumo de cada um dos capítulos.

No presente capítulo - **Introdução** - começa por se fazer a exposição dos fundamentos que motivaram o tratamento deste tema bem como o seu enquadramento. Encontram-se definidos os objetivos com a delimitação da área de estudo onde incidirá o trabalho, descrevendo ainda a metodologia utilizada para os atingir.

Conclui-se então o capítulo com uma nota explicativa acerca da organização do documento.

No segundo capítulo - **Sustentabilidade na construção civil e os edifícios verdes** - faz-se uma caracterização do significado de sustentabilidade na construção civil e são estudadas as estratégias bioclimáticas passivas, com incidência no estudo das soluções dos telhados brancos e coberturas ajardinadas, e ativas, com incidência no estudo dos sistemas de painéis solares térmicos e fotovoltaicos, apontando as suas respetivas contribuições.

Neste capítulo são ainda apresentadas as metodologias de avaliação da sustentabilidade que têm maior expressão em termos de utilização, para aferição dessa mesma sustentabilidade.

No terceiro capítulo - **Edifícios verdes e as estratégias de prevenção e a segurança contra incêndios** - com recurso a documentação vária, desde relatórios de incêndios ocorridos em edifícios “verdes” a estudos feitos sobre os mesmos, procurar-se-á descrever as particularidades dos incêndios neste tipo de edificado para se encontrarem os fatores que lhe induzem maior impacto, definir as estratégias para minimizar estas ocorrências e, perceber ainda de que forma a legislação portuguesa responde a estas questões ou então de que forma terá que evoluir para o conseguir fazer.

No quarto capítulo - **Casos de estudo** - efetua-se uma análise apoiada numa verificação prática de dois casos de estudo: um edifício com cobertura ajardinada e um outro com cobertura com a utilização de sistemas de painéis fotovoltaicos. Pretende-se em ambos os casos, depois de caracterizados os edifícios, verificar de que forma essas soluções foram projetadas para responder ao risco de incêndio.

Com esta análise ficam criadas as condições para que, seja na perspetiva da prevenção, da deteção ou do combate a um incêndio assentes nos meios disponíveis, seja ainda pela forma como o trabalho das equipas de socorro será facilitado ou agravado, se identifiquem as fragilidades de cada sistema construtivo propondo então soluções para minimizar essas mesmas vulnerabilidades.

O quinto e último capítulo - **Conclusões e trabalhos futuros** - efetuam-se as considerações finais e sugerem-se medidas de implementação que visem colmatar ou pelo menos minimizar questões relacionadas com a segurança contra incêndios.

Por outro lado, concluir ainda se a legislação nacional em vigor está ou não preparada para estas questões, e não estando, de que forma o pode fazer. São ainda indicadas neste capítulo linhas de desenvolvimento possíveis e desejáveis para esta área de sustentabilidade.

Finaliza-se esta dissertação com as respetivas referências bibliográficas.



## 2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E OS EDIFÍCIOS VERDES

### 2.1 Sustentabilidade na construção civil

A sustentabilidade enquanto conceito, pelas consequências que tem no presente e, principalmente pelas que terá inevitavelmente no futuro, é atualmente alvo de pesquisa e desenvolvimento nas várias áreas da sociedade.

Estas verificam-se em particular na área da construção civil, em cada uma das suas etapas, desde o projeto, onde se destaca a escolha dos materiais e das tecnologias construtivas “amigas” do ambiente, até à eventual demolição e reciclagem dos resíduos daí resultantes.

No entanto, sendo este um tema de grande expressão na agenda política de várias nações, não é um assunto de agora (Akbari et al, 2016).

Em 1968 surge O “Clube de Roma”, organização não governamental (ONG) assim batizado por ter sido nesta cidade, na “*Accademia Nazionale dei Lincei*” que, nesse mesmo ano, teve lugar a primeira reunião de um grupo de cerca de trinta elementos ilustres de dez diferentes países. Estes elementos, provenientes das mais variadas esferas da sociedade e do conhecimento, reuniram-se para tratar um conjunto alargado de assuntos relacionados com política, economia internacional e principalmente com as questões relativas ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, nomeadamente no que dizia respeito ao uso indiscriminado à escala mundial dos recursos naturais disponíveis e das consequências que daí advinham para o meio ambiente.

Em 1972 aconteceu em Estocolmo, Suécia, a primeira grande reunião de chefes de estado organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (Vlasin, 2014), reunião que ficou conhecida como a “Conferência de Estocolmo” e que serviu para tratar de questões relacionadas com a degradação do meio ambiente.

É em 1980 que surge pela primeira vez a expressão “Desenvolvimento Sustentável”, num relatório da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais, que juntamente com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Fundo Mundial para a Natureza, colabora com a Unesco na publicação da Estratégia de Conservação Mundial (IUCN, 1980).

Criada em 1983, a Comissão sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento viria a ser constituída no ano seguinte como um corpo independente pela Assembleia Geral da ONU, com o objetivo de formular “Uma Agenda Global para a Mudança”. Esta Comissão, em 1987 no relatório *Our Common Future*, Relatório de Brundtland, contribuiu para a compreensão da relação entre a

economia e o meio ambiente, tendo sido este mesmo relatório que apontou “*as causas fundamentais da insustentabilidade do desenvolvimento e das crises ambientais*”, introduziu critérios de justiça social e de proteção do ambiente e, acima de tudo, colocou na agenda política o conceito de Desenvolvimento Sustentável - “*É a capacidade de satisfazer as próprias necessidades sem reduzir as oportunidades das gerações futuras*” (WCED, 1987).

Em 1992, na Cimeira da Terra ou Rio-92 nasce a “Agenda 21”, sendo consagrado o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Nesta conferência e no que diz diretamente respeito aos edifícios, surge o documento “Agenda 21 para a Construção Sustentável”, onde se estabelece a necessidade do compromisso e reflexão de cada país, sobre a forma como podem contribuir tanto local como globalmente para uma cooperação no estudo de soluções para os problemas sociais e ambientais. Foi também este documento que definiu que para o setor da construção o maior desafio seria “*melhorar os parâmetros ambientais e repensar o processo da construção na perspetiva do desenvolvimento sustentável*” (Agenda 21, 1992).

É em 1994 que Charles Kibert, na primeira Conferência Internacional de Construção Sustentável, em Tampa, Estados Unidos da América, define construção sustentável como a “*criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos*”, descrevendo também os princípios básicos da construção sustentável, dos quais se destaca a consciência da atuação em todas as fases do ciclo de vida.

Em 1997, o Protocolo de Kyoto, Japão (UN, 2013), foi o primeiro tratado jurídico internacional com a pretensão de limitação das emissões de gases que agravam o efeito de estufa para a atmosfera por parte dos países desenvolvidos, constituindo-se assim com compromissos mais rígidos para atingir esse objetivo.

Em 2002, sob a coordenação da ONU, realizou-se em Joanesburgo, África do Sul, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, também conhecida como “Rio + 10” por marcar os dez anos da última grande conferência da ONU (UN, 2002), o Rio-92.

No ano de 2012 teve lugar a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS) - “Rio+20”, no Rio de Janeiro, Brasil, que estabeleceu, como resultado do documento “*O Futuro que Queremos*” ali elaborado, o grupo de trabalho que viria a apresentar um conjunto de dezassete objetivos específicos de desenvolvimento sustentável e 169 metas a eles associadas (UN, 2012).

Em setembro de 2015 realizou-se um encontro em Nova York, Cúpula da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável, onde foram discutidos em Assembleia Geral da ONU, os novos objetivos de desenvolvimento sustentável (UN, 2015a). Como resultado surgiu a agenda 2030 de desenvolvimento sustentável da ONU, como parte de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável de forma a que se consigam melhoras a nível mundial nessas questões (UN, 2015b). Destes destaca-se, na área da construção civil, a Diretiva 2010/31/UE, alterada pela Diretiva

2018/844/UE sobre o desempenho energético dos edifícios, que obrigou a que, a partir de 1 de janeiro de 2019, em novos edifícios públicos, e de dia 1 de janeiro de 2021 em novos edifícios particulares, seja implementado o *nearly zero energy buildings* (NZEB), ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Mais recentemente, em dezembro de 2019, realizou-se em Madrid a COP 25. Esta conferência, inicialmente programada para decorrer no Chile e que, por motivos alheios à mesma teve que ver o local de realização alterado, foi projetada para determinar os próximos passos a dar para a consolidação do processo de mudança climática da ONU, nomeadamente a conclusão de questões relacionadas com a implementação do Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas, *Paris Climate Change Conference*, em Novembro de 2015, que viu as suas diretrizes aceites na COP 24 na Polónia, *Katowice Climate Change Conference*, dezembro de 2018.

Esta conferência serviu ainda para propor objetivos a atingir até ao fim de 2020, ano em que os países se comprometeram a apresentar planos nacionais de ação climática atualizados em várias áreas, nomeadamente nas cidades, finanças, florestas e agricultura, oceanos e género, perdas e danos, povos indígenas e tecnologia.

No caso de Portugal, a estratégia de longo prazo assumida em conformidade com o já referido acordo de Paris com o compromisso de atingir a neutralidade das suas emissões até ao final de 2050, implica a redução significativa das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e ainda o aumento expressivo dos sumidouros nacionais, a agricultura e a floresta.

Para atingir esse objetivo foi desenvolvido o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RCN 2050) (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019), onde são identificados para cada setor da economia as medidas e as opções de políticas a desenvolver.

Para o setor da construção civil em particular, o RCN 2050 prevê uma atuação ao nível da operação dos edifícios e também ao nível dos materiais que estes incorporam:

- No primeiro caso, sendo os setores residenciais e de serviços responsáveis pelo consumo de cerca de 30% de energia final e dois dos maiores emissores de CO<sub>2</sub>, a atuação será ao nível da reabilitação urbana; esta incidirá no reforço do conforto térmico das habitações, tanto em termos de aquecimento como de arrefecimento, e na melhoria da eficiência energética pela utilização de equipamentos elétricos de elevado desempenho e de classes de maior eficiência energética, com a incorporação de materiais de baixo carbono e fontes de energia renovável (Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto);
- Relativamente ao segundo caso, a descarbonização assenta sobretudo na significativa eletrificação associada à modernização do processo produtivo e à competição com a introdução de outros materiais, de onde se destacam a madeira, a cortiça e os nanomateriais, tendo estes últimas aplicações na produção de produtos cimentícios, aço, materiais de isolamento térmico, revestimentos e painéis solares (Broekhuizen e Broekhuizen, 2009 citado por Modesto, 2017).

Também a maior utilização de matéria-prima secundária, nomeadamente o fabrico de fibras sintéticas/artificiais e bioplásticos e a reutilização desempenharão um papel fundamental na prossecução destes objetivos, ficando em particular no caso do cimento a descarbonização a dever-se à redução da incorporação de clinker na sua produção e à incorporação de combustíveis alternativos, tais como combustíveis derivados de resíduos vegetais e outros (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Por princípio, os materiais selecionados devem ter uma baixa energia incorporada e elevadas durabilidades e taxas de reutilização. Deve, sempre que possível, ser dada preferência à utilização de materiais que provenham de fontes renováveis, associados a baixos níveis de emissões de gases e que permitam uma análise do seu ciclo de vida (Nunes, 2015).

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), utilizada pela primeira vez em 1990 nos Estados Unidos da América (EUA), tornou-se desde essa data uma atividade com grande crescimento, não apenas nos EUA mas também na Europa, tendo inclusivamente a Organização Internacional para a Normalização, com a criação em 1992 de um comité técnico para a normalização de abordagens de gestão ambiental, produzido e publicado até à data várias normas relacionadas com a mesma. Esta análise, tendo começado por ser um método simples de comparação entre produtos em que se consideram o fabrico e a aquisição de matéria-prima, a utilização e a manutenção, a deposição final e potenciais impactes para o ambiente e para a saúde humana de um determinado sistema ao longo do seu ciclo de vida, é nos dias de hoje tida como parte fundamental para atingir objetivos de sustentabilidade (Ferreira, 2004).

Pelo impacto significativo exercido pelo setor da construção civil, qualquer otimização conseguida em qualquer das diversas fases do processo construtivo promove uma maior eficiência ambiental.

Estas opções, garantidos que estejam os requisitos de cumprimento da função para que foram projetados, podem ser tomadas tanto ao nível da escolha dos materiais como dos próprios processos construtivos, considerando as diferentes consequências ambientais representadas por cada uma das opções ao longo de todo o seu ciclo de vida, nomeadamente a produção de matérias-primas, a fase construtiva, desde transporte de materiais até ao acabamento final da estrutura, a fase de uso e as fases de inutilização, renovação ou demolição.

A ACV no setor da construção civil é um processo particularmente complexo na medida em que, contrariamente a produtos industriais, tendencialmente tratados individualmente e com vida útil relativamente curta, as obras de engenharia são projetadas para terem vidas úteis de várias décadas ou até mesmo de séculos, além de que estas últimas são um somatório não apenas dos materiais que as integram, mas de processos e fases construtivas que terão que ser também elas sujeitas a processos de ACV (Soares et al, 2006). Por outro lado, a sustentabilidade na construção civil não se resume aos materiais e processos construtivos utilizados; questões como o ambiente em que os edifícios serão implementados, a sua geometria e orientação solar,

desempenham um papel crucial, devendo estas ser cuidadosamente equacionados pelo seu grande contributo para a obtenção dos padrões de sustentabilidade ambicionados. São também tidas em conta estratégias de ventilação natural e de sombreamento, bem como técnicas de construção que minimizem desperdícios de materiais, como por exemplo os telhados verdes, considerando-se ainda, sempre que possível, a reutilização dos resíduos provenientes da própria construção ou de demolições de obras que chegaram ao fim do seu tempo de vida útil (Nunes, 2015).

As primeiras referências aos telhados verdes/ajardinados utilizados já com algum desenvolvimento técnico são relativas ao ano 600 a.C., na antiga mesopotâmia, atual Iraque, onde terraços jardins cobriam os templos de pedra, coberturas que ficaram conhecidos como Jardins Suspensos da Babilónia (Figura 2-1a). Também no Império Romano se usava uma “tecnologia” de coberturas verdes nos edifícios, sendo nesse caso para cultivo de árvores. Exemplos disso são os mausoléus de Augusto e de Adriano.

Os Vikings, para se protegerem de condições climatéricas adversas, utilizavam coberturas de relva nas paredes e nas coberturas das suas habitações (Araújo, 2007) (Figura 2-1b).

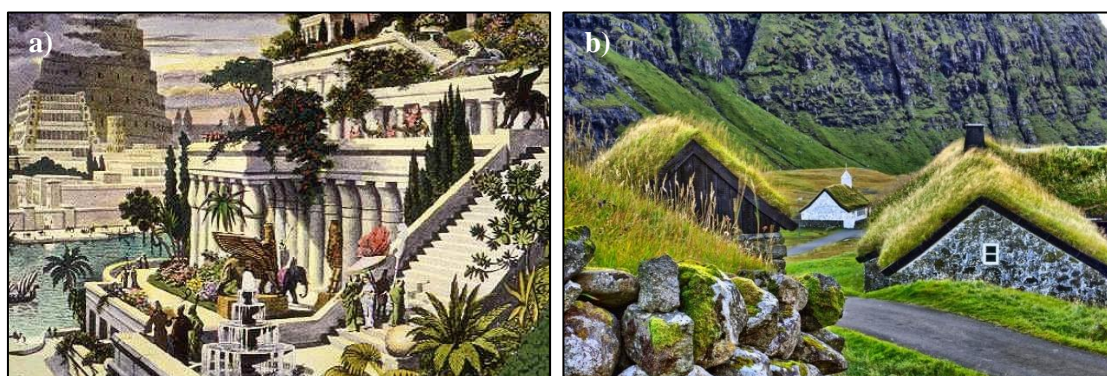


Figura 2-1 - Coberturas ajardinadas: a) Jardins Suspensos da Babilónia (Nascimento, 2008 citado por Willes, 2014); b) Habitações Vikings, Islândia (ecotelhado.com, consultado em novembro de 2020)

O principal benefício dessas técnicas seria as boas características de isolamento térmico que proporcionava, uma vez que não existiam ainda nessa altura tecnologias construtivas capazes de garantir estabilidade de temperaturas dentro das habitações.

No renascimento, na cidade de Génova, Itália, os tetos das casas com vegetação eram comuns (Callaghan, 1999). No século XVII, existiam exemplos de telhados com vegetação em algumas cidades espanholas e a partir daí o mesmo começou a passar-se em cidades francesas bem como por toda a Escandinávia, sendo esta prática inclusivamente considerada como cultural e popular (Araújo, 2007).

Apesar dos factos descritos, os telhados verdes enquanto conceito arquitetónico, apenas foi definido em 1920, pelo arquiteto Charles-Edouard Jeanneret-Gris, mais conhecido como Le

Corbusier. Este arquiteto modernista desenvolveu a ideia de terraços jardins com a dupla intenção de diminuir a pegada ambiental causada pela construção civil e proporcionar uma maior qualidade de vida às pessoas através de áreas de lazer verdes (Nascimento, 2008).

Na década de 1960, com as crescentes preocupações com a destruição do meio ambiente, renovou-se o interesse pelos telhados verdes no Norte da Europa.

## 2.2 Estratégias bioclimáticas passivas e a sua contribuição

A envolvente dos edifícios, com as coberturas em particular, são áreas de atuação para as quais têm sido desenvolvidas soluções que proporcionam economias significativas de energia. Estas englobam a melhoria das condições térmicas internas dos próprios edifícios, podendo por vezes recorrer às tecnologias de refrigeração. Porém, são consideradas estratégias bioclimáticas passivas quando não existe qualquer necessidade de intervenção mecânica, designado-se neste caso estratégias ativas.

Diferentes tecnologias construtivas têm sido desenvolvidas, ganhando estas cada vez maior expressão ao nível da redução do impacto que os edifícios têm sobre o ambiente.

Algumas dessas soluções passam pela utilização de matéria verde na envolvente dos edifícios; nas fachadas (Figura 2-2), ou nas coberturas (Figura 2-3).



Figura 2-2 - Soluções de fachada ajardinada: a) Restaurante em Campolide, Lisboa; b) Edifício hotel na Praça de Espanha, Lisboa

Seja pela utilização de materiais que aplicados nas coberturas as mantêm frias sob o sol, seja pela utilização de telhados cobertos de vegetação, estas tecnologias pretendem melhorar o desempenho energético de edifícios em diferentes latitudes.

No primeiro sistema esse objetivo é conseguido refletindo a radiação solar incidente e irradiando o calor para longe durante a noite, no segundo sistema é conseguido pela utilização de telhados cobertos de vegetação que aproveitam o isolamento térmico adicional fornecido pelo solo e a evapotranspiração para manter a cobertura fria sob o sol.



Figura 2-3 - Soluções de cobertura ajardinada: a) Edifício Sede do Santander, Lisboa; b) Edifícios da Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa

Essas duas tecnologias, apesar das diferenças que se refletem ao nível de requisitos estruturais, dos custos de manutenção inicial e ao longo de toda a sua vida útil mas também do que cada uma delas tem de impacto no desempenho energético dos edifícios onde são aplicadas, têm-se vindo a afirmar como alternativas viáveis aos sistemas tradicionais.

Com a limitação das superfícies de evapotranspiração, a temperatura média verificada nas áreas urbanas densas ao longo do ano, tanto no período diurno quanto no período noturno, é geralmente maior do que a temperatura média que se faz sentir nas áreas rurais que se encontram nas suas imediações, sendo este o fenómeno conhecido pelo efeito de ilha de calor urbana.

Este fenómeno da ilha de calor, ainda que documentado há mais de um século, tem apenas sido objeto de estudo nas últimas três décadas, onde foram verificados grandes progressos tanto na sua caracterização, nos efeitos a ele associados, e no desenvolvimento de várias tecnologias de mitigação do mesmo (Akbari e Kolokotsa, 2016). A maior temperatura média sentida especialmente em cidades compactas, induziu um aumento significativo do consumo de energia dos aparelhos de ar condicionado para o arrefecimento dos edifícios. Este fenómeno manifestou-se a vários níveis com consequências na qualidade de vida das populações a ele sujeitas, nomeadamente no que diz respeito à saúde pública. Manifestam-se também com o agravar dos riscos ambientais, seja na emissão de gases com efeito estufa para a atmosfera ou no aumento da velocidade de escoamento das águas pluviais e das consequências que este incremento tem no aumento da probabilidade de ocorrência de cheias.

As superfícies das coberturas dos edifícios representam 20 a 25% do total da área de superfície urbana, estando assim em condições de contribuir em larga escala para uma redução da temperatura superficial dessas áreas (Zinzi e Agnoli, 2012).

As cidades, com uma ocupação de cerca de 2% da área de terra do planeta, contribuem com 75% das emissões de carbono para a atmosfera e representam em média entre 60 e 80% do

consumo de energia (Meehl e Tebaldi, 2004 citado por Akbari et al, 2016), prevendo-se que em 2050 cerca de 2,5 bilhões de pessoas sejam adicionados à população urbana do mundo, com quase 95% desta expansão a ocorrer nos países em desenvolvimento (United Nations, 2014 citado por Akbari et al, 2016).

Dentro das várias técnicas de mitigação do fenómeno da ilha de calor urbana relacionadas com o edificado urbano, os telhados brancos e as coberturas ajardinadas são os mais promissores, uma vez que além de contribuírem para a diminuição do efeito ilha de calor urbana, contribuem em simultâneo para a eficiência energética dos edifícios (Kolokotsa et al, 2013).

O estudo e o desenvolvimento destas tecnologias de coberturas confirmam que estas são estratégias que podem ser efetivamente adotadas para a mitigação do efeito da ilha de calor urbana (Di Giuseppe e D’Orazio, 2015), principalmente com o simultâneo aumento das áreas de espaços verdes, nomeadamente plantação de árvores nas ruas ou aumento no número de parques nas cidades, na medida em que ficou demonstrado que estas técnicas são potenciadas quando utilizadas associadas umas às outras (Mohajerani et al, 2017).

### 2.2.1 Telhados brancos

A quantidade de energia necessária para arrefecer o ambiente interno dos edifícios durante as estações mais quentes do ano fica a dever-se ao ganho de calor feito através da envolvente dos mesmos, em particular das coberturas. Quando a radiação solar atinge uma cobertura opaca, ou é absorvida ou é refletida e, qualquer processo que limite o ganho de calor nas estações quentes do ano resultará numa diminuição dos custos com a energia necessária para arrefecimento, além da redução do impacte ambiental global do edifício.

A refletividade solar e a emissividade térmica são as propriedades da superfície dos materiais aplicados que vão ter maior influência na temperatura que as coberturas vão atingir. Quanto maior for a refletividade da superfície da cobertura, menor será a quantidade de energia absorvida pela mesma (Dabaieh et al, 2015).

Enquanto os telhados tradicionais em Portugal, mais escuros e grande percentagem em telha cerâmica, absorvem a energia do sol, os brancos, pelo efeito de reflexão dos raios solares que apresentam, além de dispersarem o calor e manterem a temperatura interior mais fresca, aquecem eles próprios muito menos, sendo por isso também designados por telhados frios (Berdahl et al, 2007).

