



# MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre  
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## A PROBLEMÁTICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Diogo Agostinho de Carvalho

**Orientador:** Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz, FEUP  
**Coorientador:** Professor Gonçalo Manuel Fernandes Perestrelo, FEUP  
**Arguente:** Professor Doutor António Leça Coelho, Universidade Lusófona  
**Presidente do Júri:** Professora Doutora Jaqueline Castelo Branco, FEUP

2024



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt) ISN: 3599\*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)





## **AGRADECIMENTOS**

Hoje concluo um ciclo do qual me orgulho imensamente pelo percurso alcançado.

Gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado nesta jornada. Em primeiro lugar, à minha namorada, Mariana, pelo apoio incondicional, pelo carinho e pela paciência em todos os momentos. A tua presença foi fundamental para que eu pudesse seguir em frente, mesmo nas fases mais desafiantes.

Aos meus pais, um agradecimento especial pelas palavras de coragem e pelo apoio constante. Vocês sempre foram a minha fonte de inspiração e motivação, ensinando-me a importância da perseverança e da determinação.

Aos professores do MESHQ, a minha mais sincera gratidão pela entrega, dedicação e paciência. Vocês não só partilharam conhecimento, mas também demonstraram uma verdadeira paixão pelo ensino, o que fez toda a diferença na minha formação.

Aos meus colegas de turma, Rafael Peixoto e Gilymar Sabença, que se tornaram amigos para a vida, um muito obrigado pelo companheirismo, pelas risadas e pelo apoio mútuo ao longo do curso. A vossa amizade tornou esta jornada ainda mais memorável.

E aos meus colegas de trabalho, um muito obrigado por todo o companheirismo e pela partilha da vossa experiência adquirida ao longo dos anos. Em especial ao Jorge Marinho, agradeço pelos valiosos ensinamentos e orientações. A tua generosidade em partilhar conhecimento e a tua disposição para ajudar foram inestimáveis.

A todos vocês, o meu sincero agradecimento. Sem o apoio e a colaboração de cada um, esta conquista não seria possível.





## RESUMO

Ao longo dos anos tem-se assistido a um crescimento na aposta nas energias renováveis, também conhecidas como energias verdes, onde estas podem apresentar diversas fontes de energia, nomeadamente, o sol (energia solar fotovoltaica e energia solar térmica), o vento (energia eólica), a água (energia hídrica), a energia de biomassa e a energia geotérmica (*Endesa Portugal, 2021*).

Com a procura pelas diversas fontes de energia e dos meios de exploração da mesma, a legislação complementar (entre as quais a relativa à Segurança Contra Incêndio em Edifícios) para o seu uso acaba por ficar retida no tempo e não acompanha a evolução dos materiais, equipamentos, tecnologias e necessidades dos utilizadores diários.

Assim, a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica apresentam múltiplas vantagens, desde a forma de conversão da energia em potência para utilização diária dos interessados, até a redução de custos de manutenção e exploração, sejam estas habitações de uso particular ou grandes indústrias (*Endesa Portugal, 2021*).

Com o fabrico e desenvolvimento do painel solar, assiste-se a um aumento da sua capacidade de gerar mais energia aquando da incidência da luz nas células fotovoltaicas o que promove a transformação em energia para alimentação de equipamentos domésticos, iluminação e mais recentemente veículos elétricos, onde estes podem ter um sistema de armazenamento de energia ou ceder a mesma para a rede pública e reduzir os seus custos. Ao longo da presente dissertação e através da revisão sistemática serão abordadas as causas que originam os acidentes em sistemas fotovoltaicos.

Perante o recente crescimento e procura pelas instalações fotovoltaicas, verifica-se agora um atraso na legislação de segurança contra incêndios, em Portugal, nomeadamente na Portaria n.º 135/2020, de 29 de dezembro, referente ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios. Neste diploma legal não existe nenhum registo ou manifesto relativamente às instalações fotovoltaicas, seja em fase de projeto de um edifício ou de posterior adaptação do mesmo, instalação e manutenção, o que demonstra uma desatualização da legislação no que se refere a um equipamento, que por si só representa um risco acrescido de incêndio para os edifícios. No que se refere à Europa ou nos Estados Unidos da América, assiste-se ao acompanhamento e desenvolvimento de medidas de mitigação para os respetivos acidentes, seja por intermédio das respetivas autoridades competentes ou por intermédio de seguradoras (ex: FM Global, Allianz), em que se refere este tipo de energia de aproveitamento, atrai a preocupação por parte dos utilizadores, pois aquando do fabrico das suas residências ou indústrias, as suas coberturas ou telhados não foram dimensionados para sustentar tamanha pressão e calor a ser emitido nas superfícies. Segundo estatística europeia de incêndios com origem nos painéis fotovoltaicos, constata-se que só em 2012 a Alemanha registou 53 acidentes. Por sua vez, em Itália e em apenas um ano ocorreram 461 incêndios com início nos painéis fotovoltaicos. Nos Países Baixos, em 2018 e 2019 registou-se um total de 29 acidentes, enquanto só nos primeiros 10 meses de 2020 ocorreram 37 acidentes, o que representa um aumento significativo nesta tipologia de ocorrência [*Laukamp H, Bopp G, Grab R, et al. 2013*].