Com as diminuições de temperatura no interior dos edifícios que estas coberturas induzem e a sua subsequente redução do consumo de energia pelos sistemas de refrigeração, vem também por acréscimo uma diminuição da emissão de gases com efeito estufa, sendo que numa escala maior, estes telhados acabam por amenizar a temperatura do ar em redor dos edifícios, mitigando o efeito de ilha de calor urbana (Hosseini e Akbari, 2016).

Pelo impacto que os materiais utilizados no tecido urbano desempenham para a obtenção de equilíbrio térmico, o uso de “materiais frios” na construção, coberturas em particular, reveste-se de extrema importância, uma vez que contribui para o aumento do albedo urbano e mitigação do referido fenómeno de ilha de calor urbana pela manutenção das temperaturas das superfícies mais baixas (Dimoudi e Nikolopoulou, 2003 citado por Akbari et al, 2016).

Através de estudos de simulação, concluiu-se que na maioria das regiões onde é necessária a utilização de ar condicionado no verão, a aplicação de um telhado frio terá como consequência a diminuição dos gastos anuais de energia (Konopacki et al, 1997), uma vez que a economia no consumo de energia para arrefecimento durante a estação quente supera largamente o aumento da energia necessária para aquecimento durante a estação fria (Gao et al, 2017).

No entanto, usar um telhado frio em climas frios não é normalmente sugerido sem antes se fazer uma avaliação do sistema em causa para se perceber se os custos associados ao aquecimento não vão ser superiores à economia de energia que se vai conseguir no arrefecimento (Oleson et al, 2010).

A eficácia desta solução construtiva depende fundamentalmente da refletividade solar a ela associada, diminuindo esta ao longo do tempo pela exposição das coberturas aos agentes climáticos a que se encontram naturalmente sujeitas, nomeadamente ao acumular das partículas de fuligem produzidas pela combustão de combustíveis fósseis e biomassa (Dabaieh et al, 2015). Outra das vantagens apontadas ao uso de soluções desta natureza é o aumento da vida útil das coberturas, na medida em que estas ficam mais protegidas não apenas contra as condições climáticas adversas, mas também contra a proliferação de fungos e de vegetação.

Relativamente às soluções de telhados brancos são várias as possibilidades disponíveis no mercado, podendo as mesmas ir desde revestimentos aplicados diretamente, tintas e membranas, até betumes reforçados, ladrilhos, telhas asfálticas ou betuminosas e telhados metálicos pré-pintados (Dimoudi e Nikolopoulou, 2003 citado por Akbari et al, 2016).

Assim, tendo presente que algumas destas soluções, sendo poluentes por si só ou onde terão de se utilizar materiais complementares para uma utilização tecnicamente adequada, também eles poluentes, torna-se fundamental uma análise objetiva das vantagens e inconvenientes para aferição da adequabilidade de aplicação das mesmas.

### 2.2.2 Coberturas ajardinadas

Cobertura ajardinada é a designação dada aos telhados que integram nos seus elementos construtivos vegetação, podendo eventualmente ser projectadas como espaços ecológicos e/ou de lazer. Estas soluções podem integrar coberturas de edifícios com vários pisos ou ser encontradas ao nível do solo, servindo geralmente assim de coberturas a estacionamentos subterrâneos (Allnut et al, 2014). Estas coberturas, além do aumento do isolamento térmico que

promovem, reduzem as necessidades de consumo de energia global com as diminuições de variações de temperatura que induzem, proporcionando assim reduções nas emissões de gases com efeito de estufa e consequente melhoria da qualidade do ar ambiente (Kolokotroni et al, 2016). Com contribuições para redução da velocidade de escoamento superficial na ordem dos 50 a 90% em função do tipo de vegetação e da espessura da camada de terra adotadas, estas soluções contribuem em grande medida para o aumento da retenção da água das chuvas e a diminuição da quantidade das mesmas nos sistemas de drenagens públicos, podendo ainda ser combinadas com modernos sistemas de aproveitamento de águas - cisternas e/ou reservatórios subterrâneos - para utilização em sistemas de rega. Outra das grandes vantagens destes sistemas, com a manutenção adequada, é o aumento da resistência à propagação de incêndios, em particular no sistema extensivo, com menor exposição de matéria orgânica mas maiores percentagens de água.

Não menos importantes são as vantagens conseguidas em termos de vida útil destas soluções construtivas; enquanto nos sistemas tradicionais a durabilidade expectável se situa entre os dez e os quinze anos, nestes, pela proteção que proporcionada às membranas contra as flutuações de temperatura e exposição à radiação ultravioleta, bem como pela barreira de proteção mecânica contra as ações adversas exteriores, a sua durabilidade pode ser aumentada para além dos quarenta anos (Pinto, 2014).

Este tipo de cobertura encontra-se tradicionalmente em edifícios com telhados planos, mas também pode ser utilizada em telhados com inclinação. As coberturas inclinadas tiveram origem na Islândia (Figura 2-4) onde, por razões térmicas, tanto os telhados como as paredes com cobertura vegetal foram usados durante séculos, tendo-se posteriormente difundido o conceito pelos países escandinavos.

Os telhados planos e inclinados têm sido alvo de incentivos a nível internacional para se atingir a redução dos consumos de energia que permitam cumprir as metas ambientais internacionalmente definidas, garantindo em paralelo que as expectativas de conforto dos ocupantes não sejam postas em causa (Zinzi e Agnoli, 2012). Esses incentivos passam pela elaboração e aprovação de legislação que define as condições de aplicação e as exigências, por exemplo, de utilização destes sistemas construtivos em edifícios do Estado, bem como benefícios fiscais para a instalação em edifícios particulares (Behm, 2012).



Figura 2-4 - Turf house (telhado inclinado), Husavik, Islândia (Regent Iceland, 2006 citado por Nascimento, 2008)

As melhorias das condições térmicas introduzidas por estes sistemas vão para além das internas dos edifícios, afetando também o clima da própria cidade pela sua ação na minimização dos problemas ambientais associados ao efeito de ilha de calor urbano, através do sombreamento, arrefecimento e evapotranspiração proporcionados pela vegetação utilizada (Rizwan et al, 2008 citado por Behm, 2012).

As áreas de vegetação nas cidades, além da mitigação do fenómeno anteriormente referido, servem funções ambientais e ecológicas múltiplas e essenciais, tais como a remoção de partículas e de poluentes atmosféricos gasosos, contribuindo em larga escala para a melhoria da qualidade do ar (Li et al, 2010 citado por Behm, 2012). Com o aumento da densidade de construção verifica-se o correspondente crescimento da área de superfície impermeabilizada e consequente diminuição dos espaços verdes disponíveis nas cidades. Esta diminuição tem implicações diretas na substituição de habitats naturais por superfícies artificiais rígidas que absorvem muito maior quantidade de radiação solar e reduzem drasticamente a capacidade de infiltração das águas pluviais, aumentando assim a velocidade de escoamento destas com acréscimo do risco de inundações (Jim e Tsang, 2011).

Os telhados ajardinados podem capturar essas águas e reutilizá-las para irrigação ou uso doméstico, reduzindo dessa forma a pressão sobre os sistemas de drenagem urbana, o custo da infraestrutura e o risco de inundações (Hilten et al, 2008 citado por Behm, 2012).

Estas soluções providenciam *habitats* protegidos para as fauna e flora locais permitindo alargar a utilidade desses espaços e constituindo-se como mais valias do ponto de vista arquitetónico pelos espaços de lazer utilizável que criam (Akbari et al, 2016), sendo utilizadas para valorização dos próprios edifícios públicos, onde se aliam lazer e recreação com cultura (Figura 2-5).



Figura 2-5 - Cobertura ajardinada: a) Edifício do Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia (MAAT), Lisboa; b) Campus da justiça, Lisboa

O substrato e a vegetação também contribuem para o isolamento acústico dos edifícios, pela sua capacidade de absorção tanto de baixas como de altas frequências.

Relativamente ao isolamento térmico estas coberturas superam as convencionais, ficando as cargas térmicas devidas à radiação solar e à temperatura do ar limitadas pela camada de vegetação antes de entrar nos edifícios, sendo ainda a camada de solo responsável por um isolamento adicional do telhado do edifício.

As características da vegetação afetam também a convecção e a transferência de calor por radiação através da superfície do telhado, contribuindo o teor de água para o aumento da inércia térmica da estrutura (Zinzi e Agnoli, 2012).

São três os tipos de sistemas de telhados ajardinados - extensivo, semi-intensivo e intensivo (Theodosiou, 2009 citado por Akbari et al, 2016) - e, ainda que para a materialização de qualquer um deles se encontrem os mesmos componentes, alguns destes apresentam-se em diferentes espessuras, verificando-se também diferenças relativamente aos custos associados e ao tipo de vegetação que cada um deles suporta (Figura 2-6).

Os telhados ajardinados extensivos (Figura 2-7) são os mais leves e de uma forma geral mais económicos. Projetados como camada de proteção ecológica, caracterizam-se pela pouca diversidade de plantas que comportam - sedum, ervas e gramíneas - e pela manutenção mínima que normalmente requerem, além do seu baixo peso devido à espessura reduzida da camada de substrato - 50 a 150 mm.

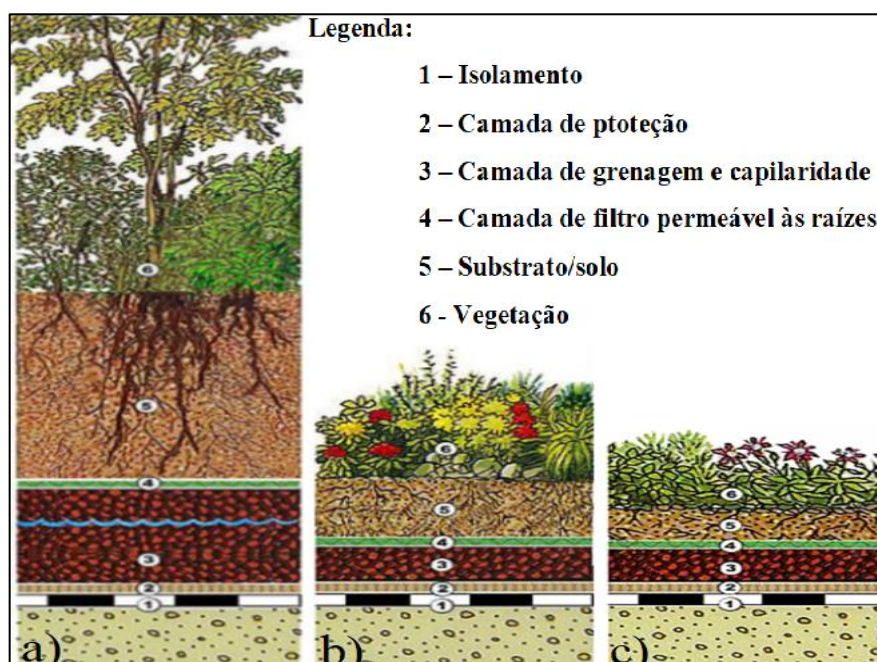


Figura 2-6 - Coberturas ajardinadas (Savi, 2012): a) Sistema intensivo, b) Sistema semi-intensivo; c) Sistema extensivo

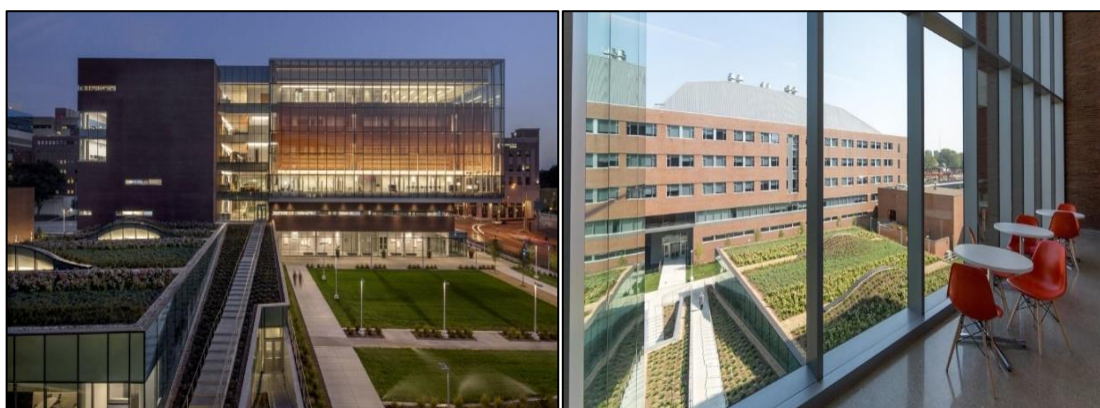


Figura 2-7 - Telhados ajardinados extensivos: Health Education Building, Kansas City (greenroofs.org, consultado em novembro de 2020)

Um telhado ajardinado intensivo é semelhante a um jardim tradicional, com acessibilidade à circulação de pessoas para utilização de lazer (Figura 2-8). Tem aptidão para suportar uma maior diversidade de espécies de plantas - arbustos e árvores - devido à profundidade dos seus solos que pode variar entre os 200 e os 600 mm, o que por seu lado implica um nível de manutenção regular, tanto em fertilização como em sistemas de rega (Friedman, 2012).

Os telhados ajardinados semi-intensivos (Figura 2-9) podem ser considerados como uma solução intermédia entre os dois anteriormente referidos; com profundidades de solo que variam entre os 120 e os 250 mm e capacidade para suporte de plantas que podem ir até arbustos, estas soluções exigem níveis de manutenção e de irrigação periódicos.



Figura 2-8 - Wild Gardens in Manhattan, New York City (greenroofs.org, consultado em novembro de 2020)

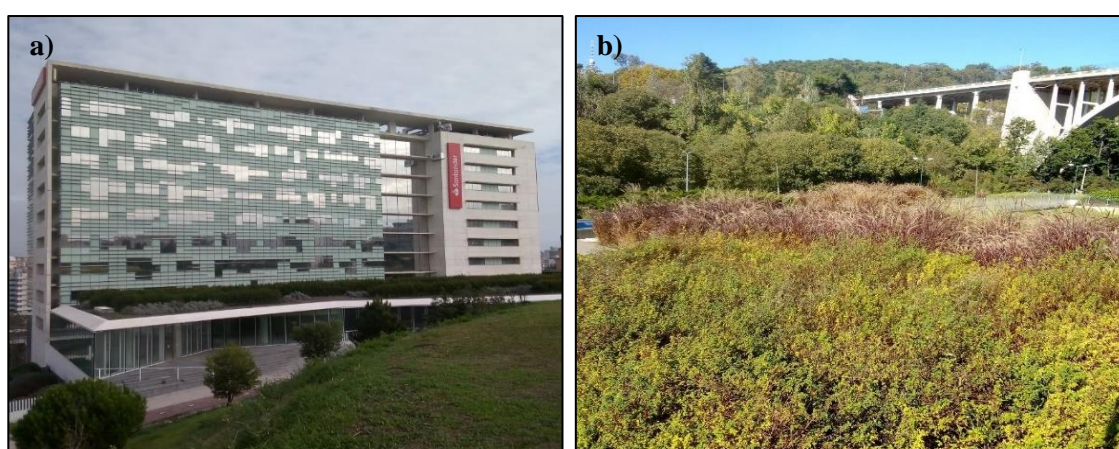


Figura 2-9 - Telhados ajardinados semi-intensivos: a) Edifício sede do Santander, Lisboa; b) Cobertura da Fábrica de Água de Alcântara, Lisboa

Relativamente ao consumo de energia, se para aquecimento os valores são semelhantes em qualquer das soluções de cobertura ajardinada, para arrefecimento o sistema extensivo será mais penalizador do que os restantes. No geral, os consumos de energia dos sistemas semi-intensivo e intensivo é de 60 a 70% inferior ao das coberturas tradicionais (Silva et al, 2016).

Por outro lado, como ponto mais penalizador destes sistemas construtivos destaca-se o facto de serem mais onerosos do que as soluções tradicionais; seja na construção/instalação, com utilização de mão de obra especializada, seja na manutenção, em particular nos sistemas intensivo e semi-intensivo.

Na construção/instalação pesam questões como a eventual necessidade de aumento de resistência da estrutura para suporte da carga acrescida e instalação de sistemas de escoamento mais complexos, enquanto na manutenção, se pretende evitar degradação do sistema estrutural pelo crescimento descontrolado da vegetação, em particular a danificação das camadas de impermeabilização pelas raízes.

Estes sistemas podem também ser mais penalizados do que os sistemas tradicionais em relação à questão da localização pelas condições climáticas existentes; zonas com muito vento ou ainda com muito baixa precipitação podem agravar as condições de operação ou mesmo inibir a instalação destes sistemas, pelo aumento dos custos associados.

### **2.3 Estratégias bioclimáticas ativas e a sua contribuição**

A arquitetura bioclimática, também conhecida como de alta eficiência energética, consiste na projeção de edifícios que contribuem para a redução do consumo de energia e minimização do impacto ambiental. Este contributo, para além das estratégias bioclimáticas passivas anteriormente referidas, é também conseguido através da integração de dispositivos e equipamentos que atuam ativamente para esse fim, nomeadamente os sistemas solares térmico e fotovoltaico, para aquecimento de águas e para produção de energia elétrica, respetivamente (Cintra, 2012).

As atuais diretivas visam reduzir a emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera e o aumento da incorporação de energias renováveis bem como a melhoria da eficiência energética (Freire, 2017). A maior parte das energias renováveis, eólica, energia das marés, geotérmica ou solar, são convertidas em energia elétrica que entra diretamente na rede ou é aplicada em pontos isolados da edificação (Singh, 2013).

A energia solar em particular, teoricamente inesgotável e limpa e com uma quantidade intercetada pelo nosso planeta muito superior à necessária para suprir todo o consumo atual de energia, tem sido amplamente pesquisada, conseguindo-se atualmente uma melhoria significativa ao nível do seu desempenho (Parida et al, 2011).

Dentro destas tecnologias destacam-se as energias solar térmica e fotovoltaica, capazes de contribuições significativas para a mitigação de algumas das questões energéticas mais urgentes da atualidade: a primeira, utilizando o sol como fonte direta de energia térmica para aquecimento de águas bem como apoio ao aquecimento do ambiente nos edifícios; a segunda, através da conversão direta ou indireta da luz do sol em eletricidade.

A principal vantagem destas tecnologias é a capacidade dos sistemas se manterem em funcionamento por longos períodos de tempo sem necessidade de supervisão ou de manutenção, que aliadas à elevada vida útil dos elementos que as compõem e às suas elevadas fiabilidades são garantias importantes, principalmente quando estes equipamentos são colocados em zonas remotas. Por outro lado, o principal fator limitador do uso da energia solar é o facto de esta ser cíclica, tornando-se necessário que o sistema tenha capacidade de armazenamento para poder continuar a fornecer energia na ausência de insolação (Singh, 2013).

Recentemente tem-se apostado na integração de painéis solares térmicos com módulos fotovoltaicos, sistemas mistos, com a principal vantagem comparativamente com os sistemas

tradicionalmente montados em separado de estes coletores - PV/T - podem fornecer energia elétrica e térmica em simultâneo (Al-Waeli et al, 2017).

Numa outra vertente de desenvolvimento surgem sistemas que consistem em combinar pelo menos dois processos diferentes de geração de energia, podendo estas combinações ser feitas entre uma fonte renovável e uma outra convencional, ou entre duas fontes de energia renováveis (Figura 2-10).

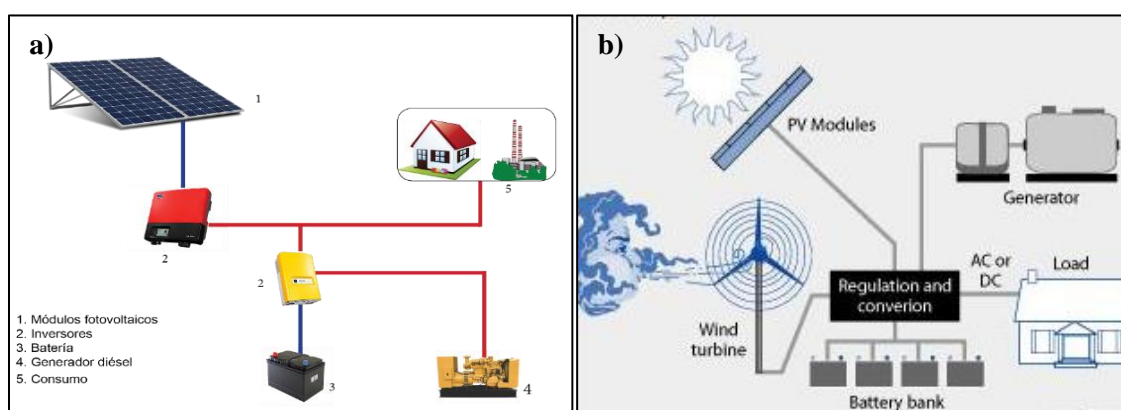


Figura 2-10 - Sistemas híbridos: a) Fotovoltaico e combustão (sitecnosolar.com/pt/, consultado em novembro de 2020); b) Fotovoltaico e eólico (energy.gov, consultado em novembro de 2020)

A energia solar fotovoltaica tem vindo a ter um impacto cada vez mais significativo na produção de energia elétrica, no entanto ainda com um peso muito inferior ao das energias eólica e hídrica; exemplo disso são os sistemas solares habitacionais, as bombas de rega e as tecnologias de coletor fotovoltaico e térmico (Parida et al, 2011). Tem também vindo a ganhar expressão o conceito de arquitetura solar, integração do sistema solar fotovoltaico em edifícios, com a substituição de elementos das fachadas ou de cobertura, por módulos fotovoltaicos ou por materiais que incorporam eles mesmos essas propriedades fotovoltaicas, como no caso do vidro (Figura 2-11). Estes, além das vantagens nos custos são arquitetonicamente mais atraentes, obtendo este conceito vantagens mais expressivas quando envolve grandes sistemas fotovoltaicos ligados em rede, tal como acontece em área urbana (Fara et al, 2010).

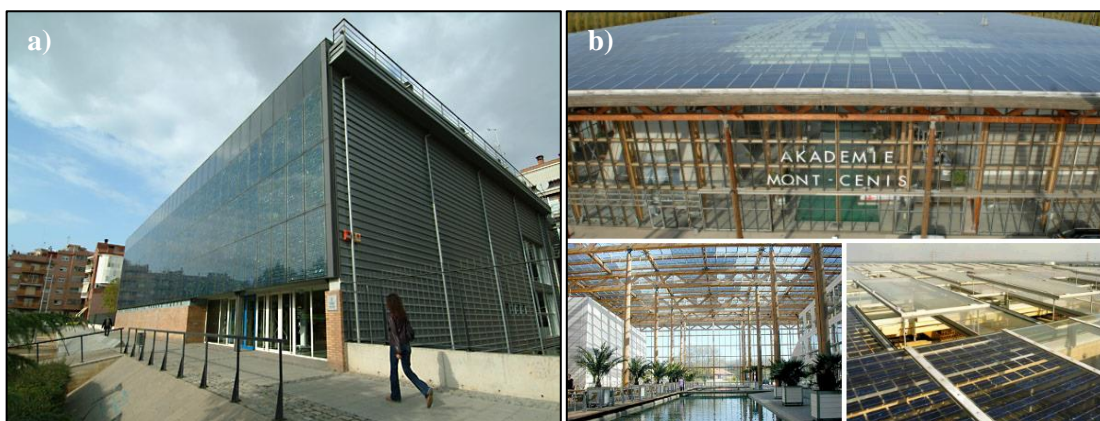


Figura 2-11 - Arquitetura solar (sustentarqui.com.br, consultado em junho de 2020): a) Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró, Catalunha, Espanha; b) Academia Mont-Cenis, Herne Sodingen, Alemanha

### 2.3.1 Energia solar térmica

Os sistemas solares térmicos podem ser de vários tipos em função das suas dimensões e aplicações. A utilização mais comum e difundida destes sistemas, pela sua simplicidade e aplicabilidade em situações para as quais o abastecimento de combustíveis tradicionais se torna economicamente inviável, é o aquecimento de águas (Cerveira, 2012).

Podem ser também utilizados para a produção de energia elétrica, sistema termoeletrico de concentração solar (Figura 2-12), sendo a radiação solar convertida em energia térmica através de concentradores solares e posteriormente convertida em energia elétrica por meio de sistemas térmicos convencionais com turbinas e geradores (Silva, 2013).

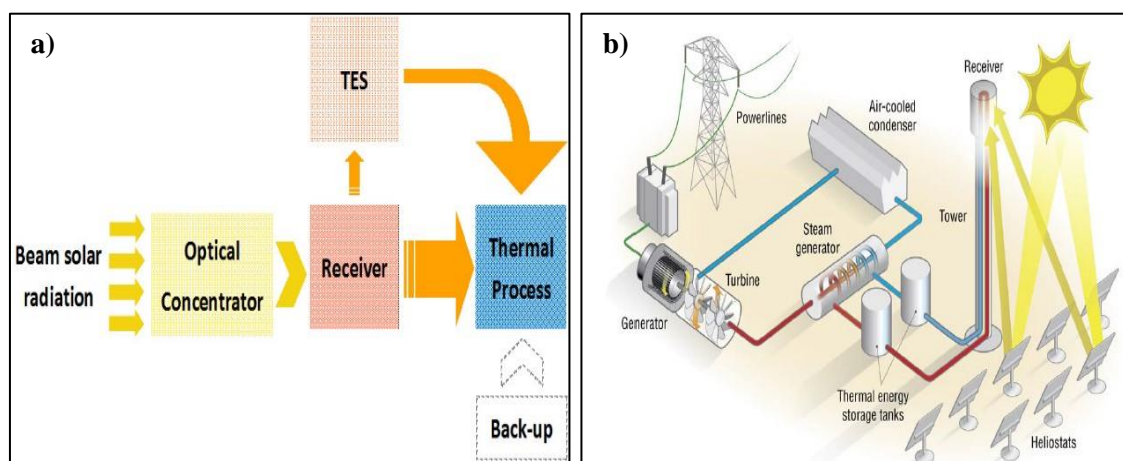


Figura 2-12 – Sistema térmico de concentração solar: a) Princípio esquemático do sistema (newsol.uevora.pt/pt-pt/, consultado em agosto de 2020); b) Componentes do sistema (hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/, consultado em junho 2019)

O elemento fundamental destes sistemas são os painéis solares, que têm como função a captação e posterior conversão da luz solar em calor que transferem, através do fluido de transferência, para o resto do sistema.

O calor deste fluido é, por intermédio do permutador de calor, transferido do circuito primário para o circuito secundário, onde está o acumulador de água quente destinada a consumo. Para a manutenção da temperatura da água no acumulador e para fazer arrancar o sistema de apoio sempre que o sistema solar não conseguir garantir a satisfação das necessidades de consumo, existe uma central de controlo; esta, através da incorporação de um controlador diferencial, aciona a bomba de circulação - sistema de circulação forçada - quando se atinge o diferencial de temperatura pré-estabelecido.

Relativamente aos coletores, existem fundamentalmente três tipos (Figura 2-13):

- Planos (simples vitrificados, seletivos ou sem vidro de cobertura), isolados ou em conjuntos de coletores ligados entre si para aquecimento de grandes quantidades de água;
- Parabólicos concentradores compostos, envolvidos com espelhos refletores de forma concêntrica, obtêm um rendimento elevado independentemente do grau de incidência da radiação solar;
- Tubos de vácuo, constituídos por conjuntos de dois tubos de vidro, um dentro do outro, selados a vácuo.

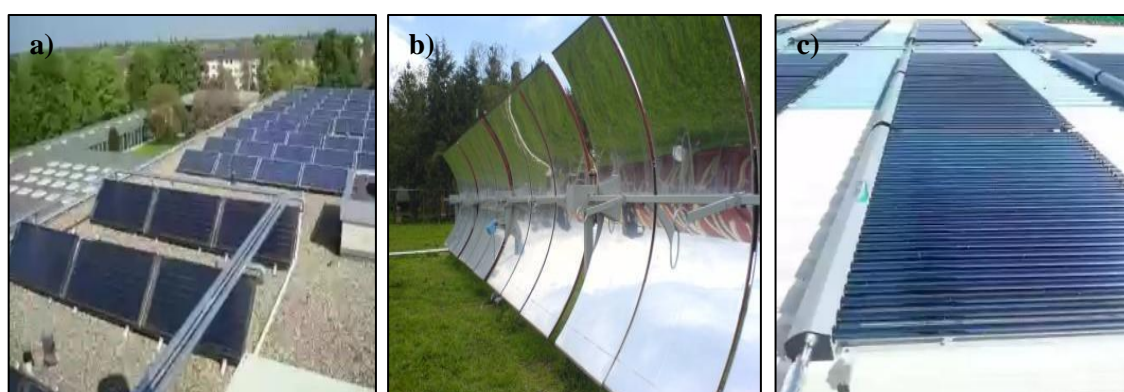


Figura 2-13 - Coletores dos sistemas solares térmicos: a) Plano, b) Parabólico concentrador composto, c) Tubos de vácuo (pt.solar-energia.net/, consultado em setembro de 2020)

Alguns dos eventos - incêndios - ocorridos nestes sistemas tiveram início nos módulos solares, normalmente devido a problemas com os materiais aplicados no isolamento, o que alertou para a necessidade de melhorias no *design* destes elementos bem como na sua capacidade de resistir ao calor e às condições meteorológicas a que estarão sujeitos em operação.

### 2.3.2 Energia solar fotovoltaica

Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica são classificados pela quantidade de energia elétrica que devem ser capazes de fornecer em situações ótimas, quando o sol incide diretamente nas placas num dia sem nuvens, e compostos por unidades fotovoltaicas, inversor, cabos condutores e circuitos elétricos e, eventualmente, baterias.

O efeito fotovoltaico é a base da conversão de luz em eletricidade que ocorre em células solares fotovoltaicas. Estas transformam a energia solar em elétrica diretamente, podendo esta energia ser imediatamente utilizada, sistemas ligados à rede ou a edifícios, ou então armazenada em baterias, garantindo estas a utilização do sistema nos períodos em que não há sol, sistemas autônomos (Sayegh, Khayata e Nahhas, 2011) (Figura 2-14).

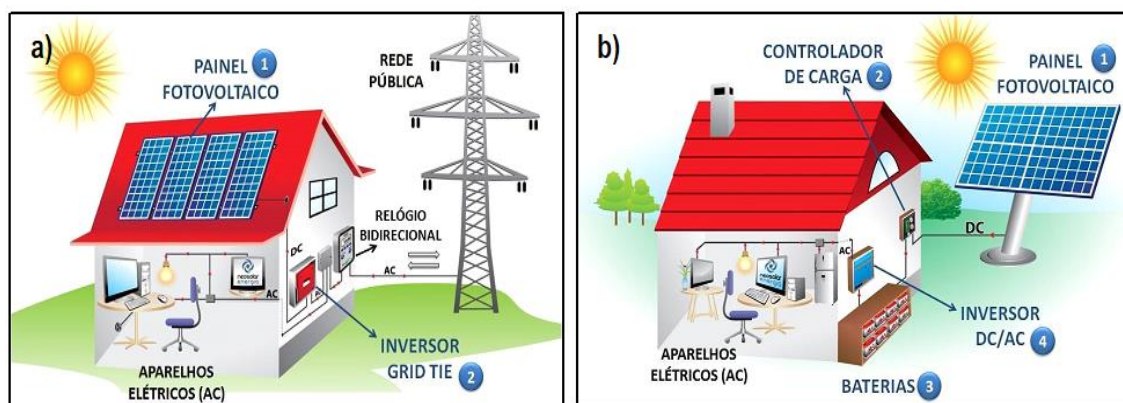


Figura 2-14 - Utilização da energia elétrica produzida: a) Diretamente; b) Armazenada em baterias (www.neosolar.com.br, consultado em setembro de 2020)

Esta tecnologia só utiliza componentes sólidos e está completamente confinada, não envolvendo partes móveis, fluidos ou qualquer tipo de consumo de materiais.

A eficiência da conversão de energia depende principalmente dos painéis fotovoltaicos, mas depende também das condições climáticas, nomeadamente o nível de irradiação, a temperatura e os sombreamentos naturais, como por exemplo a nebulosidade.

Os sistemas fotovoltaicos concentram a luz solar numa área pequena de células fotovoltaicas através da utilização de uma grande área de lentes ou de espelhos, melhorando o seu desempenho com a utilização de processos de rastreamento que podem ser de eixo duplo ou de eixo único, podendo estes ser polares ou horizontais (Figura 2-15).

Podem ainda ser utilizados rastreadores de ponto de potência máxima, que garantem a operação ótima para as diferentes condições ambientais, garantindo também que a quantidade de corrente para operação é a correta (Singh, 2013).

A energia gerada por tecnologia fotovoltaica, apesar de ter como grandes pontos a favor o facto de estar disponível em toda a parte, ser limpa, inesgotável, praticamente dispensar manutenção e ser adequada para aplicações fora da rede, tem como desvantagem o custo de fabrico e a eficiência relativamente baixa, não estando por esses motivos ainda em condições de poder proporcionar a substituição de instalações geradoras de energia convencionais, como sejam por exemplo as de gás e de energia nuclear (Ju et al, 2019).

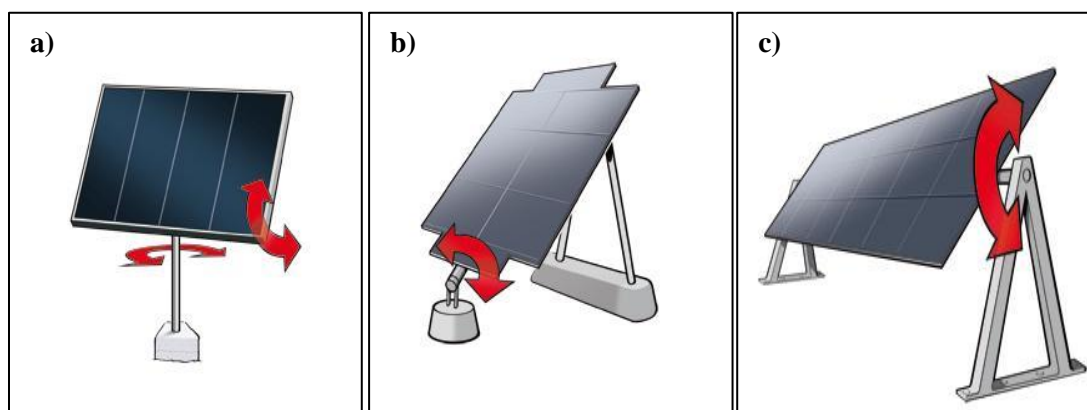


Figura 2-15 Rastreamento solar: a) Eixo duplo; b) Eixo único polar; c) Eixo único horizontal  
([www.solarchoice.net.au/](http://www.solarchoice.net.au/), consultado em setembro de 2020)

A instalação dos painéis pode ser feita em simultâneo com a aplicação de outras tecnologias “verdes” para se potenciarem dessa forma os resultados do sistema. Exemplos dessas soluções são a instalação de painéis solares em coberturas ajardinadas ou ainda em telhados brancos (Figura 2-16).

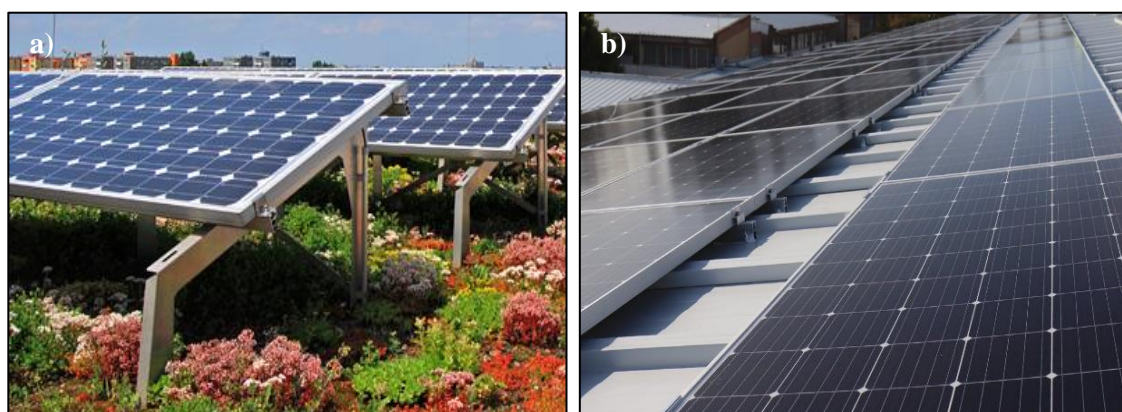


Figura 2-16 Instalação de painéis fotovoltaicos em simultâneo com outras tecnologias sustentáveis: a) Instalação em jardins ([landlab.pt](http://landlab.pt), consultado em junho de 2019); b) Sistema fotovoltaico instalado em telhado branco, ISEL ([isel.pt](http://isel.pt))

Ainda que o mais comum seja a instalação de painéis solares nas coberturas dos edifícios, existem também sistemas em que essas instalações são feitas aproveitando vastas áreas de terreno rural (Figura 2-17), ou mesmo parques de estacionamento, aproveitando-se assim as elevadas quantidades de radiação solar que estas localizações permitem captar (Figura 2-18).

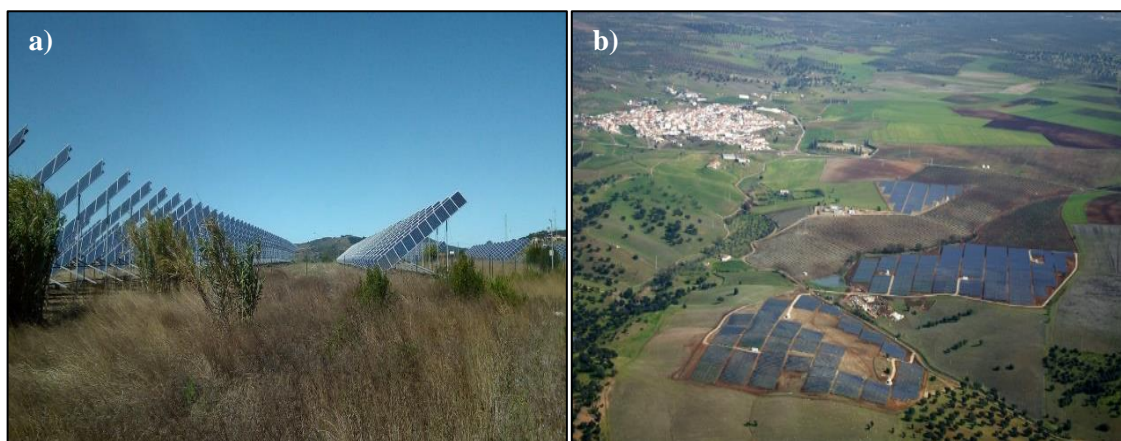


Figura 2-17 - Instalações de sistemas fotovoltaicos em grandes áreas rurais: a) Parque fotovoltaico em Loures; b) Fotografia aérea do Parque Solar Hércules, Serpa ([netec.tecnico.ulisboa.pt/](http://netec.tecnico.ulisboa.pt/), consultado em setembro de 2020)

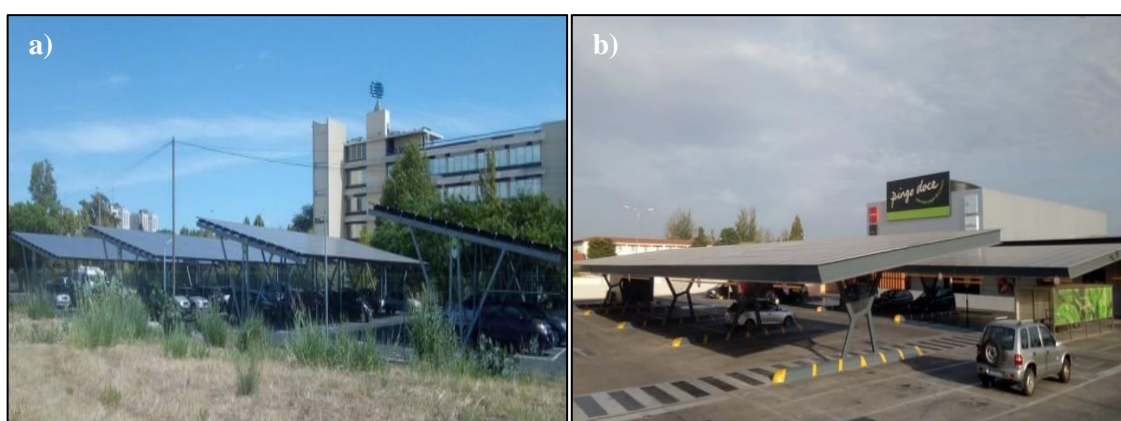


Figura 2-18 - Sistemas fotovoltaicos instalados em parques de estacionamento: a) Instalações da RTP, Lisboa; b) Pingo Doce de Telheiras, Lisboa

## 2.4 Metodologias de avaliação de sustentabilidade

O desenvolvimento do conceito de sustentabilidade e a sua tendência de crescimento de aplicação no setor da construção civil, bem como o interesse de se garantir que este seja de facto posto em prática e atinja os objetivos para que foi criado, fez surgir a necessidade de avaliação e certificação de processos, materiais e tecnologias. Assim, desde o final da década de 80 do século passado, surgem naturalmente em vários países, sistemas de certificação do desempenho ambiental dos edifícios, sistemas estes que podem ser obrigatórios ou não, sendo os primeiros as diretivas e a regulamentação adotada em cada país. Independentemente da obrigatoriedade ou não, estes sistemas de certificação estão em constante evolução e ampliação do seu campo de aplicação, com objetivos claros e comuns ainda que com diferentes estratégias de atuação. Focados na redução do impacte ambiental da construção, têm como intenção fazer a avaliação da conformidade das técnicas e dos processos construtivos, contribuindo desta forma para o desenvolvimento sustentável da sociedade. Pretendem ainda verificar a qualidade dos projetos e

respetivas construções aferindo de que forma estão ou não de acordo com o conceito e a que nível de desenvolvimento se encontram, se são muito ou pouco eficientes/eficazes. Estes sistemas de avaliação e certificação ajudam a consciencializar os proprietários, ocupantes e projetistas sobre os benefícios da adoção de uma abordagem de sustentabilidade, contribuindo dessa forma para que estes escolham soluções sustentáveis, conseguindo assim por acréscimo o reconhecimento do mercado, tendo sempre presente o objetivo de reduzir os efeitos negativos da construção sobre o meio ambiente (Pires, 2017).

Por outro lado, estes processos de sistematização para a avaliação do desempenho ambiental, proporcionam um termo de comparação entre os vários edifícios e/ou projetos, o que terá implicações na maior valorização e consequente procura por parte dos consumidores dos que consigam atingir os melhores resultados.

Os melhores desempenhos energéticos dos edifícios tendem também a ser cada vez mais incentivados politicamente devido aos compromissos internacionalmente assumidos entre os vários países; incentivos esses, que podem passar por benefícios fiscais para todos os agentes económicos que desempenhem um papel ativo no desenvolvimento da sustentabilidade ambiental.

De entre os vários sistemas de certificação ambiental e da sustentabilidade na construção, pela sua implementação e projeção no mercado, referem-se o BREEAM®, *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, o LEED®, *Leadership in Energy and Environmental Design*, o LIDER\_A, Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável e o SBToolPT®, *Sustainable Building Tool*, sistemas a que seguidamente se dará ênfase.

#### 2.4.1 BREEAM®

A certificação BREEAM®, *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, é dos sistemas de certificação de edifícios com maior implementação de mercado a nível mundial, contando atualmente com mais de meio milhão de edifícios certificados e de dois milhões e trezentos mil registados (breeam.com, consultado em setembro 2020). Originalmente vocacionada para edifícios novos e em fase de construção abriu os seus horizontes para abranger todo o ciclo de vida desses mesmos edifícios, estando atualmente em condições não apenas de proporcionar um método de avaliação para projetos de remodelação de habitações como também atuar ao nível de comunidades como um todo, ajudando a projetar locais “amigos” do ambiente onde as pessoas querem viver e trabalhar.

Desenvolvida no Reino Unido, foi o primeiro método a ser utilizado para avaliar, classificar e certificar a sustentabilidade dos edifícios, tendo sido publicado pela primeira vez em 1990, pelo *Building Research Establishment* (BRE).

A avaliação BREEAM é realizada por técnicos credenciados e independentes com base na utilização de medidas e índices de sustentabilidade até dez categorias: gestão da construção, saúde e bem-estar, consumo de energia, transporte, consumo de água, materiais, gestão de resíduos, utilização de terreno e ecologia, contaminação e inovação.

Depois de feitas as avaliações parciais segundo estas categorias, agrupam-se as avaliações num resultado global culminando este processo na classificação e certificação dos edifícios numa escala de “Aprovado”, “Bom”, “Muito Bom”, “Excelente” e “Excepcional”, para percentagens superiores a 30%. Para avaliações globais com percentagens inferiores ou iguais a este valor os edifícios são considerados “Sem Certificação” (Aspinal et al, 2013).

#### 2.4.2 LEED®

LEED®, *Leadership in Energy and Environmental Design*, certificação para construções sustentáveis, criada pela organização não governamental *United States Green Building Council* (USGBC), é uma certificação atribuída de acordo com critérios de racionalização de recursos dos edifícios.

Tendo sido posta em prática no ano de 1998, o LEED® é detentor de um grande prestígio internacional, sendo na atualidade o sistema de classificação de edifícios ecológicos mais utilizado a nível mundial, pelas suas conquistas e liderança em termos de sustentabilidade.

Trata-se de um sistema de certificação composto por ferramentas específicas disponíveis para praticamente todos os tipos de edifícios, nomeadamente:

- Edifícios existentes - “*LEED Operations + Maintenance*”;
- Novas construções - “*LEED Building Design + Construction*”;
- Classificação para espaços interiores - “*LEED Interior Design + Construction*”.

O LEED® dispõem também de um sistema de classificação vocacionado para dar resposta às exigências do mercado imobiliário - “*LEED Residential*” - e ainda de um sistema para proporcionar às comunidades e cidades uma forma de medição dos seus desempenhos - “*LEED Cities and Communities*”.

Pela importância atribuída à proteção do património, o LEED® tem também disponível um sistema de recertificação - “*LEED Recertification*” - estando esta disponível para todos os projetos que já tenham obtido a certificação LEED®, independentemente do seu sistema de classificação inicial.

A avaliação da Certificação LEED® é realizada por cumprimento de pré-requisitos que têm de ser atingidos nas categorias de sustentabilidade do espaço, racionalização do uso da água, na eficiência energética e na qualidade do ambiente interior, nos materiais e recursos, na inovação e em processos de projeto e de créditos regionais.