Assim, considerando a relevância do tema abordado, o foco desta dissertação é o estudo de caso de uma empresa (identificada aqui por um nome fictício para assegurar a confidencialidade e o sigilo dos dados) que realizou a instalação de painéis fotovoltaicos nas suas coberturas e áreas adjacentes, levando em consideração também as questões de segurança contra incêndio. Perante os dados em questão, serão tidas em conta as fichas técnicas dos equipamentos e informação complementar, nomeadamente, inversores, cabos de CC (Corrente Contínua) e de AC (Corrente Alternada), como também os esclarecimentos técnicos elaborados por diversas entidades. Para além do referenciado anteriormente, será igualmente analisado segundo a ótica das companhias de seguro, como é o caso da FM-Global e Allianz, que se encontram em fase de desenvolvimento de apólices de seguros para a cobertura específica deste tipo de equipamentos.

Inicialmente, no que se refere à metodologia usada para fundamentar o projeto de dissertação em questão, foi utilizada a metodologia PRISMA STATEMENT, que auxilia na organização da pesquisa bibliográfica para posterior aplicação na dissertação. De seguida, de forma que os artigos cumprissem os requisitos pré-estabelecidos, efetuou-se o seu estudo. Perante os resultados alcançados, foi realizada a técnica de *snowballing*, de modo que fossem incluídos mais artigos que abordassem o tema em estudo. Assim, apenas 1 dos artigos não apresentou respostas para o problema em questão. Dos 28 artigos selecionados, 19 descrevem as causas dos incêndios e 17 descrevem quais as características dos painéis fotovoltaicos.

**Palavras-Chave:** Photovoltaic Panels, Fire, Hazard, Risk, Safety

## **ABSTRACT**

Over the years, there has been a growing commitment to renewable energies, also known as green energies, which can include various energy sources, namely the sun (photovoltaic solar energy and thermal solar energy), wind (wind energy), water (hydroelectric energy), biomass energy and geothermal energy (Endesa Portugal, 2021).

With the demand for various energy sources and the means of exploiting them, the complementary legislation (including that on Fire Safety in Buildings) for their use ends up being stuck in time and does not keep up with the evolution of materials, equipment, technologies and the needs of daily users.

Thus, photovoltaic solar energy and solar thermal energy have multiple advantages, from converting energy into power for the daily use of those concerned, to reducing maintenance and operating costs, whether these are private homes or large industries (Endesa Portugal, 2021).

With the manufacture and development of the solar panel, there has been an increase in its capacity to generate more energy when light hits the photovoltaic cells, which promotes the transformation into energy to power domestic equipment, lighting and, more recently, electric vehicles, which can have an energy storage system or transfer it to the public grid and reduce costs. Throughout this dissertation and by means of a systematic review, the causes of accidents in photovoltaic systems will be addressed.

In view of the recent growth and demand for photovoltaic installations, there is now a delay in fire safety legislation in Portugal, namely in Ministerial Order no. 135/2020 of 29 December, which refers to the Technical Regulation on Fire Safety in Buildings. In this piece of legislation, there is no record or manifesto regarding photovoltaic installations, either at the design stage of a building or in its subsequent adaptation, installation and maintenance, which shows that the legislation is out of date regarding a piece of equipment that represents an increased fire risk for buildings. In Europe and the United States of America, we are seeing the monitoring and development of mitigation measures for accidents, either through the relevant authorities or through insurance companies (e.g. FM Global, Allianz), where this type of energy use attracts concern on the part of users, because when their homes or industries were built, their roofs were not dimensioned to sustain such pressure and heat being emitted from the surfaces. According to European statistics on fires caused by photovoltaic panels, Germany recorded 53 accidents in 2012 alone. In Italy, meanwhile, there were 461 fires started by photovoltaic panels in just one year. In the Netherlands, in 2018 and 2019 there were a total of 29 accidents, while in the first 10 months of 2020 alone there were 37 accidents, which represents a significant increase in this type of occurrence [Laukamp H, Bopp G, Grab R, et al. 2013].

Thus, considering the relevance of the subject, the focus of this dissertation is the case study of a company (identified here by a fictitious name to ensure confidentiality and data secrecy) that installed photovoltaic panels on its roofs and adjacent areas, also considering fire safety issues.

The data in question will consider the technical data sheets of the equipment and complementary information, namely inverters, DC (Direct Current) and AC (Alternating Current) cables, as well as the technical explanations drawn up by various organizations. In addition to the above, it will

also be analyzed from the point of view of insurance companies, such as FM-Global and Allianz, which are in the process of developing insurance policies to specifically cover this type of equipment.

Initially, regarding the methodology used to support the dissertation project in question, the PRISMA STATEMENT methodology was used, which helps to organize the bibliographical research for later application in the dissertation. The articles were then studied to ensure that they met the pre-established requirements. In view of the results achieved, the snowballing technique was used to include more articles on the subject under study. As a result, only 1 of the articles did not provide answers to the problem in question. Of the 28 articles selected, 19 describe the causes of fires and 17 describe the characteristics of photovoltaic panels.

**Keywords:** Photovoltaic Panels, Fire, Hazard, Risk, Safety

## ÍNDICE

PARTE 1 .....	XVII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 ESTADO DE ARTE.....	5
2.1 Apresentação da Entidade do Estudo de Caso .....	6
2.2 Conceitos básicos de ordem tecnológica.....	6
2.3 Enquadramento legal e normativo.....	10
2.4 Enquadramento Científico.....	14
2.4.1 Pesquisa.....	14
2.4.2 Critérios de seleção da Pesquisa.....	15
2.5 Objetivos da Dissertação .....	31
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Análise do Contexto das Instalações Fotovoltaicas .....	33
3.2 Análise das Normativas Internacionais e outros documentos associados ao tema .....	33
3.3 Desenvolvimento da estrutura regulamentar das instalações fotovoltaicas .....	34
3.4 Análise técnica de um projeto fotovoltaico tipo.....	34
3.5 Aplicação da análise prescritiva ao caso de estudo.....	37
PARTE 2 .....	38
4 RESULTADOS .....	39
4.1 Contexto das Instalações Fotovoltaicas.....	40
4.2 Análise das Normativas Internacionais e outros documentos associados ao tema .....	44
4.2.1 Normas Internacionais.....	44
4.2.2 FM-Global.....	50
4.3 Desenvolvimento da estrutura regulamentar das instalações fotovoltaicas .....	54
5 DISCUSSÃO.....	57
5.1 Limitações .....	65
6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS .....	67
6.1 Conclusões .....	67
6.2 Perspetivas Futuras.....	69
7 BIBLIOGRAFIA .....	1



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cumulativo da Potência Fotovoltaica Instalada (Fonte: <i>Jäger-Waldau, A 2022</i> ) .....	1
Figura 2 - Parque Fotovoltaico "Fernando Pessoa" (Fonte: CNN Portugal).....	3
Figura 3 - Instalação de Painéis em Cobertura (Fonte: Própria) .....	4
Figura 4 - Triângulo de Fogo (Fonte: Miguel, A. 2014) .....	7
Figura 5 - Tetraedro de Fogo (Fonte: Miguel, A. 2014) .....	8
Figura 6 - Composição Painel Solar Fotovoltaico (Fonte: Ploter 2024) .....	9
Figura 7 - Tipos de Células Fotovoltaicas (Fonte: TRITEC,2017).....	9
Figura 8 - Sistema Fotovoltaico ligado à rede (Fonte: Sepanski, A. Et al. 2018).....	10
Figura 9 - Diagrama de fluxo de revisão sistemática de acordo com o PRISMA 2009.....	17
Figura 10 - Representação Gráfica da Localização dos Artigos .....	17
Figura 12 - Diagrama Unifilar Tipo .....	35
Figura 13 - Cálculo das proteções da corrente do inversor .....	35
Figura 14 - Cálculos das Proteções .....	36
Figura 15 - Caminho de cabos perfurados (Fonte: RTIEBT. 2000).....	36
Figura 16 - Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G (Fonte: RTIEBT.2000).....	36
Figura 17 - Zona de Instalação dos Painéis Fotovoltaicos (Fonte: Própria) .....	39
Figura 18 - Zona de Instalação de Painéis Fotovoltaicos (Fonte:Própria) .....	40
Figura 19 - Fabricantes de módulos fotovoltaicos que cumprem os critérios Tier 1 da BloombergNEF a partir do 4T 2022 (Fonte: BNEF, 2022) .....	42
Figura 20 - Configuração dos Inversores PV ligados em string e centralizado (Fonte: Nema, S et al. 2011).....	44
Figura 21 - Exemplo de células PV defeituosas (Fonte: Firman, A. Et al., 2022).....	47
Figura 22 - Defletores de vento instalados nos lados mais altos dos painéis de cada fila (Fonte: FMDS 1-15:2024) .....	51
Figura 23 - Tipos de coberturas metálicas (Fonte: Calapa, J. 2022).....	51
Figura 24 - Exemplo de instalação de grampo no módulo (Fonte: LONGI 2022) .....	52
Figura 25 - Constituição de juntas de dilatação (Fonte: FMDS 1-15:2024) .....	52
Figura 26 - Carport (Fonte: Greenvolt Next, 2023) .....	54
Figura 27 - Defletores de Vento na instalação PV (Fonte: Própria) .....	57
Figura 28 - Cobertura do Caso de Estudo (Fonte: Própria).....	57