As recomendações são avaliadas e atribuem-se-lhes pontos que variam de acordo com a categoria a que respeita, sendo necessário que se atinja um valor mínimo de pontos para que a construção possa ser certificada, havendo nesse caso quatro diferentes categorias de certificação: “Certificada”; “Prata”; “Ouro” ou “Platina”.

### 2.4.3 LiderA

Criado em 2005, o LiderA, liderar pelo Ambiente para a construção sustentável, é a designação dada ao sistema voluntário Português que tem como objetivo, de forma eficiente e integrada, apoiar, avaliar e certificar o ambiente construído que procure a sustentabilidade.

O LiderA pretende apoiar o desenvolvimento de planos e projetos cujo objetivo seja a procura da sustentabilidade, a avaliação do desempenho dos mesmos na fase de conceção, obra e operação, e ainda o suporte da gestão na fase de construção e operação, atribuindo posteriormente a certificação por marca registada.

Partindo de princípios e critérios pré-definidos, o sistema permite apoiar o desenvolvimento de projetos que se pretendem sustentáveis e permite também certificar a sustentabilidade de produtos no ambiente construído, desde a fase de projeto até às fases de construção e de operação.

A certificação pelo sistema LiderA é efetuada por um processo de verificação independente que atribuiu a classe LiderA e que pode ir de “C” a “A++”, de acordo com as práticas especificadas. Desde 2009 que o sistema LiderA permite aplicar a avaliação a diferentes escalas que vão desde o edifício aos ambientes construídos e comunidades sustentáveis, como sejam os espaços exteriores e zonas mais alargadas, incluindo quarteirões, bairros e empreendimentos de várias escalas (Pinheiro, 2011).

### 2.4.4 SBTool<sup>PT</sup>®

O SBTool (*Sustainable Building Tool*), é o sistema de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios do iiSBE (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*). Criado e sediado no Canadá, é um sistema de certificação internacional voluntário que conta com a participação e contributos de vários países na promoção de práticas sustentáveis na indústria da construção e na investigação para as alterações políticas, com especial ênfase no desempenho global dos edifícios.

Surge posteriormente o SBTool<sup>PT</sup>®, adaptação ao mercado português, ferramenta através da qual qualquer edifício pode ser avaliado e classificado em termos de desempenho ao nível da sustentabilidade, sendo esta avaliação e classificação feita relativamente a dois níveis: melhor prática e prática convencional.

A avaliação do SBTTool<sup>PT</sup>® considera o desempenho dos edifícios em cada uma das três dimensões do desenvolvimento sustentável, ambiental, social e económica, sendo os seus resultados validados a nível internacional pela organização independente anteriormente referida iiSBE. Mais recentemente, em linha com o que se verifica em outros sistemas de certificação, o SBTTool<sup>PT</sup>® tem vindo a desenvolver uma metodologia de avaliação de áreas urbanas - “*SBToolPT Urban*”. Esta ferramenta propõe-se gerir e planear espaços urbanos mais alargados, podendo estes ir desde o bairro até à própria cidade, organizando o espaço e contribuindo assim para a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente com implicações diretas na melhoria da qualidade de vida (Bragança, 2017).



## 3 EDIFÍCIOS VERDES E AS ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

### 3.1 Identificação dos principais fatores com impacto nos incêndios em edifícios verdes

O risco de incêndio associado a uma cobertura ajardinada, apesar de estes sistemas de cobertura enquanto tecnologia moderna existirem há mais de quatro décadas, ainda suscita debate na comunidade científica.

Se por um lado se demonstra que uma cobertura ajardinada, quando instalada e mantida nas condições adequadas, protege as estruturas de apoio necessárias para a sua conceção contra a propagação de incêndios, tendo algumas sido instaladas em edifícios com esse propósito (Köhler et al, 2002 citado por Gerzhova et al, 2019), por outro, a possibilidade de as plantas serem uma fonte de ignição e de propagação do fogo, particularmente durante períodos de seca, é um motivo de preocupação acrescida. Além disso, questões relacionadas com deficientes manutenções tendem a agravar o anterior cenário na medida em que os detritos que se vão acumulando e podem ser facilmente inflamados, contribuindo também eles para o desenvolvimento de um incêndio (Gerzhova et al, 2019). Também em remodelações de edificado construído, a incorporação de uma cobertura ajardinada, contribui para uma melhoria nas questões relacionadas com a sustentabilidade do mesmo, mas como contrapartida, além das questões anteriormente referidas, aumentará a carga do sistema instalado.

Qualquer projeto de cobertura ajardinada terá que estar em conformidade com as exigências do Eurocódigo 0: Bases para o projeto de estruturas (NP EN 1990, 2009) e do Eurocódigo 1: Acções em estruturas (NP EN 1991, 2009), uma vez que, na ausência desta verificação e consequente reforço da estrutura resistente do edifício, as sobrecargas impostas poderão implicar em caso de incêndio o colapso da cobertura em muito menos tempo do que o anterior sistema; o que se torna num risco acrescido para as equipas de socorro na tentativa de extinção do incêndio ou em manobras de busca e salvamento, além de aumentar o risco para os ocupantes do edifício, na medida em que ficam com menos tempo para o evacuarem (Allnut et al, 2014). Também podem acabar por ser criadas maiores dificuldades de movimentação ou até mesmo a inibição completa da atuação das referidas equipas, por não obterem autorização para permanecerem na cobertura por questões de segurança.

Por outro lado, quando operações de desenfumagem são indicadas, não é raro estarem comprometidas ou mesmo serem impraticáveis. Seja pela camada de solo que teria de ser retirada ou pela impossibilidade de abertura de claraboias, por estas aberturas estarem impedidas pelo crescimento descontrolado da vegetação (Hoskins e Homer, 2015).

No que se refere à utilização de painéis fotovoltaicos para produção de energia, é atualmente, dentro dos sistemas de produção de energias renováveis, um dos sistemas mais estudados e difundidos, mas, embora existam procedimentos padrão que o regulem, estes não são uniformes nem globalmente aceites, variando conforme o país onde são aplicados (Despinasse e Krueger, 2015). Com o objetivo de otimização da conversão de energia solar em elétrica, tanto o projeto como a instalação dos sistemas fotovoltaicos focavam-se unicamente na eficiência dos mesmos, não considerando em nenhum deles as questões relacionadas com o risco de incêndio. No entanto, o aumento do número de incêndios ocorridos nestes sistemas tem impellido a uma mudança de paradigma, estando as questões de segurança contra o de risco de incêndio bem como as que se relacionam com a manutenção dos sistemas e das condições de operação das coberturas onde estes se inserem na ordem do dia (Cancelliere, 2016).

Quando a instalação e a manutenção são adequadas, estes sistemas, por si só, não representam um acréscimo de risco. No entanto, numa situação de emergência, as operações de combate a incêndios podem ficar muito condicionadas, sendo cada vez mais importante desenvolver boas práticas de instalação e de operação para a minimização do impacto destes sistemas nessas circunstâncias (Namikawa, 2017).

A presença destes elementos pode agravar consideravelmente o risco de incêndio e comprometer a segurança das equipas de socorro; para além do risco adicional de choque elétrico e das limitações de acessibilidade, podem induzir alterações no modo de propagação do fogo, seja através dos elementos da própria cobertura para o interior do edifício ou a edifícios adjacentes, assim como condicionar os sistemas de ventilação do edifício (Cancelliere, 2016).

A presença de painéis na cobertura altera a dinâmica do incêndio, tanto pelo aumento da carga de combustível como pelo confinamento das chamas à parte inferior dos referidos elementos.

Este confinamento, contrariamente a um desenvolvimento de “chama livre”, aproxima a fonte de calor da cobertura, recebendo esta conseqüentemente um fluxo de calor muito superior, o que facilitará uma propagação à própria cobertura (B. Backstrom e Tabaddor, 2010 citado por Ju et al, 2019). Nestas circunstâncias, as claraboias utilizadas como elementos de ventilação do edifício, facilitam a propagação do incêndio para o interior do mesmo, situação que se agrava quando não são tidas em conta as distâncias de segurança entre os painéis e estes elementos (Wohlgemuth e Kurtz, 2012 citado por Ju et al, 2019).

Diretamente relacionados com os sistemas fotovoltaicos, são vários os fatores que contribuem para o agravar das condições de segurança das equipas de socorro, surgindo em primeiro lugar o risco de choque elétrico, como já mencionado. Mesmo depois dos sistemas de corte de alimentação serem desligados, os sistemas fotovoltaicos permanecem em carga enquanto expostos à luz solar, podendo ocorrer choques pelo contacto com elementos ainda energizados danificados pelo incêndio ou pela operação dos próprios bombeiros, seja durante as manobras de combate ou já durante a fase do rescaldo (Namikawa, 2017). Pode ainda ficar a dever-se à

falta de eficácia dos elementos de corte de energia existentes no próprio sistema ou aos meios alternativos utilizados para bloqueio de receção de luz, sejam estes espuma ou mantas opacas (R. Backstrom e Dini, 2012). Também o contacto direto com a água utilizada nas operações de combate e rescaldo, ou a eventual inadequabilidade dos equipamentos de proteção individual (EPI) podem contribuir para o aumento do referido risco.

O colapso da cobertura, seja pelo acréscimo de carga e/ou pelo particular tipo de desenvolvimento das chamas (confinadas), tende a ocorrer num menor espaço de tempo, o que pode complicar ou mesmo impedir o combate ao incêndio com o risco deste se desenvolver e propagar a compartimentos ou edifícios adjacentes.

Existe ainda o agravamento do risco de queda; se sujeitos a choque elétrico, a reação natural de “afastamento” dos elementos das equipas de socorro pode induzir um escorregamento ou mesmo queda da cobertura, situação que é agravada pelas características das superfícies dos painéis serem escorregadias e colocadas com alguma inclinação (Namikawa, 2017).

As principais causas de incêndio atribuídas aos sistemas fotovoltaicos são os curtos-circuitos, arcos voltaicos, geralmente associados a falhas de ligação à terra, e ligações deficientes entre os vários componentes dos referidos sistemas. Qualquer um destes pode dar origem a um sobreaquecimento e, conseqüentemente, a um incêndio (Brooks, 2012 citado por Falvo e Capparella, 2015).

À imagem do que foi referido na solução das coberturas ajardinadas, as operações de desenfumagem poderão eventualmente ficar comprometidas, na medida em que os seus mecanismos de abertura automática em caso de incêndio podem não conseguir atuar eficazmente por interação com os painéis fotovoltaicos (Cancelliere, 2016).

### **3.2 Estratégias para reduzir o risco de incêndio em edifícios verdes**

Considerando os fatores que terão maior impacto no que toca ao aumento do risco de incêndio em edifícios com coberturas ajardinadas, sobressaem as questões levantadas com a concepção das soluções e pela manutenção, deficiente ou até mesmo inexistente, de que os mesmos podem ser alvo. Desde que corretamente projetadas, instaladas e mantidas, estas soluções construtivas tendem a contribuir positivamente para o aumento da resistência ao fogo pela natureza não combustível dos seus constituintes (Allnut et al, 2014).

Em termos de concepção, qualquer cobertura ajardinada deverá proporcionar resistência à propagação de um eventual incêndio logo através do equilíbrio do teor de componentes combustíveis (matéria orgânica) e não combustíveis.

Nos sistemas extensivos são ainda definidos vários pontos que terão de ser verificados para se garantir essa resistência, nomeadamente a espessura e a constituição da camada de substrato, o tipo de plantas e o sistema de rega a utilizar. São também feitas referências às alturas mínimas e

às máximas distâncias aceitáveis entre as paredes corta-fogo ou das barreiras de material não inflamável que eventualmente as substituam, ou, se a regulamentação em vigor não exigir a instalação das mesmas, a criação de rebordos - faixas de segurança - em materiais não inflamáveis. Definem-se ainda as margens de segurança - zonas de agregados de pedra ou lajetas, sem vegetação - entre a camada de substrato e os pontos singulares, bem como entre elementos salientes e paramentos com janelas (FLL, 2008 citado por Raposo, 2013).

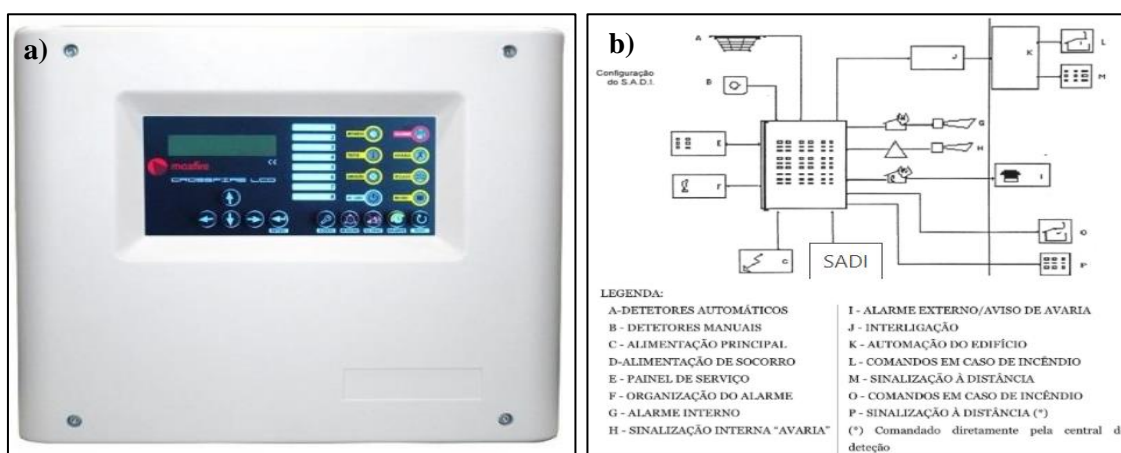
Relativamente aos sistemas intensivos, no que diz respeito à eclosão e propagação de um incêndio, a *Green Roof Organisation* (GRO) considera-os como “resistentes”, uma vez que, é exigida uma manutenção regular, são constituídos por camadas de substrato espessas e são irrigados constantemente, não se constituindo dessa forma como potenciais riscos de incêndio (Allnut et al, 2014).

É também importante atuar sobre a questão do aumento das cargas na estrutura pela segurança das equipas de socorro e dos próprios utentes, como já referido. Se para a implementação de um sistema intensivo, pelas condições exigidas para projetos concebidos de raiz, a questão das sobrecargas não consideradas não se coloca, no cenário de implementação dos sistemas extensivos pode ser bem distinto. Deverá também nestes casos ser garantido que qualquer projeto de cobertura ajardinada deve atender a todos os critérios de projeto estrutural relevantes, procedendo ao reforço da estrutura existente considerando as exigências do Eurocódigo 0 (NP EN 1990, 2009) e do Eurocódigo 1 (NP EN 1991, 2009) (Allnut et al, 2014).

Considerando que na fase da concepção são tidos em conta todos os pressupostos para minimizar os fatores de risco de eclosão e propagação de incêndio, e para garantir que o nível de segurança não diminuirá com o passar do tempo, é importante elaborar e fazer cumprir um plano de manutenção adequado.

Alguns dos maiores fatores com maior contribuição para o aumento do risco de incêndio e para o agravar das condições de segurança a ele associadas, estão diretamente relacionados com a manutenção dos sistemas de cobertura ajardinada. Ausência de corte e remoção de materiais excedentes promovem o acumular de matéria combustível e de continuidade entre ela, o que poderá favorecer a eclosão e a propagação de incêndios na cobertura. Este excesso de matéria, para além de facilitar a propagação de incêndios aos compartimentos contíguos e a equipamentos que estão colocados na cobertura, pode ainda facilitar essa propagação a outros edifícios.

Também a eventual inibição do funcionamento de equipamentos ligados ao Sistema Automático de Detecção de Incêndio (Figura 3-1), tais como a abertura de claraboias para ventilação e desenfumagem, terá como consequência o agravar das condições de segurança, tanto para o estabelecimento das operações de combate e de atuação das equipas de socorro no interior do edifício, como para os próprios utentes do edifício.



Estas questões terão um maior impacto sempre que estas coberturas estejam sujeitas a períodos de seca prolongados, devendo-se nestas circunstâncias otimizar a utilização dos sistemas de rega automática para contrariar o efeito de secagem da vegetação e respetivo aumento de risco de ignição e de propagação de potenciais incêndios (Allnut et al, 2014).

Pelo exposto, as questões de segurança contra o risco de incêndio devem ser consideradas na concepção dos sistemas e para implementação durante a vida útil dos mesmos, nomeadamente:

- Na concepção através da escolha adequada dos componentes, da criação de descontinuidades de matéria combustível e entre esta e equipamentos, pontos singulares e outros edifícios além da eventual introdução de tomadas de água;
- Na implementação do plano de manutenção que contemple o planeamento das ações de limpeza e de cortes de excedentes de vegetação bem como reforço de utilização de sistemas de rega.

Também no que diz respeito aos edifícios que têm montados na sua cobertura sistemas solares fotovoltaicos, devem ser consideradas as questões de concepção e de manutenção dos mesmos. Conceptualmente, considerando as questões da SCIE tão importantes quanto as de otimização de produção energética, importa começar por garantir a aplicação de materiais não inflamáveis na composição da estrutura da cobertura com o intuito de atrasar/impedir a propagação de um eventual incêndio (Manzini et al, 2015).

Relativamente à colocação dos equipamentos devem ser garantidas as necessárias distâncias de segurança entre estes e pontos singulares ou limites da cobertura, outros equipamentos ali colocados e a edifícios contíguos, criando-se assim, por um lado, descontinuidades entre os vários combustíveis presentes na cobertura e entre estes e os elementos referidos, e por outro lado, garantindo a acessibilidade e mobilidade das equipas de socorro.

Devem ainda ser consideradas em consideração a inclinação de montagem dos painéis fotovoltaicos e o afastamento entre eles e a cobertura, na medida em que estas terão influência significativa no comportamento e no desenvolvimento dos incêndios (Manzini et al, 2015).

Relativamente ao aumento das cargas sobre a estrutura, como referido na situação das coberturas ajardinadas, não sendo à partida um problema quando se consideram projetos concebidos de raiz, o aumento da carga instalada quando estas tecnologias são colocadas em edifícios já existentes tem de ser considerado, verificando-se a necessidade de proceder a um eventual reforço da estrutura para garantia de conformidade com a legislação em vigor, nomeadamente com o Eurocódigo 0 (NP EN 1990, 2009) e o Eurocódigo 1 (NP EN 1991, 2009).

Tendo presente que as principais causas de incêndio atribuídas a estes sistemas estão diretamente relacionadas com eventos elétricos, curto-circuito, arco voltaico e deficientes ligações entre os vários componentes dos referidos sistemas (Brooks, 2012 citado por Falvo e Capparella, 2015), as estratégias para redução do risco de incêndio terão que incidir sobre a mitigação dos mesmos através da verificação, durante a fase de projeto, de possíveis falhas (Falvo e Capparella, 2015).

Nesta fase devem ser também implementadas tecnologias que permitam um maior controle sobre os riscos, tais como interruptores capazes de detectar falhas e interromper o fluxo de corrente, e sistemas eficientes de “corte rápido” para desenergização efetiva de circuitos específicos, uma vez que mesmo em elementos danificados pelo incêndio continua a haver corrente elétrica (Namikawa, 2017). Estes mecanismos de corte de energia são ainda fundamentais como garantia de segurança para operações de proteção que as equipas de bombeiros possam ter que executar, uma vez que, quando expostos à luz solar, esses equipamentos permanecem energizados mesmo depois da energia ser cortada ao edifício (Ball e Fisher, 2016). São ainda importantes porque, sendo a luz solar a fonte de alimentação por excelência dos sistemas fotovoltaicos, não é a única a potenciar uma intensidade de energia suficiente para manter/aumentar o risco de choque elétrico. A iluminação artificial originada pelas viaturas de socorro e mesmo a luz emitida pelo incêndio podem ser suficientes para a produção de correntes que atinjam o limite da “corrente de risco” em painéis que ainda não tenham sido afetados mas estejam nas imediações e sujeitos a operações de “proteção de exposições”. Assim, seja para inibir a deflagração do incêndio ou para aumentar os níveis de segurança de atuação quando o mesmo está ativo, os procedimentos que os bombeiros devem ter são a desenergização dos sistemas e, sempre que possível, o bloqueio da iluminação dos painéis através da aplicação de espuma ou, preferencialmente, através da aplicação de mantas opacas (R. Backstrom e Dini, 2012).

Também nas coberturas equipadas com sistemas fotovoltaicos, à imagem das coberturas ajardinadas, para garantia da continuidade dos níveis de segurança previstos na fase da

concepção terá de ser elaborado e cumprido um plano de manutenção programada adequado. Este deverá contemplar a verificação do estado de conservação e de limpeza da cobertura, garantindo que os acessos aos equipamentos e aos sistemas de corte de corrente instalados se encontram desimpedidos e prever a verificação de todos os componentes do sistema para deteção de eventuais irregularidades e imediata correção das mesmas.

Deve ainda ser dada particular atenção neste plano aos Sistemas Automáticos de Deteção de Incêndios (SADI) e Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios (SAEI) bem como a quaisquer outros equipamentos de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) presentes no edifício, nomeadamente sinalização e iluminação de emergência e validade e operacionalidade de extintores.

### **3.3 Segurança contra incêndios e riscos acrescidos dos edifícios verdes**

A legislação na área da SCIE constitui-se como uma ferramenta de projeto que pretende dotar os edifícios de características construtivas e de equipamentos que os tornem seguros, inibindo tanto quanto possível a ocorrência de incêndios, e protegendo-os a si e aos seus utilizadores em caso de um evento dessa natureza.

São, fundamentalmente, duas as formas de abordagem desta legislação; abordagem prescritiva, com regras e princípios previamente estabelecidos, e abordagem exigencial, baseada no desempenho.

Ainda que haja o reconhecimento na comunidade académica/científica de que a abordagem exigencial - engenharia de segurança contra incêndio - permite o dimensionamento dos sistemas de uma forma mais eficiente e ajustada economicamente, é atualmente, pelas dificuldades sentidas na avaliação de desempenho nesta área, a abordagem prescritiva a mais utilizada (Liew 2004).

Em Portugal, em matéria de SCIE, vigoram a Lei nº 123/2019, de 18 de outubro (terceira alteração ao Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de novembro, alterado pelo Decreto-Lei nº 224/2015, de 9 de outubro e pelo Decreto-Lei nº 95/2019, de 18 de julho), que estabelece o Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE), e a Portaria nº 135/2020, de 2 de junho (alteração ao Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE), aprovado pela Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro).