Figura 29 - Distância dos painéis às claraboias .....	58
Figura 30 - Painele LR5-72HPH 540~560M (Fonte: Datasheet Longi, s/d).....	59
Figura 31 - Exemplo de unidades pré-montadas (Fonte: ESDEC, s/d) .....	60
Figura 32 - Inversor <i>SUNNY TRIPOWER CORE2</i> (Fonte: SMA, 2020).....	61
Figura 33 - Disposição dos inversores segundo esclarecimento técnico (Fonte: Lopes, P. 2023)	61
Figura 34 - Disposição dos inversores na sala técnica (Fonte: Própria) .....	62
Figura 35 - Proteção de cablagem (Fonte: VDS 2234. 2024).....	63
Figura 36 - Cabo AC EXZHELLENT CLASS (Fonte: General Cable, s/d) .....	63
Figura 37 - Classificação CPR (Fonte: Europacable,2024) .....	63
Figura 38 - Cabo DC SOLAR H1Z2Z2-K TÜV/CE (Fonte: Kabeltec, s/d).....	64
Figura 39 - Exemplo de Exutor de fumos (TRIA, 2024) .....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Diferenças de Potência do Sistema a Instalar .....	12
Tabela 2 - Documentos a submeter à DGEG .....	12
Tabela 3 - Palavras-Chave.....	15
Tabela 4 - Total de artigos nas 3 bases de dados .....	15
Tabela 5 - Tabela Resumo dos Artigos Seleccionados relativos à área SOLAR PV.....	18
Tabela 6 - Tipos de Níveis de Módulos Fotovoltaicos.....	41
Tabela 7 - Características dos Inversores .....	42
Tabela 8 – Testes realizados para deteção de falhas .....	45
Tabela 9 - Critérios de Qualificação de acordo com a IEC 61215-2 (Fonte: Firman, A. Et al., 2022) .....	46
Tabela 10 - Tipo de isolamento necessário, segundo a IEC 61140 (Fonte: IEC 61730-1:2016)..	48
Tabela 11 - Valores Dimensionais e Valores de Resistência da Isolação (Fonte: NP EN 50618:2018) .....	49
Tabela 12 - Classe de reação ao fogo do revestimento das coberturas em terraço (Fonte: Portaria nº 135/2020) .....	55
Tabela 13 - Tipos de coberturas existentes (Fonte: Portaria nº135/2020) .....	55



## **GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS/...**

AC – Alternating Current

ACT – Autoridade para as Condições de Trabalho

AF – Arc Fault

ANEPC- Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil

BL – Bridge Link

CA – Corrente Alternada

CER – Comunidade de Energia Renovável

CC – Corrente Contínua

CMOS – Complementary Metal-Oxide Semiconductor

CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardization

DC – Direct Current

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DSF – Double Skin Facade

EVA – Ethylene Vinyl Acetate

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

HC - Honeycomb

IEA – International Energy Agency

IEC – International Electrotechnical Commission

ILO – International Labour Organization

NIOSH – National Institute for Occupational Safety & Health

NFPA – National Fire Protection Association

OSHA – Occupational Safety and Health Organization

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

RJ-SCIE – Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios

RTIEBT – Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão

RT-SCIE – Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios

SCIE – Segurança contra Incêndios em Edifícios

SP – Series Parallel

TCT – Total Cross-Tied

UPAC – Unidade de Produção de Autoconsumo

UPP – Unidades de Pequena Produção

# PARTE 1



# 1 INTRODUÇÃO

A procura por novas fontes de energia tem tido um desenvolvimento cada vez mais rápido face aos recursos que atualmente se tem à disposição, porém o número de acidentes que envolvam novos equipamentos de exploração, como por exemplo, os painéis fotovoltaicos que produzem energia limpa através da incidência de luz no mesmo, tem vindo a aumentar (*Nizam Ong, Mohd et al.2022*). Para além dos equipamentos serem considerados fontes de incêndio, também os trabalhadores estão sujeitos a determinados perigos quando efetuam a montagem deste tipo de instalações (OSHA). A promoção da segurança deve ser garantida no projeto, na instalação, mas também na sua fase de uso através de uma adequada manutenção.

Posto isto, o crescimento exponencial das instalações fotovoltaicas tem sido notório ao longo dos anos, como meio de produção de energia para os utilizadores finais, empresas ou população em geral (*Jäger-Waldau,A, 2022*). Segundo a Figura 1, assiste-se a um crescimento cumulativo das instalações fotovoltaicas em todo o mundo (e em especial em alguns países) ao longo dos últimos 12 anos. A fonte utilizada, publicada no fim do ano 2022, apresenta ainda uma estimativa do aumento das instalações para 2023. Assim, nota-se que a China, sendo uma superpotência mundial, apresenta um crescimento exponencial ao longo dos anos e com perspetivas de crescer cada vez mais em relação ao resto do mundo. Já os Estados Unidos entraram neste mercado poucos anos mais tarde, porém sem conseguirem acompanhar o crescimento e aposta neste meio de exploração e produção de energia. No que se refere à União Europeia, países como a Alemanha, Itália e Espanha, iniciaram ainda numa fase inicial esta aposta, porém, com o passar dos anos o Resto da Europa procura atingir níveis de instalação e produção equiparados àqueles países europeus.