Estes diplomas representam a consolidação da legislação na área da SCIE, que começou por ser, entre os anos de 1951 e 1967, um conjunto de vinte artigos publicados no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), Decreto-Lei nº 38/382, de 7 de agosto de 1951, e de vinte e nove artigos dispersos no Regulamento das Condições Técnicas e de Segurança dos Recintos de Espetáculos e Divertimentos. Porque abrangiam todos os tipos de edifícios e de ocupação destes, eram manifestamente pouco específicos e omissos relativamente a muitas questões que

se viriam a colocar pelo edificado, pelo que no ano de 1974, viria a ser publicado, pelo então Batalhão de Sapadores Bombeiros de Lisboa, um conjunto de regras que visavam enquadrar e permitir o licenciamento de edificações de natureza especial, nomeadamente parques de estacionamento cobertos, estabelecimentos acessíveis ao público e edifícios com mais de dez pisos (Silva, 2014). Com a aprovação da lei orgânica do Serviço Nacional de Protecção Civil (SNPC), Decreto-Lei nº 510/80, de 25 de outubro, e a articulação deste com o Serviço Nacional de Bombeiros (SNB), foram até 2008 desenvolvidos e publicados vários diplomas de segurança contra incêndio. Estes visavam abranger as várias utilizações dos edifícios, algumas das quais ainda não contempladas até então (instalações industriais e armazéns, lares de idosos, museus e bibliotecas, arquivos e locais de culto).

Finalmente, para colmatar o facto de que a legislação sobre segurança contra incêndio em edifícios se encontrava dispersa por vários diplomas e que estes eram muitas vezes difíceis de articular entre si, foram, em dezembro desse mesmo ano, publicados o Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de novembro, Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE), e a Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro, Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE), entrando ambos em vigor no dia 1 de janeiro de 2009 (Silva, 2014).

Sendo a criação de condições para adequar os edifícios alvo de remodelações aos atuais padrões de segurança, de sustentabilidade ambiental e da proteção do património edificado (Decreto-Lei nº 95/2019, de 18 de julho) um objetivo político assumido, à imagem do que se verifica para projetos de raiz, nenhum dos referidos diplomas faz qualquer tipo de referência específica às coberturas verdes, sejam elas ajardinadas ou coberturas com sistemas fotovoltaicos instalados.

Assim, a Lei nº 123/2019, de 18 de outubro define apenas as “Classes de resistência ao fogo padrão para produtos de construção” e a Portaria nº 135/2020, de 2 de junho, a “Classe de reação ao fogo mínima” dos materiais de revestimento das coberturas, sejam estas planas ou inclinadas.

Na mesma Portaria são também impostas limitações à construção ou colocação de equipamentos nas coberturas, garantindo-se assim que o espaço ocupado nas mesmas não ultrapasse 50% das suas áreas úteis.

São ainda no mesmo diploma definidas distâncias de segurança e classes de resistência ao fogo padrão para elementos envidraçados que possam eventualmente existir na cobertura, tais como claraboias.

Nos poucos países que apresentam regulamentos e diretrizes que se aplicam especificamente às coberturas ajardinadas - Áustria, Canadá, Estados Unidos da América, Japão, Reino Unido e Suíça - tem sido o documento “Diretrizes para o Planeamento, Instalação e Manutenção de Coberturas Verdes” (FLL, 2008), o utilizado como base dos manuais de boas práticas de soluções construtivas das mesmas. Este documento deu origem em Espanha a um conjunto de

Normas Técnicas de Jardins e Paisagismo aplicadas a coberturas ajardinadas, abrangendo a mais recente as soluções intensiva e extensiva.

Em particular, a norma *Toronto Green Roof Construction Standard* (TGRTAG, 2018), considera que fatores como a escolha criteriosa da vegetação a aplicar e distâncias de segurança desta a equipamentos (criação de eventuais aceiros) e a caminhos de evacuação devem ser considerados no planejamento deste tipo de soluções de cobertura.

A mesma norma refere ainda a importância de colocação de revestimentos incombustíveis em áreas expostas às zonas ajardinadas e o dimensionamento do sistema de combate a incêndios, nomeadamente o abastecimento de água à rede de incêndio armada (RIA) e a colocação de extintores portáteis, estabelecendo também a implementação de um programa de manutenção que contemple a remoção anual de vegetação morta e o excesso de biomassa que pode representar um risco elevado de incêndio.

Estas diretrizes para coberturas ajardinadas devem assim ser capazes de, entre outras, responder a questões técnicas relativamente a capacidade de carga da estrutura resistente e a medidas preventivas de proteção e de atuação contra incêndio, sendo para esse efeito complementadas por normas e regulamentos nacionais de cada um dos países que as adotam (Raposo, 2013).

Como anteriormente referido com as coberturas ajardinadas, também se constata a ausência de legislação específica em termos de SCIE relativamente a coberturas com tecnologias fotovoltaicas instaladas.

As referências nacionais feitas não são direcionadas em particular para esta solução tecnologia e reduzem-se às especificações das “Classes de resistência ao fogo padrão para produtos de construção” e das “Classes de reação ao fogo mínimas” para os materiais de revestimento, patentes na Lei nº 123/2019, de 18 de outubro e na Portaria nº 135/2020, de 2 de junho, respetivamente, mantendo-se ainda nesta última as limitações impostas às áreas máximas permitidas para construção ou colocação de equipamentos e distâncias de segurança e classes de resistência ao fogo padrão para eventuais elementos envidraçados.

No entanto, devido à sua crescente implantação a nível global, tem-se verificado maior interesse e desenvolvimento em termos de investigação e conseqüente produção de normas, tendo inclusivamente vários países publicado diretrizes para as empresas instaladoras, procurando-se desta forma mitigar os riscos técnicos a que os bombeiros se encontram expostos através do desenvolvimento de novos produtos e tecnologias (Namikawa, 2017).

Em trabalhos levados a cabo tanto na Europa como nos Estados Unidos da América, foram também concluídas e prescritas medidas semelhantes para atuação dos bombeiros em incêndios nos sistemas fotovoltaicos (R. Backstrom e Dini, 2012 citado por Ball e Fisher, 2016), considerando tanto os requisitos de instalação como os requisitos de segurança e desempenho

dos próprios equipamentos, bem como técnicas de intervenção para minimização do risco a que estão sujeitas as equipas de socorro.

A análise de dados recolhidos demonstrou que em cerca de 45% dos incêndios em que estiveram envolvidos sistemas solares fotovoltaicos, foram estes que de alguma forma os originaram (Namikawa, 2017), ficando ainda patente que estes sistemas são frequentemente instalados sem ser tida em atenção a questão da propagação condicionada pelos seus componentes, painéis, cablagens e quadros elétricos, negligenciando os projetistas o risco de incêndio em função da otimização da produção de energia.

Também a análise do comportamento da estrutura e dos componentes da cobertura são muitas vezes esquecidos não se considerando de que forma poderão interagir/contribuir para a propagação dos incêndios (Backstrom e Tabaddor, 2010 citado por Cancelliere e Liciotti, 2016). Para dar resposta a estas questões, em alguns países europeus - Espanha, França, Itália, Reino Unido e Suíça - as diretrizes são muitas vezes tornadas códigos que as empresas instaladoras têm de cumprir.

No caso da Alemanha, a Associação Alemã da Indústria Solar apresenta um conjunto de recomendações com disposições incluídas na lei, “Planeamento, construção e manutenção de sistemas fotovoltaicos orientados para a proteção contra incêndio”.

Nos Estados Unidos da América, foi publicado o “Guia de Instalação Solar Fotovoltaica”, sendo este um conjunto de diretrizes utilizadas pelas empresas instaladoras onde se definem, por exemplo, métodos para reconhecimento pelos bombeiros dos sistemas fotovoltaicos instalados, com marcação do local dos cabos de corrente contínua bem como do principal corte de corrente (desenergização) de serviço.

Também no Japão, a partir de um projeto de pesquisa sobre segurança contra incêndios fotovoltaicos, *Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI), foram publicadas “Diretrizes e informações técnicas sobre segurança elétrica de sistemas fotovoltaicos”, onde se incluem as restrições à instalação destes sistemas nas coberturas e a rotulagem de sinalização fotovoltaica específica para reconhecimento dos mesmos por parte das equipas de socorro (Namikawa, 2017).

À imagem do que se passa em qualquer instalação elétrica, os sistemas fotovoltaicos integram dispositivos associadas aos diversos componentes dos seus sistemas para garantir a sua segurança. Com o aumento do nível de exigência, as próprias empresas instaladoras têm apresentado soluções para mitigação dos riscos, tendo os progressos nesta tecnologia permitido a introdução de vários dispositivos para neutralização dos sistemas, nomeadamente inversores (Spataru et al, 2013), e a combinação destes com dispositivos de monitorização de resistência de isolamento desses mesmos sistemas (Falvo e Capparella, 2015).

As técnicas convencionais e as limitações a elas associadas nem sempre detetam as “falhas” dos sistemas que estão na origem dos incêndios, pelo que para cada delas, falha de ligação à

terra, falha linha a linha e arco voltaico, se têm desenvolvido diferentes técnicas de detecção e de mitigação (Alam et al, 2015). Por outro lado, têm-se também registado avanços em termos de certificação de desempenho na reação ao fogo dos equipamentos constituintes dos sistemas fotovoltaicos, em particular dos painéis. Desta forma é possível garantir que estes elementos não vão contribuir para a propagação de um incêndio ou que a sua contribuição será mínima (Cancelliere e Liciotti, 2016). O mesmo se verifica relativamente aos requisitos de segurança dos circuitos elétricos do sistema, tanto para a parte da instalação exterior aos painéis como para a interior a estes, nomeadamente no que diz respeito à capacidade efetiva de se desligar todo o sistema fotovoltaico, ou, não sendo esta situação, dotá-lo de meios alternativos para reduzir substancialmente o risco de choque elétrico (Ball e Fisher, 2016).

A intervenção dos bombeiros em instalações onde existam sistemas fotovoltaicos implica procedimentos de atuação similares aos das intervenções em outros quaisquer elementos elétricos; no entanto, e porque contrariamente a qualquer tipo de gerador elétrico convencional os painéis continuam a gerar eletricidade enquanto estiverem a ser iluminados, mesmo que o sistema seja desligado da rede, a sua fácil identificação torna-se imprescindível (Mathe et al, 2015). A partir de estudos realizados para aferição das condições de segurança dos bombeiros em operações de combate a incêndios em coberturas com tecnologia fotovoltaica instalada, têm sido produzidos em vários países “Procedimentos de Atuação” e “Medidas de Proteção”, para garantir ou aumentar significativamente a segurança das equipas empenhadas no socorro (Mathe et al, 2015).

Relativamente ao risco de choque elétrico, tendo-se concluído que existem sérias limitações em termos de capacidade de desenergizar os sistemas bem como de garantir que esse procedimento, quando feito, é eficiente, os referidos procedimentos estabelecem a manutenção de distâncias de segurança em relação aos elementos do sistema fotovoltaico. Nas situações em que se está a utilizar água como agente extintor, o risco de choque é eliminado com o aumento da distância de atuação e também através da escolha adequada do tipo de jato utilizado na agulheta (Ball e Fisher, 2016).



## 4 CASOS DE ESTUDO

### 4.1 Cobertura ajardinada

#### 4.1.1 Caracterização do Edifício em estudo

O caso de estudo de cobertura ajardinada - Fábrica de Água de Alcântara, Lisboa - encontra-se localizada na Avenida de Ceuta (Figura 4-1a), estando a sua entrada principal junto à portaria da entrada sul, localizada na Rua do Arco Carvalhão (Figura 4-1b).



Figura 4-1 - Fábrica de Água de Alcântara, Lisboa: a) Cobertura das instalações; b) Portaria - entrada principal da fábrica

Da autoria de Frederico Valsassina, Manuel Aires Mateus e de João Ferreira Nunes, o projeto da Fábrica de Água de Alcântara apresenta um telhado verde com uma dimensão de quase três hectares, o maior telhado verde da Europa à data, e intergra paisagisticamente a infraestrutura para a reconfiguração da morfologia do Vale de Alcântara. O edifício foi o vencedor em 2013 do Prémio Valmor e Municipal de Arquitetura (Figura 4-2), prémio este que distingue obras consideradas exemplares da arquitetura de Lisboa, sejam elas obras de construção, de reabilitação ou espaço público.

Do projeto de arquitetura fez também parte a construção de um complexo de edifícios localizado ao nível do 2º piso da fábrica, constituído pelo edifício administrativo, onde está instalada a sede da empresa e onde se desenvolvem atividades inerentes ao planeamento, gestão e operacionalização da Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL), pelo edifício de monitorização da instalação e pelas três zonas de estacionamento (Figura 4-3).



Figura 4-2 - Placa de atribuição do Prémio Valmor e Municipal de Arquitetura em 2013

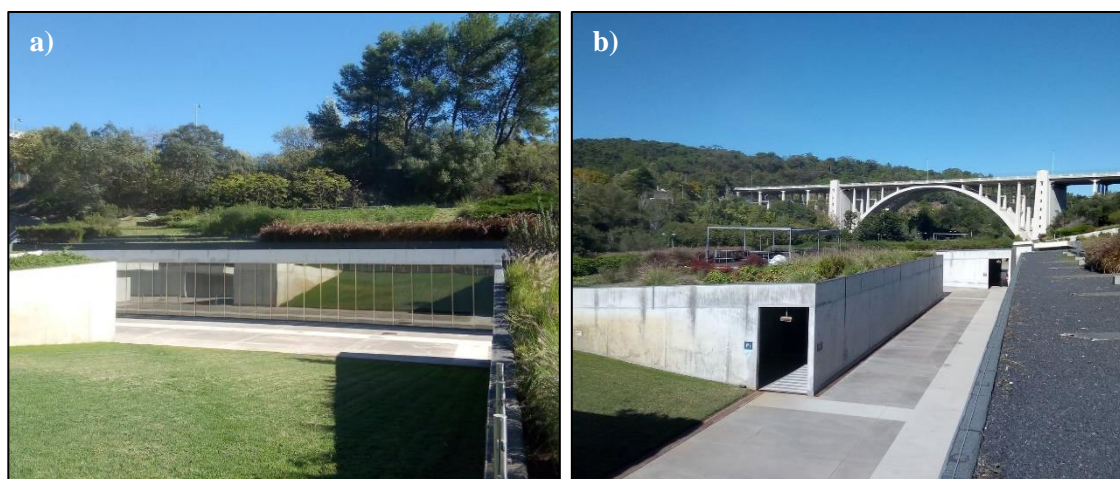


Figura 4-3 Novo complexo de edifícios da Fábrica de Água de Alcântara, Lisboa: a) Edifício administrativo e de monitorização; b) Parques de estacionamento

Esta fábrica é responsável pelo tratamento de águas residuais produzidas na própria cidade e ainda de águas residuais produzidas em municípios limítrofes, municípios de Amadora e de Oeiras, constituindo-se dessa forma como uma das maiores instalações de tratamento de águas residuais da Águas do Tejo Atlântico e do País. Essas águas, ambientalmente seguras depois de tratadas, são devolvidas ao meio hídrico, garantindo-se desta forma uma melhoria da qualidade da água da zona ribeirinha de Lisboa e conseqüentemente do Estuário do Tejo. Com uma capacidade de tratamento de caudais que pode variar entre 3,3 e 6,6 m<sup>3</sup>/segundo, o funcionamento desta fábrica beneficia diretamente os milhares de habitantes servidos através da sua contribuição para a proteção da saúde pública e do ambiente, bem como para o bem-estar das referidas populações.

Esta fábrica é ainda responsável pela reutilização de águas por si tratadas na lavagem de ruas e na rega dos espaços verdes da cidade, em particular os cerca de três hectares de jardim que se encontram instalados na sua própria cobertura.

Em termos de sustentabilidade, a Fábrica de Água de Alcântara tem também desenvolvido vários trabalhos experimentais com os sub-produtos obtidos na mesma, sejam eles os resultantes da operação da própria fábrica, ensaios executados na utilização das lamas provenientes do processo produtivo para fertilização dos solos, sejam o aproveitamento para compostagem dos resíduos verdes que resultam da manutenção da cobertura ajardinada.

Tem ainda estado associada à investigação, permitindo que, para além do desenvolvimento de vários trabalhos académicos para obtenção de grau de mestrado e de doutoramento, sejam desenvolvidos diversos estudos em áreas como a hidrologia, o aproveitamento e reciclagem de água e o aproveitamento de nutrientes. São também, pelas particularidades da própria solução ajardinada instalada na cobertura da fábrica, desenvolvidos estudos paisagísticos, comportamentais e da biodiversidade e ainda de aplicação de várias culturas comestíveis.

Localizada no vale de Alcântara, canal de infra-estruturação e mobilidade fundamental para a Área Metropolitana de Lisboa, a Fábrica de Água é um projecto de requalificação da estação de tratamento de águas pré-existente (Figura 4-4), onde, para além das vantagens diretas em termos de proteção e melhoria das condições ambientais inerentes à sua operação, a solução de cobertura em telhado ajardinado se assume como exemplo de integração paisagística e o assumir das preocupações com a questão da sustentabilidade.



Figura 4-4 - Requalificação da estação de tratamento de água de Alcântara (ETAR): a) ETAR antes de ser requalificada; b) Fábrica de Água, depois das obras de requalificação (crédito: Apresentação da cobertura feita pela Águas de Portugal (AdP) na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa)

Nesta solução de cobertura ajardinada, pelas pendentes e espessura de lajes consideradas, criaram-se espaços acessíveis e de lazer (Figura 4-5), o que, juntamente com os *habitats* protegidos para fauna e flora locais por ela providenciados, a constituem não apenas como uma mais-valia do ponto de vista arquitetónico, mas também como uma valorização para o próprio edifício.



Figura 4-5 - Espaços de lazer na cobertura ajardinada da fábrica

Outra das vantagens deste projeto é a sua contribuição para redução da velocidade de escoamento superficial e da probabilidade de ocorrência de cheias e inundações, fenómenos estes potenciados pelo crescimento da área de superfície impermeabilizada que resultou, por exemplo, da pavimentação da Avenida de Ceuta.

O substrato e a vegetação que compõem a cobertura, pela sua capacidade de absorção de baixas e de altas frequências, contribuem para o isolamento térmico e acústico do edifício e, pela absorção da radiação solar conseguida, para além da função estética obtém-se uma contribuição efetiva para o atrasar do aquecimento global.

Trata-se de um sistema de cobertura ajardinada constituída maioritariamente por espécies de plantas autóctones, muitas delas comuns na flora mediterrânica, encontrando-se também na mesma várias plantas aromáticas e ainda plantas medicinais.

Na colocação das referidas espécies de plantas, considerando o aumento da resistência à propagação de incêndios que estas soluções construtivas potenciam desde que garantidas as condições adequadas de manutenção, foram materializadas descontinuidades físicas e também de espécies (Figura 4-6), permitindo desta forma aumentar a capacidade de controlo deste tipo de eventos, evitando tanto quanto possível a sua ocorrência e/ou propagação.



Figura 4-6 - Descontinuidade física e de espécies para prevenção de incêndios: a) Cobertura dos estacionamento; b) Cobertura do Edifício Sede

A Fábrica de Água de Alcântara é caracterizada como Utilização Tipo Mista da 2ª categoria de risco - risco moderado - constituída por três utilizações tipo distintas (Lei nº 123/2019, de 18 de outubro):

- Utilização Tipo II «Estacionamentos»;
- Utilização Tipo III «Administrativos»;
- Utilização Tipo XII «Industriais, oficinas e armazéns», sendo esta a Utilização Tipo principal.

Edifício caracterizado por ter estrutura resistente em betão armado (pilares, vigas e lajes), com paredes interiores em alvenaria de tijolo e exteriores em betão armado. A laje de cobertura que suporta a cobertura ajardinada, é também ela de betão armado.

Em atividade desde 1989, a Fábrica de Água de Alcântara foi alvo de obras de ampliação e remodelação no período compreendido entre os anos de 2006 a 2011, tendo-se a mesma mantido em estado de operação plena durante todo esse período.

Relativamente à área de segurança contra incêndio, a Fábrica de Água de Alcântara, para além de projeto de segurança, apresenta também as medidas de autoproteção aprovadas pela Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), encontrando-se estas últimas plenamente implementadas.

Classificado como edifício de média altura (Portaria nº 135/2020, de 2 de junho), constituído por dois pisos acima do plano de referência e um piso de galerias abaixo do referido plano, tem nas suas instalações, de acordo com a sua natureza, ocupação e riscos agravados de incêndio, vários locais de risco (Lei nº 123/2019, de 18 de outubro);

- Edifício administrativo e de monitorização:
  - Locais de risco A - gabinetes e salas de reuniões;
  - Locais de risco F - sala do *Data Center* e servidores do edifício administrativo;

- Edifício de operação:
  - Locais de risco A - zonas afetas a atividades do tipo polo de Alcântara;
  - Locais de risco C - todos os restantes locais pertencentes a esta instalação;
  - Locais de Risco F - Sala de comando - Posto de segurança da Utilização Tipo - e os espaços onde estão instalados os grupos eletrogenos de emergência (GEE).

O posto de segurança localizado na sala de comando do edifício de operação, é o local a partir de onde, em situação de emergência, se coordenam todos os meios operacionais e logísticos da fábrica de água e onde se encontra a chave de corte geral de energia elétrica da fábrica.

Aqui recebem-se e difundem-se os alarmes internos e, em caso de necessidade comprovada, emitem-se os alertas para as forças de socorro externas, por exemplo os bombeiros.

É ainda neste posto que se centraliza toda a informação de segurança referente ao complexo industrial; instruções de funcionamento das centrais de deteção automática; lista de contactos internos e externos a fazer em caso de emergência; e a documentação necessária para consulta por parte das equipas de socorro externas, ou seja, as medidas de autoproteção aprovadas pela ANEPC.

Relativamente aos acessos definidos para as viaturas de socorro à zona de operação (Figura 4-7), estes podem ser feitos pela portaria norte ou pela portaria sul, havendo ainda mais duas portas de acesso viradas para a Avenida de Ceuta.



Figura 4-7 - Acessibilidades viárias ao edifício de operação na Fábrica de Água: a) Portaria norte; b) Acesso junto à portaria sul; c) Acesso lateral

O acesso de viaturas à zona administrativa da Fábrica de Água é condicionado por cancela/pórtico instalada na entrada principal, portaria sul (Figura 4-8), havendo no entanto alguém permanentemente disponível na mesma, para a operar. É neste mesmo local que as equipas de socorro, quando chegam às instalações da fábrica numa situação de sinistro, são recebidas pelo responsável de segurança ou pelo delegado de segurança por si nomeado, disponibilizando qualquer um deles todas as informações necessárias relativamente à

emergência em curso e às condições do edifício, nomeadamente os quais os meios disponíveis para utilização pelas equipas de socorro e as suas localizações.



Figura 4-8 - Acessibilidade viária aos edifícios sede e de monitorização

A aproximação das viaturas dos bombeiros à fachada principal e respetiva entrada do edifício administrativo e de monitorização, bem como aos parques de estacionamento que lhe dão apoio, é garantida pelas vias de circulação interna (Figura 4-9). As fachadas do referido edifício dispõem de vãos exteriores acessíveis que possibilitam a entrada direta e a fácil progressão dos bombeiros para o seu interior, permitindo assim um desenvolvimento de eventuais operações de socorro mais eficaz.



Figura 4-9 - Vias de circulação interna: a) Acesso ao edifício administrativo e de monitorização; b) Acesso aos parques de estacionamento

São também estas vias de circulação interna que possibilitam a aproximação das equipas de socorro à cobertura ajardinada e respetivas zonas de lazer a partir do interior do complexo industrial (Figura 4-10).



Figura 4-10 - Acessibilidade à cobertura ajardinada pelas vias de circulação interna

Em particular, a cobertura ajardinada, seja nas zonas que se encontram por cima dos estacionamentos ou nas que cobrem o edifício administrativo e de monitorização, é de fácil acesso, tanto pelo interior das instalações, como pelo perímetro exterior do próprio complexo, pela aproximação que as viaturas de socorro conseguem fazer às fachadas. Existem também duas escadas que permitem aceder à cobertura ajardinada que poderão ser utilizadas para evacuação da mesma em caso de emergência (Figura 4-11).



Figura 4-11 - Escadas exteriores de acesso à cobertura ajardinada: a) Junto ao Viaduto Duarte Pacheco; b) Próxima da entrada principal das instalações

Em termos de prontidão do socorro, a distância de cerca de 3,2 km existente entre a Fábrica de Água de Alcântara e o quartel de bombeiros mais próximo, quartel do Regimento de Sapadores

Bombeiros, 2ª Companhia (Figura 4-12), corresponderá a cerca de 7 minutos de tempo estimado de chegada das viaturas em caso de sinistro.



Figura 4-12 - Distância da Fábrica de Água de Alcântara ao Quartel do RSB mais próximo, Quartel do Alto de Santo Amaro, 2ª Companhia (Google Maps, setembro de 2020)

Na área de jardim que se encontra na cobertura dos edifícios não existe nenhum sistema de deteção de incêndio, no entanto, através da visualização da referida área através do sistema de circuito fechado de televisão instalado, é possível detetar precocemente alguma situação que possa despoletar qualquer incidente, o que agiliza o alarme e eventual alerta a equipas de socorro externas.

A manutenção do sistema ajardinado, manutenção programada, é feita por profissionais credenciados e legalmente habilitados, procedendo-se a cortes e limpeza de resíduos naturais sempre que se justifique. São também periodicamente supervisionadas as condições dos elementos que constituem a estrutura de suporte do jardim, em particular desgastes provocados pela utilização normal e/ou pela exposição à intempérie (Figura 4-13).



Figura 4-13 - Operações de manutenção (crédito: Apresentação da cobertura feita pela Águas de Portugal (AdP) na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa)

#### 4.1.2 Vulnerabilidade do Sistema

Estruturalmente, tratando-se de uma cobertura em laje de betão armado projetada para receber uma solução ajardinada, são cumpridas as exigências definidas pelos Eurocódigo 0: Bases para o projeto de estruturas (NP EN 1990, 2009) e Eurocódigo 1: Acções em estruturas (NP EN 1991, 2009), pelo que não se coloca a questão de acréscimo do risco de colapso antecipado em caso de incêndio devido ao aumento de carga induzido pelo referido sistema.

Relativamente às várias camadas que a compõem, nos locais onde são observáveis e considerando a inexistência de qualquer tipo de problemas no interior dos edifícios, tais como infiltrações, por exemplo, todas elas aparentam estar em boas condições, não criando assim dificuldades de mobilidade às equipas de socorro nem contribuindo para uma eventual propagação de incêndio para o interior do edifício (Figura 4-14).

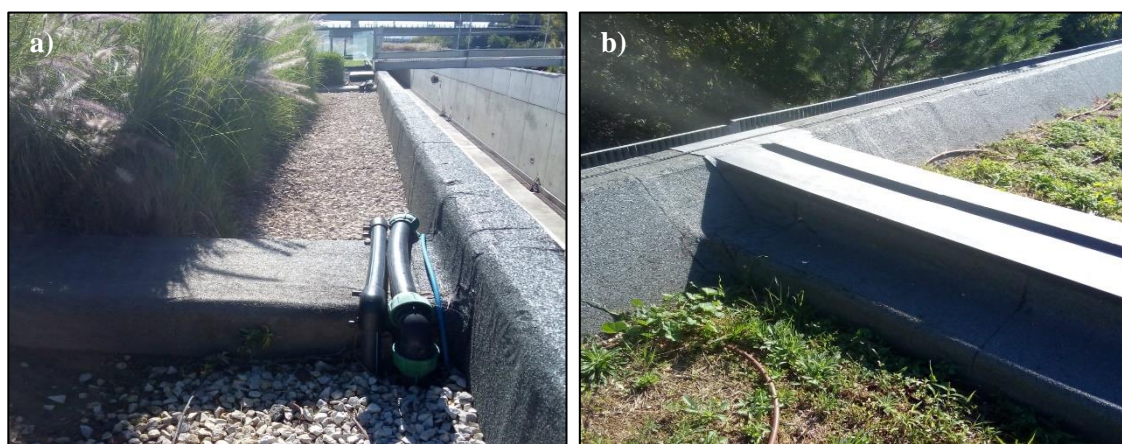


Figura 4-14 - Tela de impermeabilização: a) Cobertura do edifício administrativo; b) Cobertura da zona de estacionamento

Considerando também a execução da solução ajardinada em estudo, dando cumprimento às boas práticas estabelecidas para a execução destes sistemas, seja em termos de distribuição ou de escolha das espécies colocadas, serão agora referidas situações susceptíveis de potenciar ou agravar as condições de segurança contra incêndios da cobertura em particular, do edifício no geral e/ou as condições de segurança das equipas de emergência empenhadas no socorro no mesmo. Trata-se de uma cobertura plana e acessível onde foram consideradas, para além das visitas previstas pelas equipas afetas à manutenção da mesma, áreas para convívio e lazer, o que implicou a definição de várias saídas (Figura 4-15) que, em caso de emergência, facilitarão tanto a evacuação desses espaços como a acessibilidade à cobertura por parte das equipas de socorro.

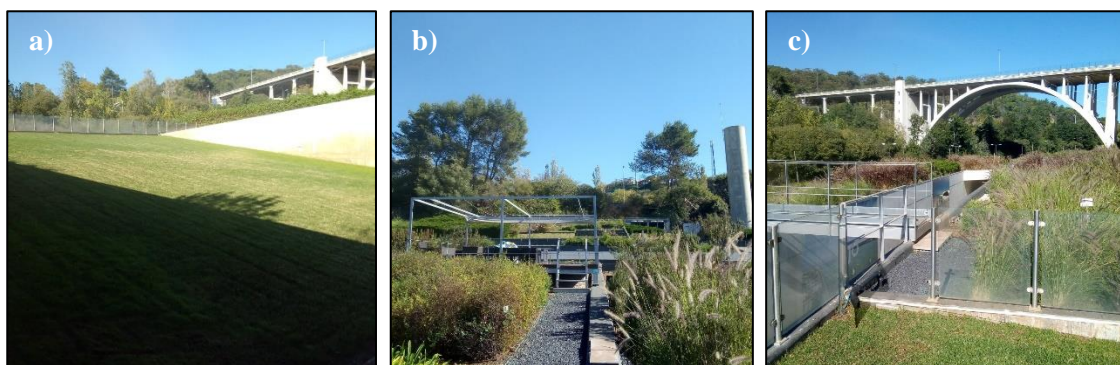


Figura 4-15 - Acessibilidades pedonais à cobertura jardim: a) Rampa jardim; b) Passagens de acesso aos *spots* de convívio; c) Caminhos definidos

Trata-se de uma cobertura ampla que não apresenta dificuldades acrescidas de progressão/atuação para as equipas de socorro em caso de algum incidente, no entanto, ainda que exista uma largura considerável das faixas que separam a vegetação dos limites da cobertura, numa grande extensão desses mesmos limites não existe qualquer tipo de proteção contra quedas (Figura 4-16), o que se traduz num risco acrescido não só para as equipas de socorro como também para o pessoal afeto às tarefas de manutenção ou até mesmo a eventuais utilizadores dos espaços de lazer.



Figura 4-16 - Cobertura sem "guardas" contra quedas: a) Cobertura dos parques de estacionamento e do edifício administrativo e de monitorização; b) Cobertura do edifício de operação

A não existência de quaisquer outros equipamentos técnicos ou mesmo de segurança contra incêndios (claraboias, por exemplo), por outro lado, contribui significativamente para reduzir a possibilidade de propagação de incêndios da cobertura ajardinada para esses equipamentos ou que estes possam ser os causadores de qualquer incidente.

Relativamente ainda à questão de uma eventual propagação de incêndios a partir da cobertura entre os vários edifícios que constituem a Fábrica de Água, estacionamentos, operação,

monitorização e sede, pela distância que existe entre eles e também pelo tipo de vegetação aplicada, a probabilidade de ocorrência é baixa, no entanto, não existe qualquer tipo de equipamento de extinção de incêndios colocado na cobertura.

#### 4.1.3 Sugestões - Medidas Compensatórias

Serão agora enumeradas algumas sugestões relativamente a situações de maior vulnerabilidade detetadas na solução de cobertura ajardinada instalada e possam implicar acréscimos de risco para o próprio sistema, para o edifício onde este está instalado ou mesmo para o pessoal afeto a ações de manutenção ou às equipas de socorro que eventualmente nele tenham de vir a operar.

Por se tratar de uma cobertura jardim e para evitar a possibilidade das plantas que a constituem se tornarem uma fonte de ignição e/ou de propagação de incêndios, em particular durante as estações mais quentes, sugere-se que nas referidas estações se elevem os níveis de manutenção. Este incremento deverá incidir fundamentalmente em termos de cortes e de remoção dos materiais que se vão acumulando e que podem ser facilmente inflamados, contribuindo também eles para o desenvolvimento de um incêndio. Dessa forma evita-se o acumular de matéria combustível e de continuidade entre ela, reduzindo-se a probabilidade de eclosão e de propagação de incêndios na cobertura.

Com esta manutenção deverá ainda garantir-se a descontinuidade entre a vegetação da própria cobertura com a vegetação da Serra de Monsanto, evitando-se dessa forma eventuais propagações entre ambas (Figura 4-17).



Figura 4-17 - Continuidade de matéria verde entre cobertura ajardinada e vegetação - árvores - da zona envolvente

Tendo em consideração que a cobertura ajardinada em análise é ampla e facilmente acessível pelas equipas de socorro, seja pelos acessos existentes ou por meios das próprias equipas, no caso de um incêndio, o maior risco a que estes elementos estarão sujeitos será o risco de queda.

Tal como foi anteriormente mencionado, a cobertura não tem nenhum sistema de proteção contra quedas numa extensão significativa dos seus limites, existindo apenas esta proteção nos locais onde está prevista a permanência de visitantes, nomeadamente nas zonas de lazer e nos seus acessos. Desta forma, não só as equipas de manutenção como também os elementos das equipas de socorro em operação, podem com alguma facilidade ser vítimas de quedas, em particular estas últimas, principalmente se estiverem envolvidas numa intervenção noturna. Assim, sugere-se o estudo e implementação de algum sistema de segurança que possa minimizar este risco.

Em termos de sistemas de deteção de incêndio, por ser um espaço exterior e porque já existe um sistema de circuito fechado de televisão nas instalações, sugere-se o alargamento da área protegida a toda a área da cobertura, conseguindo-se dessa forma uma deteção o mais precocemente possível, com todas as vantagens associadas em termos de evacuação e acionamento de meios/equipas de socorro.

Ainda que não existam equipamentos de primeira intervenção na cobertura, estes, tanto extintores como bocas-de-incêndio do tipo carretel, encontram-se perto da mesma e estão facilmente acessíveis, colocados junto às saídas pedonais dos parques de estacionamento, imediatamente por baixo do jardim (Figura 4-18); assim, sugere-se apenas que, em função do tipo de evento realizado nas zonas de lazer, sejam colocados nesses mesmos locais extintores portáteis para utilização em caso de verificação de algum foco de incêndio.

Para concluir, sugere-se que sejam incluídos nas medidas de auto-proteção (MAP) exercícios de simulacro que incluam a cobertura, preferencialmente numa situação de uso para lazer, para avaliação das reais condições de evacuação e de segurança de atuação, não apenas das equipas afetas à UT mas também das equipas de socorro exteriores acionadas.

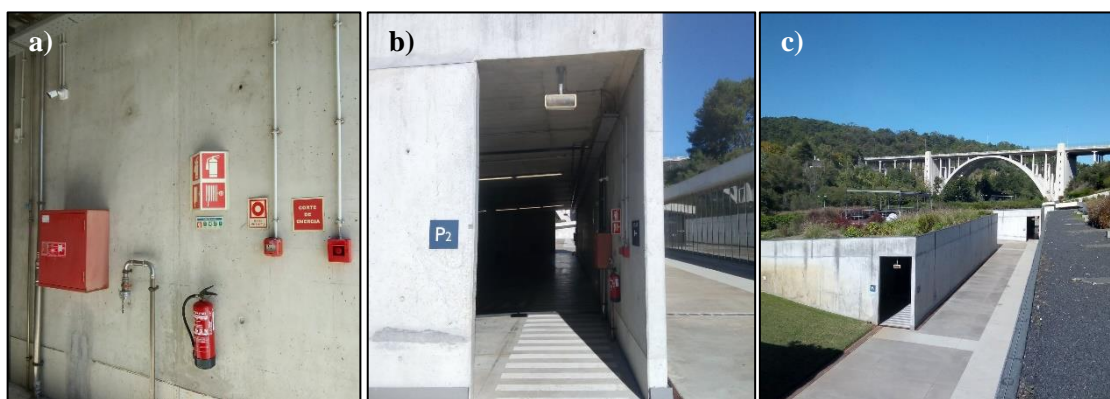


Figura 4-18 – Disponibilidade de equipamentos de SCIE: a) Colocação nos parques de estacionamento; b) Saída pedonal de estacionamento; c) Rampa jardim de acesso às zonas de lazer

## 4.2 Energia solar fotovoltaica

### 4.2.1 Caracterização do edifício em estudo

O caso de estudo de cobertura com instalação de um sistema fotovoltaico encontra-se na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campus Universitário do Campo Grande (Figura 4-19), mais concretamente no edifício C1 desta Faculdade.

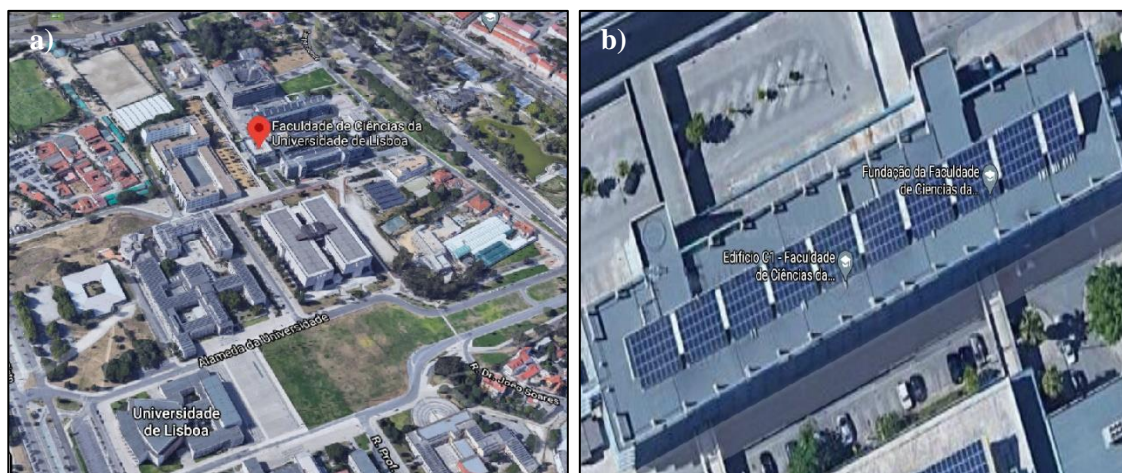


Figura 4-19 - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (*Google Maps*, setembro de 2020): a) Campus da Fac. Ciências b) Edifício C1 da Fac. de Ciências

A instalação de painéis fotovoltaicos, Projeto Universidade Verde, integra o plano de sustentabilidade ambiental da Universidade de Lisboa, constituindo-se como um projeto pioneiro a nível universitário em Portugal.

Para a implementação do referido projeto contribuíram tanto a localização e orientação solar favorável de alguns dos seus edifícios, alguns deles inclusivamente projetados com esse objetivo, edifício C1, C2 e C4 da Faculdade de Ciências, como a possibilidade de estudo do funcionamento de um destes sistemas de geração de energia renovável criada dentro da própria Universidade.

A Universidade de Lisboa, após efetuar o registo e a obtenção das licenças para a construção e exploração de centrais fotovoltaicas ao abrigo do Decreto-Lei nº 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei nº 25/2013, de 19 de fevereiro e posteriormente pelo Decreto-Lei nº 153/2014, de 20 de outubro, assinou com a Galp Power S.A um contrato modelo baseado na partilha de receitas obtidas com a venda de energia elétrica à rede. Desta forma, para além das vantagens conseguidas em termos de sustentabilidade, a Universidade de Lisboa obtém recursos financeiros extraordinários para aplicação direta na introdução e desenvolvimento de medidas que promovam a eficiência energética e racionalização de consumos nos seus edifícios, apoiando ainda projetos desenvolvidos pela própria comunidade universitária no âmbito da eficiência energética e preservação ambiental.

Trata-se de um sistema de mini-geração para a produção de eletricidade a partir de painéis solares fotovoltaicos constituído pela ligação de quatro unidades de produção distintas, encontrando-se estas nas seguintes localizações:

- Faculdade de Ciências (Figura 4-20a), nos Edifícios C1, C2 e C4, e ainda uma central no “Jardim de Pedra” do Edifício C7;
- Faculdade de Psicologia e Instituto de Educação (Figura 4-20b);
- Edifício da Biblioteca e Centro de Estudos Clássicos (Figura 4-21a);
- Faculdade de Letras e Centro de História (Figura 4-21b).

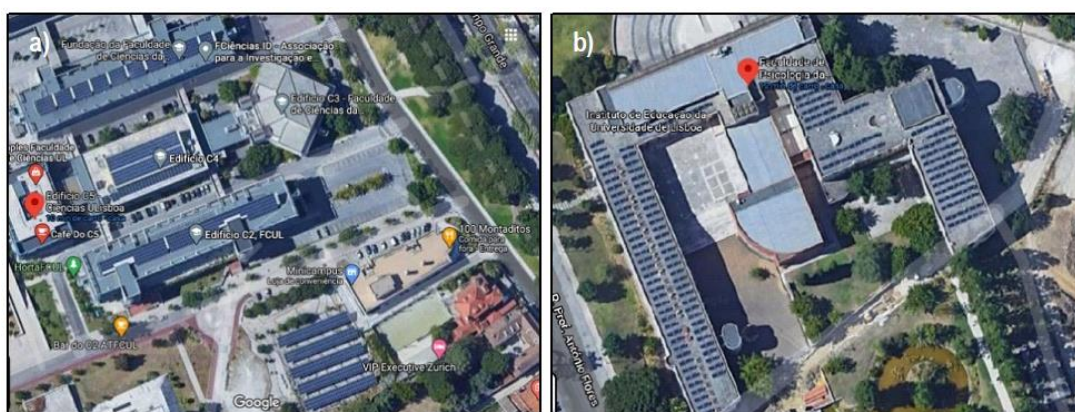


Figura 4-20 - Implantação dos sistemas fotovoltaicos na Universidade de Lisboa (Google Maps, setembro de 2020): a) Faculdade de Ciências, b) Faculdade de Psicologia e Instituto de Educação



Figura 4-21 - Implantação dos sistemas fotovoltaicos na Universidade de Lisboa (Google Maps, setembro de 2020): a) Biblioteca e Centro de Estudos Clássicos, b) Faculdade de Letras e Centro de História

No total, as quatro centrais têm uma área de implantação de 8.495 m<sup>2</sup> e, são constituídas por 2.627 painéis fotovoltaicos, que correspondem a uma potência instalada de 644 kW, produzindo cerca de 1.290 GWh/ano de energia renovável o que se traduz numa redução de emissões de 12.106 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por ano para a atmosfera.

Esta ação corresponde à primeira fase de um projeto que, depois de finalizada a instalação de todas as centrais, mais de 10.000 painéis fotovoltaicos que corresponderão a uma potência

instalada de mais de 2 MW e uma produção de 4,28 GWh por ano, visa alcançar a colocação de painéis fotovoltaicos em toda a universidade, não apenas nas coberturas das faculdades, mas também nos parques de estacionamento e nas áreas de lazer (Figura 4-22), constituindo-se desta forma como um dos maiores projetos de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis não apenas na cidade de Lisboa mas também entre as instituições de ensino superior em Portugal e na Europa.

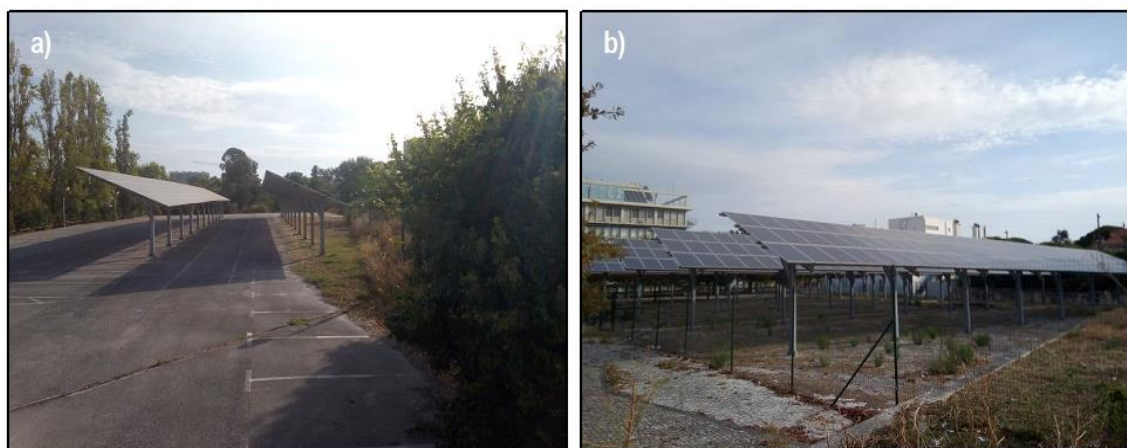


Figura 4-22 - Instalação fotovoltaica no solo; a) Parque de estacionamento da Faculdade de Psicologia e Instituto de Educação, b) Jardim de Pedra do edifício C7

Em particular, a central de mini-geração fotovoltaica da Faculdade de Ciências, em pleno funcionamento desde 2014, é constituída por 1124 módulos fotovoltaicos. Estes módulos, colocados nos edifícios C1, C2 e C4 e ainda na central do Jardim de Pedra do edifício C7, correspondem a um total de 275 kWp instalados, sendo toda a energia por eles produzida injetada na rede.

As instalações fotovoltaicas em análise localizam-se nas coberturas dos edifícios da faculdade (Figura 4-23), sendo a central do Jardim de Pedra do edifício C7 (Figura 4-22), que se encontra ao nível do solo junto ao refeitório 1, a única exceção.

Estes edifícios, de que é exemplo o edifício C1, são classificados como Utilizações Tipo Mistas com utilização principal do Tipo IV «Escolares» (Lei nº 123/2019, de 18 de outubro de 2019), e são fundamentalmente compostos por salas de aula, anfiteatros, gabinetes de trabalho e instalações de apoio à atividade docente.



Figura 4-23 - Unidade de produção da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa colocada na cobertura do edifício C1

Os referidos edifícios, C1, C2 e C4, com entradas em funcionamento entre os anos de 1984 e 1988, caracterizam-se por serem de estrutura resistente, pilares e vigas de betão, e cobertura em laje de betão, com paredes em alvenaria de tijolo, sejam elas interiores ou exteriores.