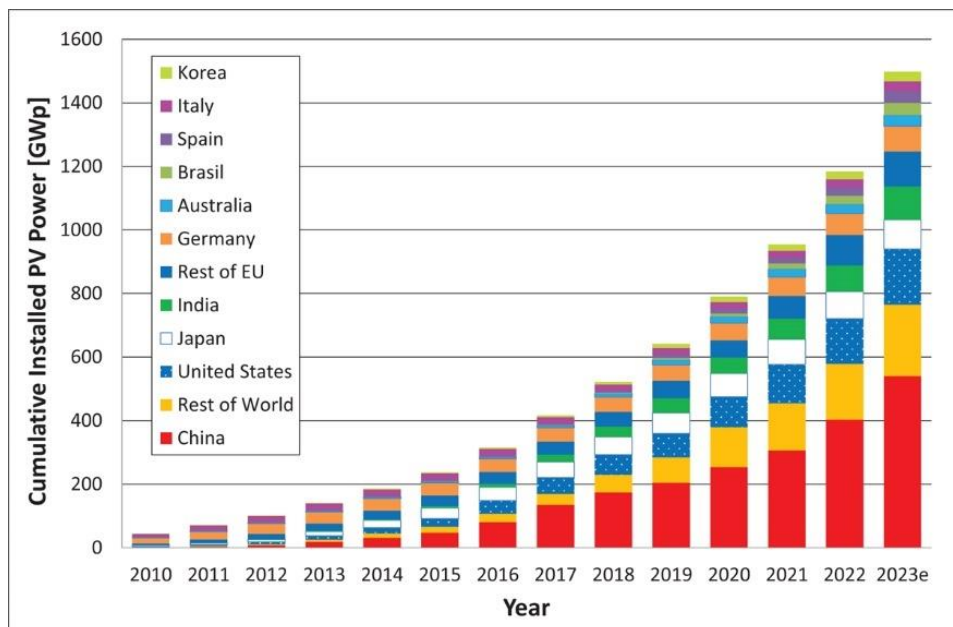


Figura 1 - Cumulativo da Potência Fotovoltaica Instalada (Fonte: *Jäger-Waldau,A 2022*)

Assim, com a introdução desta tipologia de instalações, assiste-se de igual forma a um aparecimento de acidentes com origem nos painéis.

Estes podem variar entre:

- Falha do equipamento com origem no arco de corrente contínua (CC);
- Defeito do terreno em que se encontram colocados os painéis (como, por exemplo, solos que apresentem pouca rigidez);
- Os *hotspots* ou pontos quentes (consiste em uma área do painel que se aquece mais do que as restantes células solares).

Nas situações deste último caso, as células que apresentam o desempenho inferior são forçadas a lidar com uma corrente superior à sua própria capacidade, o que vai resultar na perda de energia sob a forma de calor em vez de energia elétrica e nos sobreaquecimentos (Nizam Ong, Mohd et al.2022).

Segundo (Laukamp H, Bopp G, Grab R, et al. 2013), o número de incêndios registado na Alemanha, em 2012, foi de 54 incêndios relacionados com sistemas fotovoltaicos (PV), num universo de 1,3 milhões de sistemas PV instalados com uma capacidade total de 30 GWp. Esta análise foi baseada em um período de recolha de dados que cobriu os anos de 1995 a 2012, onde um total de aproximadamente 400 relatórios de incidentes foram encontrados, dos quais 180 indicaram que o sistema PV causou o incêndio. Em Itália, por outro lado, em 2015 registou-se um número significativamente mais elevado, com 461 incêndios relacionados com sistemas fotovoltaicos (Cancelliere P. et al. 2017).

Dados mais recentes dos Países Baixos, revelam que ocorreram 29 casos de incêndios fotovoltaicos registados em 2018 e 2019, e foram registados mais 37 incêndios apenas nos primeiros 10 meses de 2020 (Leene, M.2020).

Assim, a Segurança no Trabalho tem como pedra basilar a proteção e promoção da segurança e saúde dos trabalhadores no seu local de Trabalho (Lei n.º 102/2009).

Neste sentido, a segurança dos trabalhadores passa também pela Segurança contra Incêndios em Edifícios (SCIE), em que o empregador deve assegurar que existem medidas de combate a incêndios e de evacuação do estabelecimento e que as mesmas sejam conhecidas pelos respetivos, mas para além disso, através dos serviços de segurança e saúde, participar na elaboração do plano de emergência interno (alínea d), art.º 98 da Lei n.º 102/2009).

A SCIE em Portugal ganhou destaque após o grande incêndio no Chiado em agosto de 1988, que decorreu num dos bairros históricos da capital, tendo sido considerado um dos mais destrutivos da Europa, no pós 2ª Guerra Mundial (Silva, C. Pedro, P. 2018). É, após a retirada das consequências decorrentes da respetiva catástrofe, que em 1989, surge o Decreto-Lei n.º 426/89, que aprova as Medidas Cautelares de Segurança contra os Riscos de Incêndio em Centros Urbanos Antigos. Este é considerado o momento de viragem no que diz respeito à importância da SCIE, nos edifícios habitacionais e de todas as outras utilizações.

Após esse período foram publicados um conjunto de diplomas legais, sendo que em 2008 e após decorridos 19 anos, surgem, entre outros, dois documentos primordiais onde é descrita a forma de abranger todas as áreas e meios necessários de combate ao incêndio, para a grande

maioria das utilizações tipo de edifícios e recintos, sendo estes: o Decreto-Lei n.º 220/2008 de 11 de novembro, que veio estabelecer o Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE) (na sua atual redação, como Lei n.º 123/2019 de 18 de outubro) e a Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro, definindo o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE), tendo este último sofrido uma alteração em agosto de 2020, dando origem à Portaria n.º 135/2020.

Apesar da notória procura pelo acompanhamento e atualização da legislação portuguesa face aos novos meios de exploração das utilizações-tipo, constata-se que ainda estão em falha diversas áreas não contempladas (algumas decorrem do normal desenvolvimento tecnológico associado aos edifícios), o que leva a uma necessidade de adaptação e interpretação dos diplomas legais supramencionados.

A título de exemplo, nos recintos a componente dos parques fotovoltaicos compostos por painéis, como o Parque “Fernando Pessoa”, localizado em Santiago do Cacém, com uma capacidade de 1.2 megawatts (MW), tal como apresentado na Figura 2, corresponde a um recinto em que há que salvaguardar a SCIE e cujas prescrições ainda não se encontram devidamente acauteladas no RT-SCIE.



Figura 2 - Parque Fotovoltaico "Fernando Pessoa" (Fonte: CNN Portugal)

Para além do respetivo exemplo acima apresentado, existe também a possibilidade de colocação dos painéis fotovoltaicos nas coberturas e nas fachadas dos edifícios, sejam particulares ou públicos, tal como é apresentado numa cobertura de um edifício na Figura 3.



Figura 3 - Instalação de Painéis em Cobertura (Fonte: Própria)

Neste sentido, com o presente projeto de dissertação pretende-se escrutinar a problemática da SCIE em Instalações Fotovoltaicas, a falta de informação sobre segurança em incêndios nos sistemas PV, as causas que originam tais acidentes, bem como explorar o conhecimento que as seguradoras desenvolvem em torno deste tema e como alcançaram os documentos elaborados como serviço de segurança financeira.

Para isto, será realizado um caso de estudo numa entidade de nome fictício, por forma a garantir o sigilo da mesma, com o objetivo de verificar como é que a mesma procede nas instalações dos painéis, quais as medidas que se procura ter em conta aquando da montagem e de que maneira é possível mitigar o aparecimento do incêndio nas instalações dos painéis nas suas coberturas, salvaguardo sempre o interesse da entidade em estudo.

## 2 ESTADO DE ARTE

A segurança e saúde ocupacional cada vez mais tem surgido no dia-a-dia de cada indivíduo, em que aquela se faz cumprir sob a forma de normas, legislação, fiscalização (esta realizada por entidades competentes para o devido efeito). Após a 1ª Guerra Mundial, surge a Organização Internacional do Trabalho, através do Tratado de Versalhes, celebrado em 1919, com o propósito de promover o trabalho, mas também para proteger as pessoas que laboram (ILO). Neste sentido, em Portugal, quem tem a função de assegurar a promoção e zelar pela proteção dos intervenientes em ambiente laboral é a ACT, em que esta surge pela junção das antigas Inspeção Geral do Trabalho e do Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho. Assim, este organismo nacional procura garantir que é assegurada aos trabalhadores condições dignas de higiene e segurança ocupacional para o desempenho das suas funções, bem assim como promover e sensibilizar para a prevenção de acidentes laborais, sob a forma de análise e avaliação dos riscos a que cada um está sujeito (ACT).

Para além da segurança ocupacional, também é necessária a existência da segurança dos edifícios contra o incêndio, a qual, em termos nacionais, através de entidades como a ANEPC, ou através de exigências de cariz internacional, são estabelecidos princípios com o propósito de preservar o património cultural, a vida humana e o ambiente (Lei nº123/2019).

De igual modo, também de forma a interligar tudo o que envolva a segurança elétrica, encontra-se entidades competentes para o devido efeito, nomeadamente a *International Energy Agency* (IEA) e, em Portugal, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Neste sentido, importa também verificar quais as causas das origens dos incêndios que tenham início nas instalações PV, de forma que seja possível eliminar e/ou minimizar os respetivos riscos, tendo em vista a sua prevenção.

## 2.1 Apresentação da Entidade do Estudo de Caso

Através da presente dissertação, pretende-se a realização de um estudo de caso de uma entidade, esta de nome Iphome (nome fictício por forma a garantir o sigilo dos dados fornecidos pela entidade) com aproximadamente 4000 colaboradores. Está localizada em Portugal, mais propriamente na Região Norte do país (região considerada como das mais industrializadas do país, representando cerca de 30% da sua economia, segundo o Centro de Competências da Administração Pública). Tem como foco o desenvolvimento e produção de soluções e outros mecanismos para a indústria automóvel, não obstante de nas suas instalações existirem outras áreas que acaba por albergar, como por exemplo, o cruzamento de sistemas de computação.