Edifícios isentos de elaboração de projeto de segurança (Decreto-Lei nº 199/2004, de 18 de agosto) mas com medidas de autoproteção elaboradas e implementadas ou, não sendo este o caso, em fase de submissão/análise para aprovação pela ANEPC para posterior implementação.

Classificados como edifícios de média altura (Portaria nº 135/2020, de 2 de junho), os edifícios C1 e C2 constituídos por seis pisos e o edifício C4 constituído por quatro pisos, todos eles a cotas positivas, apresentam, de acordo com a sua natureza, ocupação e riscos agravados de incêndio, os seguintes locais de risco:

- Locais de Risco A - gabinetes, salas de aulas e salas de leitura;
- Locais de Risco B - auditórios e bibliotecas;
- Locais de Risco C - armazéns e arquivos, cozinhas e laboratórios; casa das máquinas dos elevadores; e oficinas.

Para além destes, existem ainda locais de Risco F, caracterizados por possuírem meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo, tais como o *Data Center* localizado no piso 2 do edifício C1, os quadros gerais de baixa tensão (QGBT) localizados nos pisos 1 dos edifícios C1 e C2 e ainda a central de bombagem localizada no piso 1 do edifício C4 (Lei nº 123/2019, de 18 de outubro).

As fachadas dos vários edifícios dispõem de vãos exteriores (portas e janelas) acessíveis que permitem a entrada direta e a fácil progressão dos bombeiros para o interior dos mesmos para o

desenvolvimento de eventuais operações de socorro, sendo em particular, as coberturas também acessíveis pelo exterior dos edifícios, seja pela aproximação das viaturas às fachadas, seja ainda pelas “saídas de emergência” (Figura 4-24), escadas de acesso exteriores das próprias coberturas.

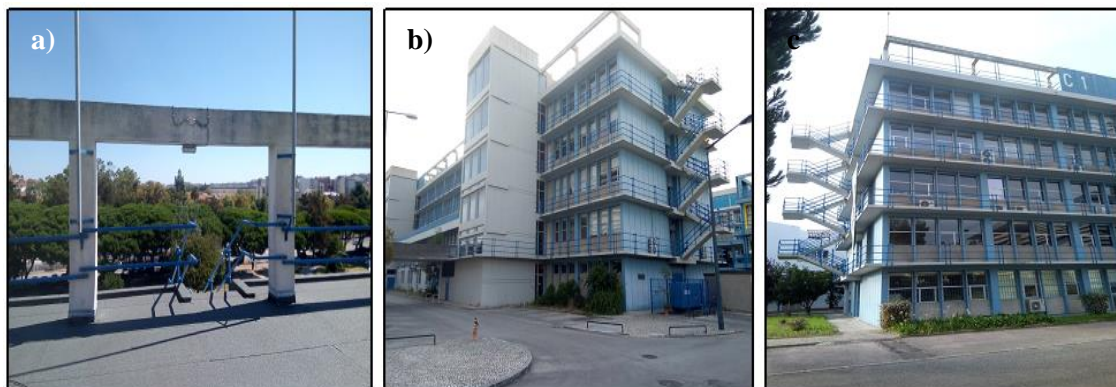


Figura 4-24 - Saída de emergência do edifício C1: a) Saída na cobertura, b) Escada de emergência da fachada do alçado direito, c) Escada de emergência da fachada do alçado esquerdo

No que diz respeito ao abastecimento de água das viaturas de socorro, a mesma é garantida por hidrantes exteriores do tipo marcos de incêndio (Figura 4-25) que se encontram colocados de forma a cobrirem todas as fachadas dos edifícios, sendo estes alimentados pela rede pública.



Figura 4-25 - Marco de incêndio localizado junto ao edifício C1

Em termos de prontidão do socorro, a distância de cerca de 2,1 km existente entre a Universidade de Lisboa e o quartel de bombeiros mais próximo, quartel do Regimento de Sapadores Bombeiros, 3ª Companhia (Figura 4-26), corresponderá a cerca de 5 minutos de tempo estimado de chegada das viaturas em caso de sinistro.

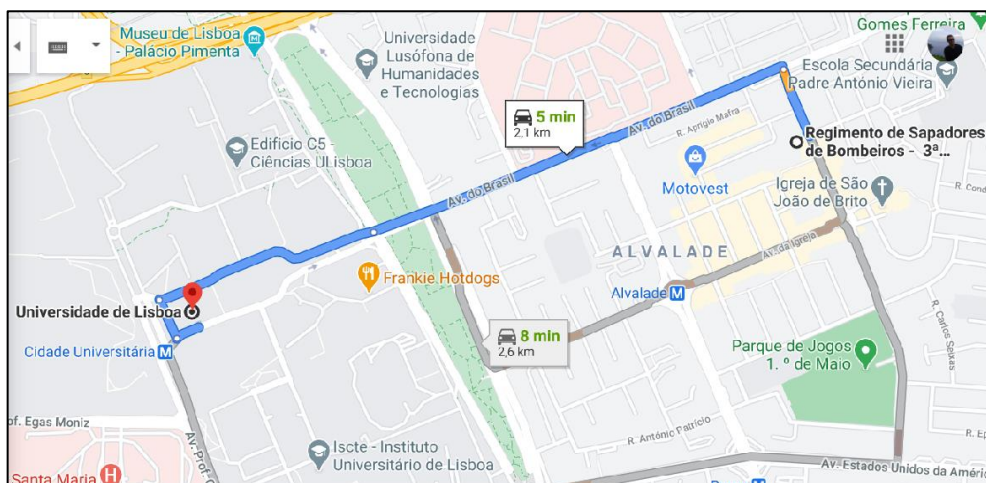


Figura 4-26 - Distância do Campus do Campo Grande da UL ao Quartel do RSB mais próximo, Quartel de Alvalade, 3ª Companhia (Google Maps, setembro de 2020)

Sem qualquer tipo de condicionamento de acesso pedonal aos edifícios da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, o acesso a veículos está condicionado por meio de cancelas/pórticos.

Os acessos viários à Faculdade de Ciências (FC) podem ser feitos por quatro pontos alternativos; dois através de cancelas/pórticos de acesso às vias internas, um utilizado apenas em situação de emergência ou por transportes excepcionais, e um último que é a entrada na garagem de um dos edifícios do campus, sendo também este controlado por cancela/pórtico.

Em caso de emergência, a acessibilidade das viaturas de socorro às áreas protegidas pelas referidas cancelas/pórticos está garantida, na medida em que estas são operadas a partir da central de segurança instalada na portaria do edifício C8 onde se encontra um vigilante 24 horas por dia, todos os dias do ano.

As vias de circulação de viaturas de socorro, sejam as internas, vias que circundam os vários edifícios da FC, sejam as externas, têm largura superior a cinco metros, podendo no entanto haver dificuldade de circulação e/ou atuação de algumas viaturas pela existência de condicionamentos em termos de altura útil. Viaturas de socorro com altura superior a 3,10 m podem, em função do local de uma eventual ocorrência, ficar limitadas apenas a um dos três pontos de acesso, uma vez que a via passa sob passagens pedonais com alturas úteis de 3,60 m entre os edifícios C2-C4 e C1-C4 (Figura 4-27); 3,50 m entre os edifícios C4-C5 e C1-C8 e 3,10 m entre os edifícios C1-C8.

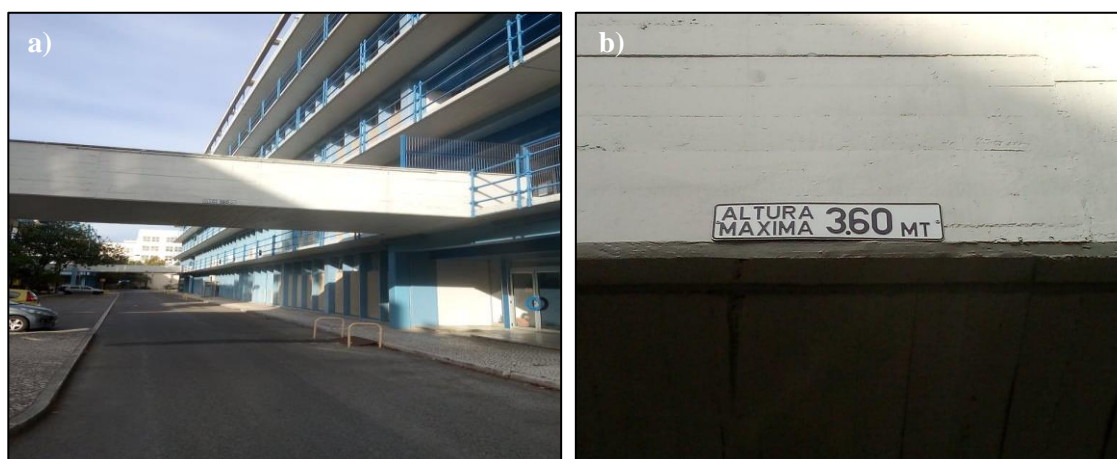


Figura 4-27 - Passagens pedonais aéreas entre edifícios da Faculdade de Ciências, Lisboa: a) Passagem pedonal entre os edifícios C1 e C4; b) Pormenor da placa de aviso de altura máxima para veículos

A estas equipas, aquando da chegada à FC numa situação de sinistro, são disponibilizadas todas as informações necessárias relativas ao evento e às condições

O Posto de Segurança da FC, destinado a centralizar toda a informação e a coordenar equipas de emergência e os meios de socorro externos, localiza-se no piso dois do edifício C5. É neste posto que se encontram os quadros repetidores das centrais de deteção dos outros edifícios e onde são recebidos e difundidos os alarmes e transmitidos os alertas estando também neste local toda a informação necessária durante uma emergência; tal como as instruções de funcionamento das centrais de deteção, a lista de contactos internos e externos a fazer em caso de emergência e a documentação necessária para consulta pelas equipas de socorro externas, em particular as MAP aprovadas pela ANEPC.

No presente sistema fotovoltaico encontramos os painéis solares colocados numa estrutura metálica mecanicamente fixa ao suporte da cobertura de betão armado, instalados com orientação solar a sul com uma inclinação de 30°.

O sistema instalado, composto por 390 painéis solares “Conergy PH 245P”, está organizado em ligações de três séries de 23 painéis a cada um dos cinco inversores “IPG 15 T”, e três séries de 15 painéis ligadas ao inversor “IPG 8T”.

Os Inversores e os respetivos quadros de corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC) estão instalados na cobertura por baixo dos módulos fotovoltaicos (Figura 4-28), encontrando-se todos eles colocados em caixas devidamente sinalizadas que os protegem contra as condições climatéricas.

As cablagens presentes na zona da cobertura encontram-se protegidas contra as intempéries e contra eventuais ações mecânicas por calhas, não estando no entanto sinalizadas (pelo menos as de DC) para facilitar a sua rápida deteção por parte das equipas de socorro.



Figura 4-28 - Inversores e quadros AC/DC

Na manutenção ao sistema, do tipo programada feita por profissionais credenciados e legalmente habilitados, são periodicamente supervisionadas as condições dos elementos que o compõem, em particular desgastes provocados pela utilização normal e/ou pela exposição à intempérie.

É também feita uma verificação a todos os componentes do sistema sempre que os valores de produção se afastam dos espectáveis, corrigindo as anomalias que estejam na origem da perturbação e repondo assim os níveis ótimos de produção. Essa detecção é feita através do sistema de monitorização de dados (Conergy VisionBox) que controla o funcionamento dos inversores, nomeadamente pela análise da quantidade de energia exportada para a rede, da tensão e da corrente de saída (Mendes, 2016).

#### 4.2.2 Vulnerabilidade do Sistema

Tendo em consideração que a instalação em estudo foi executada de acordo com a legislação vigente (Portaria nº 949-A/2006, de 11 de setembro, posteriormente alterada pela Portaria nº 252/2015, de 19 de agosto) e que os equipamentos da mesma cumprem as normas e certificações exigidas (IEC/EN 61215, 2016 e IEC/EN 61730-1, 2013), serão agora referidas situações suscetíveis de potenciar ou agravar as condições de segurança contra incêndios no edifício e/ou as condições de segurança das equipas de emergência empenhadas no socorro no mesmo.

A cobertura do edifício C1 é uma laje de betão armado com uma cobertura plana acessível e revestida por tela isolante não combustível (Figura 4-29), que apenas é utilizada/visitada por técnicos responsáveis pelas operações de manutenção e eventual reparação dos equipamentos nela instalados. A referida tela apresenta-se sem irregularidades de aplicação e em bom estado

de conservação, não criando desta forma qualquer dificuldade de mobilidade às equipas de socorro nem contribuindo para uma eventual propagação de incêndio.



Figura 4-29 - Tela de impermeabilização: a) Remates junto a pontos singulares; b) Zona corrente

Pela solução estrutural da mesma, o risco de colapso antecipado em caso de incêndio devido ao aumento de carga induzido pelo sistema fotovoltaico não se coloca, uma vez que no projeto estrutural este sistema já foi considerado.

Trata-se de uma cobertura ampla que não apresenta dificuldades acrescidas de progressão/atuação para as equipas de socorro em caso de algum incidente. A distância do sistema fotovoltaico aos limites da cobertura, também não representa um agravamento do risco de queda para elementos que ali se movimentem, sejam da manutenção ou das equipas de socorro.

A não existência de outros equipamentos nas imediações do sistema fotovoltaico, técnicos ou de SCIE tais como claraboias, além de contribuir para a anteriormente referida facilidade de atuação e de progressão das equipas de socorro, minimiza ainda a possibilidade de propagação de incêndios entre eles e o sistema próprio sistema fotovoltaico.

Relativamente ainda às questões de propagação de incêndios, a distância a que os edifícios se encontram uns em relação aos outros reduz consideravelmente a probabilidade de ocorrerem esses eventos entre eles; o risco de propagação entre a cobertura e o interior do próprio edifício também é baixo, devido à separação física proporcionada pela laje de betão armado que suporta o sistema.

Refira-se ainda a existência, para além dos acessos à cobertura a partir do interior do edifício, de duas escadas exteriores (Figura 4-24b e c), uma em cada topo do edifício. Estas permitirão tanto o acesso das equipas de socorro à cobertura como uma saída de emergência em caso de algum sinistro, tanto dos técnicos de manutenção do sistema fotovoltaico como das próprias equipas de socorro.

O sistema fotovoltaico presente no edifício C1, encontra-se montado numa estrutura metálica fixa mecanicamente às lajes de betão armado, servindo de cobertura inclinada para aceder ao interior do edifício (Figura 4-30).

O afastamento entre a base dos painéis e a laje inclinada onde estes estão fixos dificulta, em caso de incêndio, a projeção direta de qualquer tipo de agente extintor para a base das chamas por parte das equipas de socorro, sendo esta situação ainda agravada pela existência de um murete nos limites laterais e superior da referida laje.



Figura 4-30 - Instalação dos painéis fotovoltaicos no edifício C1 da Faculdade de Ciências

A distância entre as referidas lajes cria um espaço vazio por baixo dos módulos, espaço esse utilizado para a instalação dos inversores (Figura 4-28), quadros elétricos e cablagens (Figura 4-31), estando todos estes componentes com um bom estado de conservação.

Se por um lado a colocação destes equipamentos no referido espaço vazio tem a vantagem de os proteger contra as condições climáticas adversas e para o seu ótimo funcionamento, nomeadamente as elevadas temperaturas provocadas pela exposição direta ao sol e contacto com as águas da chuva, por outro lado, em caso de incêndio, a atuação das equipas de socorro pode ficar seriamente comprometida, ficando estas inibidas de aceder aos interruptores de corrente do sistema.

Esta situação é ainda agravada pela não existência de qualquer tipo de sinalização inequívoca da localização destes equipamentos (quadros e inversores) ou dos cabos de corrente contínua.

Também não existe qualquer outro tipo de sinalização de emergência, tal como indicação das saídas de emergência da cobertura, ou seja, as escadas exteriores existentes nos topos do edifício anteriormente referidas (Figura 4-24a), o que as torna quase imperceptíveis para quem não esteja familiarizado com o local, em particular os elementos das equipas de socorro.



Figura 4-31 - Montagem do quadro de corte geral

Relativamente ao número de painéis instalados; se em particular no que diz respeito à instalação presente na cobertura do edifício C1 não se verificam discrepâncias entre o número de painéis previstos e os efetivamente montados, constatou-se que o mesmo não acontece relativamente aos edifícios C2 e C4.

Esta discrepância implica necessariamente que o esquema de ligações presente na instalação não corresponda ao esquema de montagem previsto em projeto, o que, pela complexidade do sistema e da sua estrutura de montagem, dificulta a confirmação física de quais as ligações que correspondem a cada inversor (Mendes 2016). Esta situação poderá ter implicações diretas na segurança tanto dos elementos que fazem a manutenção do sistema como das próprias equipas de socorro, uma vez que eventuais cortes executados para garantir as suas seguranças de atuação podem não ser realizadas de facto, expondo todos estes elementos ao risco de choque elétrico.

Constata-se ainda a não existência de qualquer tipo de sistema automático de deteção ou de extinção de incêndios associado ao sistema fotovoltaico instalado, da mesma forma que, também não existem quaisquer tipos de equipamentos de primeira intervenção disponíveis na cobertura, nomeadamente extintores. Estes equipamento de primeira intervenção podem eventualmente ser utilizados pelos técnicos que procedem às operações de manutenção dos equipamentos instalados, se durante essas operações ocorrer algum princípio de incêndio.

Por outro lado, na eventualidade da ocorrência de um evento desta natureza, esses técnicos estarão impossibilitados de dar um alarme rápido e eficiente, na medida em que também não estão presentes botoneiras de alarme na cobertura.

#### 4.2.3 Sugestões - Medidas Compensatórias

Serão agora enumeradas algumas sugestões relativamente a situações de maior vulnerabilidade detetadas no sistema fotovoltaico instalado e que possam implicar acréscimos de risco para o próprio sistema, para o edifício onde este está instalado ou mesmo para o pessoal afeto às ações de manutenção ou às equipas de socorro que eventualmente nele tenham de vir a operar.

Relativamente à cobertura em si mesma, tendo presente que é ampla e não tem equipamentos que interfiram ou condicionem a atividade de socorro que aí possa eventualmente ter que se desenvolver, deverão ser garantidas as boas condições do material de revestimento para a proteger.

A tela de impermeabilização, devido ao envelhecimento que sofre pela exposição às condições climáticas a que se encontra sujeita (por exemplo, radiação solar e as águas da chuva), vai perdendo as suas propriedades, em particular as de não inflamabilidade e de incombustibilidade, pelo que deverá ser alvo de atenção para não se tornar com o passar do tempo um elemento potencialmente propagador de incêndios.

O edifício deverá ainda estar identificado como apresentando perigo de eletrocussão através da colocação de sinalização específica desse perigo, em particular junto à entrada principal, nomeadamente no posto de segurança e, preferencialmente, em cada uma das acessibilidades que o mesmo tem para a cobertura, prevenindo desta forma as equipas de socorro para este risco acrescido para as suas operações.

No que diz respeito ao sistema fotovoltaico, tendo-se constatado através da análise da documentação relativa ao esquema de instalação que a informação disponível apresenta incoerências com a realidade, nomeadamente no que se refere ao número de painéis instalados e conseqüentemente os esquemas de ligações destes com os inversores (Mendes, 2016), sugere-se que a aferição das reais condições de instalação e correspondente correção da documentação existente com esquemas de montagem e respetivos interruptores de energia, seja executada com urgência. A atual situação coloca a segurança das equipas de manutenção técnica e das equipas de socorro em risco, uma vez que estas, considerando terem procedido aos cortes de energia que lhes proporcionam condições de operação seguras, podem entrar em contacto com partes do sistema que não foi efetivamente desligado, motivo pelo qual esta correção deve ser feita o quanto antes.

Também se sugere a realocização dos quadros elétricos, em particular o quadro de corte geral com placa identificadora de “Corte Geral” (Figura 4-32), e dos inversores (Figura 4-28), bem como a sua sinalização inequívoca, como previsto no n° 1 do Artigo n° 76° da Portaria n° 135/2020, de 2 de junho (RT-SCIE); o local onde se encontram atualmente (no espaço vazado que se encontra por baixo dos painéis fotovoltaicos) dificultará ou até tornará mesmo impossível que estes estejam acessíveis para ser operados em caso de incêndio, além de que a sua não

identificação clara poderá culminar na sua não deteção e conseqüente não utilização, o que coloca a segurança dos intervenientes em ações de socorro em situação de maior risco e impossibilita a proteção do próprio sistema fotovoltaico.



Figura 4-32 - Quadro de corte geral do sistema fotovoltaico instalado na cobertura do edifício C1

Sugere-se ainda que, em termos de sinalização clara e inequívoca, se proceda da mesma forma em relação aos cabos elétricos, em particular aos cabos de corrente contínua.

O sistema instalado neste edifício não tem qualquer tipo de deteção de falhas a ele associado para além da análise do nível de produção de energia, percebendo-se apenas através desta, nomeadamente da deteção de quebras na produção, da existência de problemas no sistema. Esta análise não permite detetar um princípio de incêndio o que, não sendo feito em tempo útil, permitirá o desenvolvimento do mesmo. Sugere-se assim a instalação de sistemas de deteção de falhas, nomeadamente interruptores capazes de as detectar e de interromper o fluxo de corrente no sistema.

Em relação a uma eventual intervenção dos bombeiros num evento de incêndio no sistema fotovoltaico, tendo em consideração que as dimensões da cobertura o permitem, sugere-se a instalação de lonas opacas, colocadas estas num compartimento devidamente sinalizado para se conseguir uma inibição eficaz da produção de energia pela interrupção da iluminação dos painéis.

Será ainda desejável a instalação de sistemas eficientes de “corte rápido” de zona a ser operado pelas equipas de socorro para garantia de maior segurança de atuação.

Sugere-se ainda que se proceda a uma identificação clara das saídas de emergência da cobertura, através de placas de sinalização. Estas placas, juntamente com a iluminação proporcionada pelos blocos autónomos de iluminação já instalados, permitirão a rápida deteção e utilização das referidas saídas que, atualmente, até de dia dificilmente serão detetadas por alguém exterior à utilização do edifício.

Deverão também se colocados meios de primeira intervenção ao longo da cobertura, nomeadamente extintores; estes serão uma mais valia em particular para os elementos afetos às operações de manutenção, uma vez que quando em serviço, caso detetem alguma irregularidade tal como um foco de incêndio, atualmente não têm como o tentar controlar. Numa situação de princípio de incêndio, estes elementos também estão inibidos de dar um alarme rápido por não existirem botoneiras de alarme na cobertura, pelo que se sugere também a colocação destes equipamentos, em conformidade com o nº 4 do Artigo 76º da Portaria nº 135/2020, de 2 de junho (RT-SCIE).

Para uma rápida identificação da localização dos referidos equipamentos (como extintores e botoneiras de alarme), além da localização das saídas de emergência e dos cortes de energia do sistema, sugere-se ainda a colocação de plantas de emergência, que poderão ainda identificar a localização das mantas opacas que venham a ser colocadas na cobertura.

Para concluir, sugere-se que sejam incluídos nas MAP procedimentos de prevenção e de atuação em caso de sinistro na cobertura, havendo inclusivamente interesse na realização de exercícios de simulação e simulacros específicos para avaliação e treino das equipas afetas ao edifício e das equipas de socorro exteriores acionadas.



## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

Como referido, ainda que existam atualmente várias metodologias de avaliação e certificação da sustentabilidade para projetos de construção, as questões diretamente relacionadas com a SCIE não são frequentemente tidas em linha de conta, não sendo conseqüentemente feitas quaisquer exigências de medidas de proteção contra incêndios para a atribuição dessa certificação.

Com o desenvolvimento deste trabalho procurou perceber-se, através da análise de dois casos de estudo, como foram implementadas as soluções que estão de acordo com as atuais exigências de sustentabilidade e, de que forma as questões da segurança contra incêndios foram tratadas; se estiveram na base do desenvolvimento destes projetos, ou se apenas surgiram numa fase posterior, para dar resposta a situações só mais tarde detetadas.

Procurou-se ainda, considerando a legislação nacional de SCIE em vigor em Portugal, nomeadamente a Lei nº 123/2019, de 18 de outubro (RJ-SCIE) e a Portaria nº 135/2020, de 2 de junho (RT-SCIE), perceber de que forma esta acompanhou o desenvolvimento das tecnologias construtivas e dos materiais por elas empregues, ou se será aconselhável proceder-se a uma revisão e atualização nestas matérias da referida legislação.

Finalmente, admitindo a necessidade de atuação de equipas de socorro neste tipo de edifícios, perceber de que forma as suas condições de segurança foram consideradas, verificando se foram melhoradas ou, pelo contrário, agravadas.

Relativamente a uma cobertura em que esteja implementada uma solução em jardim, as questões a que devem ser dadas toda a atenção são, depois de garantida a resistência estrutural da estrutura de suporte, a manutenção adequada de todo o espaço ajardinado e a acessibilidade às equipas de intervenção.

No presente caso de estudo de cobertura ajardinada, tratando-se de um projeto de raiz, foram necessariamente consideradas as questões da resistência estrutural da laje de suporte, (NP EN 1990, 2009 e NP EN 1991, 2009), verificando-se também que é dado cumprimento ao plano de manutenção definido para o jardim. Assim, do ponto de vista da segurança contra incêndios, com estas duas condições asseguradas, constata-se que, pelo afastamento do complexo industrial a outro qualquer edificado ou a vegetação envolvente, a propagação de um eventual incêndio da cobertura para o exterior do complexo e vice-versa terá uma probabilidade muito baixa de ocorrer.

Também será baixa a probabilidade de propagação de incêndios entre a cobertura e os espaços interiores adjacentes, pela existência de materiais e equipamentos em conformidade com as exigências feitas pela legislação em vigor, RJ-SCIE e RT-SCIE.

Relativamente ainda às condições de atuação das equipas de socorro em caso de emergência; se por um lado as acessibilidades às coberturas, parques de estacionamento, edifícios administrativo e de monitorização e operação estão garantidas e facilitadas pela aproximação possível das viaturas dos bombeiros a qualquer ponto interior e exterior do complexo, o facto de não existir nenhum tipo de guardas de proteção anti queda nos limites da cobertura é um fator de risco acrescido para esses elementos.

Quando se trata de uma cobertura com um sistema solar fotovoltaico instalado, as questões que se prendem com a resistência estrutural da laje de suporte e com a manutenção de todos os componentes do sistema assumem-se também como fatores de elevada importância.

Devem ainda ser implementadas tecnologias e produtos de segurança que permitam um controlo efetivo ao nível da deteção e da aplicação de meios de extinção automáticas, nomeadamente os interruptores de circuito automáticos, capazes de detetar e de interromper o fluxo de corrente pela desativação do painel ou do conjunto de painéis afetados, e os interruptores de corte rápido para utilização humana direta em caso de emergência.

Por outro lado, deverá ser dada também especial atenção às condições de atuação dos bombeiros, garantindo-lhe áreas que lhes permitam manter distâncias de segurança em relação aos componentes do sistema, nomeadamente painéis, inversores, quadros e cablagens.

No presente caso de estudo, a cobertura em que se encontra a instalação fotovoltaica foi projetada com esse objetivo; pelo que, não existem questões relativamente à capacidade de resistência ao incremento de carga pelo sistema.

Também por esse motivo, foram definidas logo em projeto afastamentos de segurança entre o sistema fotovoltaico e outros equipamentos técnicos colocados na cobertura o que permite anular o risco de propagação de incêndio entre eles.

No que diz respeito à segurança das equipas de socorro, os afastamentos que se verificam nas áreas de passagem entre os componentes do sistema e os limites da cobertura, bem como a existência de escadas de emergência nos topos do edifício, permitem aos elementos das referidas equipas manter distâncias de atuação seguras e evacuar rapidamente a cobertura, em caso de necessidade.

Pelo exposto, conclui-se que, em ambos os casos de estudo, as questões de segurança contra incêndio foram tidas em consideração aquando da elaboração dos respetivos projetos, constatando-se que foi dado cumprimento à legislação que estava em vigor naquela altura.

Verifica-se por outro lado que, apesar de qualquer um dos casos de estudo ser anterior à mais recente publicação de legislação que regula as questões que dizem respeito à segurança contra incêndios, o RJ-SCIE e o RT-SCIE, nenhum deles está em “incumprimento” com as últimas exigências feitas, o que deixa supor que a legislação em causa poderá estar a ser pouco ambiciosa.

## 5.2 Trabalhos futuros

Esta dissertação permite perceber que ainda muito pode ser feito no que diz respeito à segurança contra incêndios em edifícios sustentáveis, apresentando agora algumas três propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros que contribuirão em grande medida para a melhoria dessas condições:

- Elaboração de um registo específico para incêndios em edifícios sustentáveis, em particular para os ocorridos em coberturas onde estejam instalados os sistemas estudados; neste registo deverão constar todos os incêndios em que esses sistemas estejam envolvidos, independentemente de serem eles a origem do incêndio ou apenas terem sido por eles afetados, tornando assim possível perceber as tendências e fragilidades dos sistemas, bem como estudar as dinâmicas de propagação criadas pela sua existência e desenvolver mecanismos de segurança que os tornem mais seguros e sustentáveis;
- Elaboração de um manual de boas práticas para implementação e/ou verificação das condições de segurança contra o risco de incêndio, tanto para a instalação dos sistemas de cobertura sustentáveis, como para a sua manutenção, prevendo inclusivamente exercícios de treino e simulacro onde esses sistemas estejam envolvidos;
- Desenvolvimento de procedimentos de atuação para as forças de segurança em coberturas onde estejam implementadas estas tecnologias, em particular coberturas com sistemas solares fotovoltaicos, devendo estes procedimentos resultar da especialização na formação teórica e aplicação prática destas equipas nestas matérias.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente, Republica Portuguesa. 2019. *Roteiro Para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050)*. <https://descarbonizar2050.pt/>.
- Agenda 21. 1992. *Declaração Do Rio Sobre Ambiente e Desenvolvimento. Agenda 21: Programa de Acção Para o Desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Akbari, Hashem et al. 2016. “Local Climate Change and Urban Heat Island Mitigation Techniques - The State of the Art.” *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Akbari, Hashem, and Dionysia Kolokotsa. 2016. “Three Decades of Urban Heat Islands and Mitigation Technologies Research.” *Energy and Buildings* 133: 834–42. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816310143>.
- Al-Waeli, Ali H.A., K. Sopian, Hussein A. Kazem, and Miqdam T. Chaichan. 2017. “Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Status and Future Prospects.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Alam, Mohammed Khorshed, Faisal Khan, Jay Johnson, and Jack Flicker. 2015. “A Comprehensive Review of Catastrophic Faults in PV Arrays: Types, Detection, and Mitigation Techniques.” *IEEE Journal of Photovoltaics*.
- Allnut, Peter et al. 2014. “Green Roof Code of Best Practice for the UK.” *The GRO Green Roof Code*.
- Araújo, Sidney. 2007. “As Funções Dos Telhados Verdes No Meio Urbano, Na Gestão e No Planejamento de Recursos Hídricos.” Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro.
- Aspinal, Sarah, Begum Sertyesilisik, Amr Sourani, and Ashley Tunstall. 2013. “How Accurately Does Breeam Measure Sustainability?” *Creative Education*.
- Backstrom, Bob, and Mahmood Tabaddor. 2010. “Effect of Rack Mounted Photovoltaic Modules on the Fire Classification Rating of Roofing Assemblies.” *Underwriters Laboratories Inc. (UL)*.
- Backstrom, Robert, and Dave Dini. 2012. “Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project.” In *Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems V*.
- Ball, Greg, and Jason Fisher. 2016. “Rooftop PV Systems and Firefighter Safety.” In *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*.
- Behm, Michael. 2012. “Safe Design Suggestions for Vegetated Roofs.” *Journal of Construction*

*Engineering and Management.*

- Berdahl, Paul, Hashem Akbari, and Leanna S. Rose. 2007. "Aging of Reflective Roofs: Soot Deposition." *Applied Optics*.
- Bragança, Luís. 2017. "SBTOOL URBAN: Instrumento Para a Promoção Da Sustentabilidade Urbana." *SINGERURB 2017 - I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana*.
- Broekhuizen, Fleur Van, and Pieter Van Broekhuizen. 2009. "Nano - Products in the European Construction Industry." *Der Spiegel*.
- Brooks, Bill. 2012. "The Ground-Fault Protection Blind Spot: A Safety Concern for Larger Photovoltaic Systems in the United States." *Solar America Board for Codes and Standards*.
- Callaghan, Steven W. Peck; Chris. 1999. "Greenbacks From Green Roofs: Forging a New Industry in Canada." (1): 1–5.
- Cancelliere, Piergiacomo. 2016. "PV Electrical Plants Fire Risk Assessment and Mitigation According to the Italian National Fire Services Guidelines." *Fire and Materials*.
- Cancelliere, Piergiacomo, and Claudio Liciotti. 2016. "Fire Behaviour and Performance of Photovoltaic Module Backsheets." *Fire Technology*.
- Cerveira, Manuel. 2012. "Sistemas Térmicos de Energia Solar." Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Cintra, Pedro Miguel Lopes Ruivo. 2012. "Soluções Técnicas e Eficiência Energética Em Bungalows, Incorporando Microprodução." Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica e Sistemas de Automação - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Dabaieh, Marwa, Omar Wanas, Mohamed Amer Hegazy, and Erik Johansson. 2015. "Reducing Cooling Demands in a Hot Dry Climate: A Simulation Study for Non-Insulated Passive Cool Roof Thermal Performance in Residential Buildings." *Energy and Buildings*.
- Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro. 2014. "Ministério Do Ambiente Ordenamento Território Energia." *Diário da República n.º 202, Série I: 5298–5311*.
- Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro. 2008. "Ministério Da Administração Interna." *Diário da República n.º 220/2008, Série I de 2008-11-12*.
- Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de Outubro. 2015. "Ministério Da Administração Interna." *Diário da República: 8740–74*.
- Decreto-Lei n.º 25/2013 de 19 de Fevereiro. 2013. "Ministérios Da Economia E Do Emprego." *Diário da República 1ª Série(Nº 35): 1037–58*.

- Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março. 2011. “Ministério Da Economia Da Inovação e Do Desenvolvimento.” *Diário da República* Série I-A(Nº 47): 1316–25.
- Decreto-Lei n.º 510/80 de 25 de Outubro. 1980. “Ministério Da Defesa Nacional.” *Diário da República* n.º 248/1980, Série I de 1980-10-25.
- Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de Julho. 2019. “Presidência Do Conselho de Ministros.” *Diário da República* 1.ª Série(nº 136): 35–45.
- Decreto-Lei n.º 38/382 de 7 de Agosto. 1951. “Ministério Das Obras Públicas - Gabinete Do Ministro.” *Diário do Governo*.
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. 2013. “Ministério Da Economia e Do Emprego.” *Diário da República*.
- Decreto-Lei n.º 199/2004 de 18 de Agosto. 2004. “Ministério Das Finanças.” *Diário da República - I Série - A*: 5257–60.
- Despinasse, Marie Claire, and Simone Krueger. 2015. “First Developments of a New Test to Evaluate the Fire Behavior of Photovoltaic Modules on Roofs.” *Fire Safety Journal*.
- Dimoudi, Argiro, and Marialena Nikolopoulou. 2003. “Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits.” *Energy and Buildings*.
- Diretiva 2010/31. 2010. “Parlamento Europeu e Do Conselho Da União Europeia.” *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Diretiva 2018/844. 2018. “Parlamento Europeu e Do Conselho Da União Europeia.” *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Escrivá-Escrivá, Guillermo, Oscar Santamaria-Orts, and Fernando Mugarra-Llopis. 2012. “Continuous Assessment of Energy Efficiency in Commercial Buildings Using Energy Rating Factors.” *Energy and Buildings*.
- Falvo, M. C., and S. Capparella. 2015. “Safety Issues in PV Systems: Design Choices for a Secure Fault Detection and for Preventing Fire Risk.” *Case Studies in Fire Safety*.
- Fara, S. et al. 2010. “Integration of PV Modules in Existing Romanian Buildings.” In *2010 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2010 - Proceedings*,.
- Ferreira, José Vicente Rodrigues. 2004. “Análise De Ciclo De Vida.” Instituto Politécnico de Viseu.
- FLL. 2008. “Guidelines for the Planning , Construction and Maintenance of Green Roofing - Green Roofing Guideline.” *FLL) wThe Landscape Development and Landscaping*

*Research Society e. V. (FLL).*

- Freire, Sofia Guerreiro. 2017. “Alteração de Fonte Energética No Aquecimento Central e Produção de AQS Numa Unidade de Cuidados Continuados.” Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências.
- Friedman, Avi. 2012. “Green Roofs.” In *Fundamentals of Sustainable Dwellings*, , 183–97.
- Gao, Yafeng et al. 2017. “Thermal Performance and Energy Savings of White and Sedum-Tray Garden Roof: A Case Study in a Chongqing Office Building.” *Energy and Buildings*.
- Gerzhova, Nataliia et al. 2019. “Heat Transfer Behavior of Green Roof Systems under Fire Condition: A Numerical Study.” *Buildings*.
- Di Giuseppe, Elisa, and Marco D’Orazio. 2015. “Assessment of the Effectiveness of Cool and Green Roofs for the Mitigation of the Heat Island Effect and for the Improvement of Thermal Comfort in Nearly Zero Energy Building.” *Architectural Science Review*.
- Hiltner, Roger Norris, Thomas Mark Lawrence, and Earnest William Tollner. 2008. “Modeling Stormwater Runoff from Green Roofs with HYDRUS-1D.” *Journal of Hydrology*.
- Hoskins, B. L., and J. Homer. 2015. “Effects of Green Roofs on Fire Safety.” In *AEI 2015*.
- Hosseini, Mirata, and Hashem Akbari. 2016. “Effect of Cool Roofs on Commercial Buildings Energy Use in Cold Climates.” *Energy and Buildings*.
- IEC 61730-1. 2013. *IEC International Standard IEC 61730-1: Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification - Part 1: Requirements for Construction*.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. 2016. “Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval – Part 1: Test Requirements.” *Iec 61215*.
- IUCN. 1980. *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Jim, C. Y., and S. W. Tsang. 2011. “Biophysical Properties and Thermal Performance of an Intensive Green Roof.” *Building and Environment*.
- Ju, Xiaoyu et al. 2019. “Impact of Flat Roof–integrated Solar Photovoltaic Installation Mode on Building Fire Safety.” *Fire and Materials*.
- Köhler, Manfred et al. 2002. “Green Roofs in Temperate Climates and in the Hot-humid Tropics – Far beyond the Aesthetics.” *Environmental Management and Health*.
- Kolokotroni, Maria, Christopher Wines, Roaa M.A. Babiker, and Bruno H. Da Silva. 2016. “Cool and Green Roofs for Storage Buildings in Various Climates.” In *Procedia*

*Engineering*.

- Kolokotsa, D., M. Santamouris, and S. C. Zerefos. 2013. “Green and Cool Roofs’ Urban Heat Island Mitigation Potential in European Climates for Office Buildings under Free Floating Conditions.” *Solar Energy*.
- Konopacki, S, H Akbari, and L Gartland. 1997. “Cooling Energy Savings Potential of Light-Colored Roofs for Residential and Commercial Buildings in 11 US Metropolitan Areas.” *Other Information: PBD: May 1997*.
- Lei nº 123/2019 de 18 de Outubro. 2019. “Terceira Alteração Ao Decreto -Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro, Que Estabelece o Regime Jurídico Da Segurança Contra Incêndio Em Edifícios.” *Diário da República*.
- Li, Jian Feng et al. 2010. “Effect of Green Roof on Ambient CO2 Concentration.” *Building and Environment*.
- Liew, Jat Yuen Richard. 2004. “Performance Based Fire Safety Design of Structures - A Multi-Dimensional Integration.” *Advances in Structural Engineering*.
- Manzini, Giovanni et al. 2015. “The Fire Risk in Photovoltaic Installations - Checking the PV Modules Safety in Case of Fire.” In *Energy Procedia*.
- Mathe, Laszlo et al. 2015. “Firefighter Safety for PV Systems: A Solution for the Protection of Emergency Responders from Hazardous Dc Voltage.” *IEEE Industry Applications Magazine*.
- Meehl, Gerald A., and Claudia Tebaldi. 2004. “More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century.” *Science*.
- Mendes, Inês dos Santos. 2016. “Avaliação Do Desempenho Do Sistema de Mini-Geração Fotovoltaico Na Faculdade de Ciências.” Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Modesto, Renato Costa. 2017. “Os Nanomateriais Na Industria Da Construção.” Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.
- Mohajerani, Abbas, Jason Bakaric, and Tristan Jeffrey-Bailey. 2017. “The Urban Heat Island Effect, Its Causes, and Mitigation, with Reference to the Thermal Properties of Asphalt Concrete.” *Journal of Environmental Management*.
- Namikawa, Shohei. 2017. “Task 12 : Photovoltaics and Firefighters’ Operations : Best Practices in Selected Countries.” *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program*.
- Nascimento, Wânia Cruz do. 2008. “Coberturas Verdes Na Região Metropolitana de Curitiba -

- Barreiras e Potencialidades.” Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Universidade Federal Paraná.
- NP EN 1990. 2009. “Norma Portuguesa - Eurocódigo 0 - Bases Para o Projeto de Estruturas.” *Instituto Português da Qualidade* 1999: 88.
- NP EN 1991. 2009. “Norma Portuguesa - Eurocódigo 1 - Acções Em Estruturas.” *Instituto Português da Qualidade*: 47.
- Nunes, Patrícia Alexandra da Paz. 2015. “Afinal , o Que é a Sustentabilidade Na Construção ?” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Oleson, K. W., G. B. Bonan, and J. Feddema. 2010. “Effects of White Roofs on Urban Temperature in a Global Climate Model.” *Geophysical Research Letters*.
- Palmiere, Sergio E., Carmen E.M. Riascos, and Luis A.M. Riascos. 2015. “Integration of Energy and Fire Prevention Systems in Greenbuildings.” In *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*,.
- Parida, Bhubaneswari, S. Iniyar, and Ranko Goic. 2011. “A Review of Solar Photovoltaic Technologies.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Pinheiro, Manuel Duarte. 2011. “LiderA - Sistema Voluntário Para a Sustentabilidade Dos Ambientes Construídos.” *LiderA v2.0*: 0–3. [www.lidera.info](http://www.lidera.info).
- Pinto, Catarina. 2014. “Introdução Às Coberturas Ajardinadas.” Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.
- Pires, André Rosa. 2017. “Modelos de Certificação Da Sustentabilidade Dos Edifícios Análise Comparativa Dos Processos de Certificação.” UTL-IST. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020546015/Tese.pdf>.
- Portaria nº 135/2020 de 2 de Junho. 2020. “Alteração Ao Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio Em Edifícios (RT-SCIE).” *Diário da República*.
- Portaria nº 1532/2008 de 29 de Dezembro. 2008. “Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios Em Edifícios (RT-SCIE).” *Diário da República*.
- Portaria nº 252/2015 de 19 de Agosto. 2015. “Secretaria de Estado Da Energia.” *Diário da República, 1.ª série — N.º 161 — 19 de agosto de 2015*: 6143–46.
- Portaria nº 949-A/2006 de 11 de Setembro. 2006. “Ministério Da Economia e Da Inovação.” *Diário da República, 1.ª série — N.º 175 — 11 de Setembro de 2006 (2)*: 190.
- Raposo, Fausto Miguel Ferreira. 2013. “Manual de Boa Práticas de Coberturas Verdes.”

Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

- RIZWAN, Ahmed Memon, Leung Y.C. DENNIS, and Chunho LIU. 2008. “A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island.” *Journal of Environmental Sciences*.
- Savi, Adriane. 2012. “Telhados Verdes: Análise Comparativa de Custos Com Telhados Sistemas Tradicionais de Cobertura.” *Especialização*.
- Sayegh, Marderos Ara, Nabhan Khayata, and Tamar Nahhas. 2011. “Design and Experimental Study for Using PV/T Collectors in the Faculty of Mechanical Engineering University of Aleppo.” In *Energy Procedia*,.
- Silva, Cristina M., M. Glória Gomes, and Marcelo Silva. 2016. “Green Roofs Energy Performance in Mediterranean Climate.” *Energy and Buildings*.
- Silva, José Manuel. 2014. “Segurança Contra Incêndios Na Reabilitação Sustentável de Edifícios Antigos.” Universidade do Minho.
- Silva, Manuel António Pimenta da. 2013. “Central de Produção de Energia Eléctrica a Partir de Energia Solar Térmica.” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - ISEL.
- Singh, G. K. 2013. “Solar Power Generation by PV (Photovoltaic) Technology: A Review.” *Energy*.
- Soares, SR, DM Souza, and SW Pereira. 2006. “A Avaliação Do Ciclo de Vida No Contexto Da Construção Civil.” *Coletânea Habitare*.
- Spataru, Sergiu et al. 2013. “Firefighter Safety for PV Systems: Overview of Future Requirements and Protection Systems.” In *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2013*,.
- TGRTAG. 2018. “Green Roof Construction Standard Supplementary Guidelines Technical Consultants.” *Toronto City Hall: 26*. <https://www.toronto.ca/greenroofs>.
- Theodosiou, Theodore. 2009. “Green Roofs in Buildings: Thermal and Environmental Behaviour.” *Advances in Building Energy Research*.
- UN. 2002. *Johannesburg Declaration on Sustainable Development*. Johannesburg. United Nations.
- . 2012. Resolution adopted by the General Assembly on 27 July 2012 *The Future We Want*. Rio de Janeiro, Brasil. United Nations.
- . 2013. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.

- . 2015a. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
- . 2015b. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
- United Nations. 2014. *New York, United World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*.
- Vlasin, Raymond D. 2014. “United Nations Conference on Human Environment.” *Journal of the Community Development Society* 4(1): 22–28.
- WCED. 1987. *Brundtland Report: Our Common Future*. World Commission on Environment and Development - UN Documents. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.
- Willes, Jorge Alex. 2014. “Tecnologias Em Telhados Verdes Extensivos: Meios de Cultura, Caracterização Hidrológica e Sustentabilidade Do Sistema.” Universidade de São Paulo.
- Wohlgemuth, John H., and Sarah R. Kurtz. 2012. “How Can We Make PV Modules Safer?” In *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*,.
- Zinzi, M., and S. Agnoli. 2012. “Cool and Green Roofs. An Energy and Comfort Comparison between Passive Cooling and Mitigation Urban Heat Island Techniques for Residential Buildings in the Mediterranean Region.” In *Energy and Buildings*,.