## 2.2 Conceitos básicos de ordem tecnológica

No que se refere ao enquadramento tecnológico, o mesmo passa pelo seguimento das entidades existentes que englobam o tema do projeto, seja de forma mais abrangente, como a *International Labour Organization* (ILO), a *National Institute for Occupational Safety & Health* (NIOSH) e Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) em que se direcionam para a Segurança e Saúde Ocupacional, com o objetivo de garantir condições de trabalho seguras e saudáveis através da realização de investigação, da elaboração de recomendações para a prevenção de lesões, doenças e mortes relacionadas com o trabalho (NIOSH,2023), assim como, áreas mais específicas, como por exemplo, a *National Fire Protection Association* (NFPA) e a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), estas vocacionadas para as áreas de segurança contra incêndio através do desenvolvimento de códigos e normas, promoção de boas práticas, realização de investigação e assistência técnica para garantir a segurança de pessoas e bens contra o risco de incêndio (NFPA, 2024) e, por fim, a IEA (conforme referido anteriormente) e a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), direcionada para o campo da eletricidade e energia, através de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC), Unidades de Pequena Produção (UPP) e Comunidades de Energia (CER).

Para que seja possível compreender-se em que consiste o fogo que, não controlado leva ao incêndio, importa perceber o que levou à sua existência. No sentido histórico, pensa-se que o aparecimento dos primeiros sinais tenha ocorrido há cerca de 150.000 anos a.C., através de um homínido (Gowlett, J.A.J. 2016). Já no sentido químico, verifica-se que este é descrito como sendo o resultado da combustão de um ou mais materiais que libertam energia, ocorrendo assim uma reação química exotérmica. Logo, para que esta reação ocorra é necessário a presença de três fatores essenciais para a eclosão de um fogo, Figura 4, nomeadamente:

- Combustível, sendo que este pode-se apresentar nos diferentes estados (sólido, líquido ou gasoso), onde este seja capaz de despoletar a combustão, como, por exemplo, a madeira, os óleos ou álcool;
- O Comburente, normalmente presente no ar, pois contém cerca de 21% de oxigénio;

- A energia de ativação, caracterizada por ser a energia mínima necessária para que se inicie a reação, esta normalmente relacionada com as faíscas ou com a utilização de equipamentos capazes de produzir chama (Ex: isqueiros);

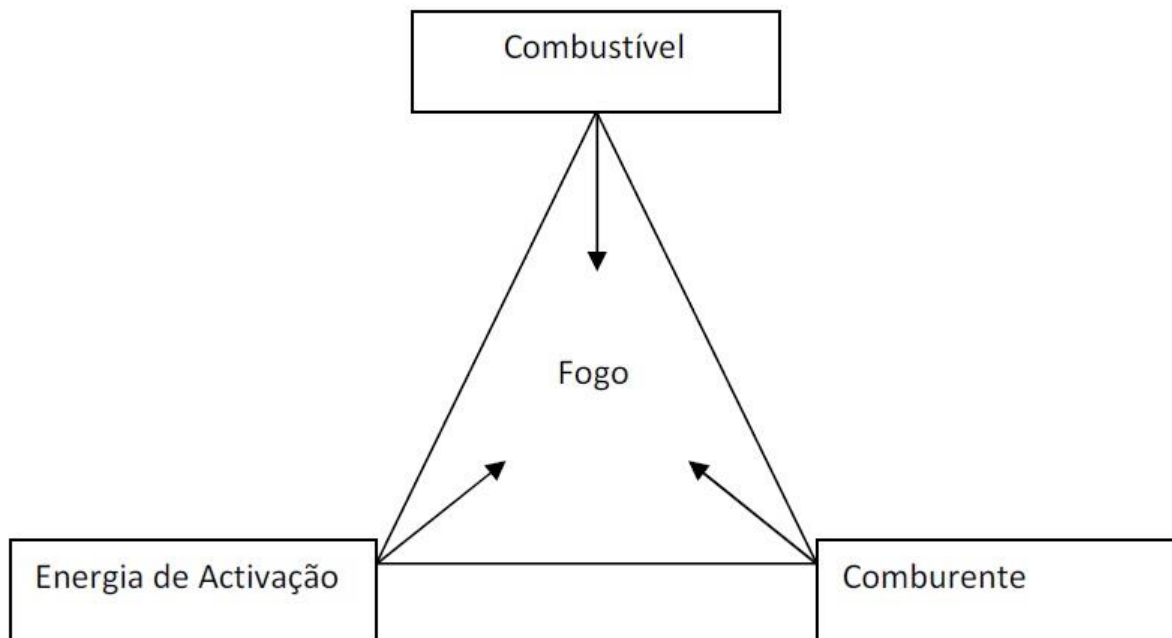


Figura 4 - Triângulo de Fogo (Fonte: Miguel, A. 2014)

Contudo, com o passar do tempo, com o aumento da capacidade tecnológica através da modernização de equipamentos, com as descobertas de técnicas de investigação inovadoras foi possível investigar a reação que promove o aparecimento do fogo, onde foi possível constatar-se que a união do oxigénio, descrito acima como comburente, com o combustível não é direta, ocorrendo através de uma série de passos em que as reações se dão entre o oxigénio e os radicais livres emitidos pelo combustível, aquecido ao ponto de inflamação. Desta forma, para que se despolette o incêndio é necessário a presença do combustível, comburente, energia de ativação e a reação em cadeia para que ocorra a propagação, surgindo assim o tetraedro de fogo composto pelos 4 elementos suprarreferidos (Figura 5).

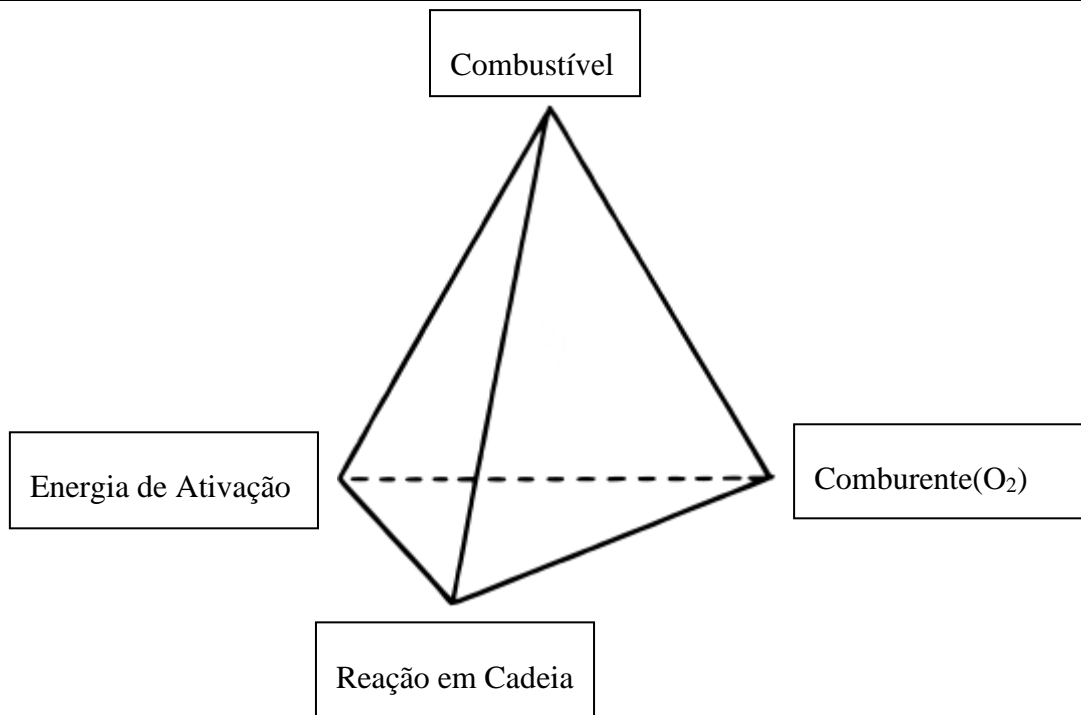


Figura 5 - Tetraedro de Fogo (Fonte: Miguel, A. 2014)

Segundo Miguel, A. (2014), o incêndio é uma reação de combustão (oxidação-redução) fortemente exotérmica e que se desenvolve, geralmente, de uma forma descontrolada, quer no tempo quer no espaço. Para além da emissão de calor, verifica-se, num incêndio, a emissão de fumo e/ou chamas e gases de combustão. Assim sendo, existem diversas causas que levam à origem do incêndio, que são as seguintes:

- Origem térmica – Através de materiais ou equipamentos emissores de chama nua, equipamentos produtores de calor e radiação solar;
- Origem elétrica – Arco elétrico, sobreaquecimento, aparelhos defeituosos e descarga elétrica atmosférica;
- Origem mecânica – Sobreaquecimento proveniente da fricção mecânica;
- Origem química – reação de substâncias auto-oxidantes;
- Causas humanas – Descuido, desconhecimento e fogo posto.

Com o recurso a este tipo de energia, evita-se a contínua procura pelos combustíveis fósseis, promove-se uma sustentabilidade a longo prazo, uma vez que a energia solar é inesgotável e os custos associados a instalações fotovoltaicas atualmente encontram-se a preços acessíveis relativamente a outros tipos de energia renovável (DGEG. 2024).

Desta forma, as instalações fotovoltaicas são constituídas por painéis solares fotovoltaicos, em que estes têm células fotovoltaicas. Os painéis podem-se encontrar em diversos locais, como por exemplo, em edifícios, centrais de produção de eletricidade e parques solares. De igual modo,

apresentam diversos propósitos, como referido anteriormente, quer no aquecimento e quer na produção de energia (DGEG. 2024).

Um painel solar fotovoltaico apresenta um conjunto de materiais que permite com que produza energia, sendo composto pelos seguintes elementos, conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Composição Painel Solar Fotovoltaico (Fonte: Ploter 2024)

Conforme pode ser verificado, o painel é composto por 7 elementos, onde a película encapsulante, na sua composição, pode ter alterações nos seguintes parâmetros:

- Película Encapsulante – EVA (*Ethylene Vinyl Acetate* ou em português Acetato-Vinilo de Etileno) ou também ser de PET (*Polyethylene Terephthalate* ou em português Politereftalato de Etileno) (Baisheng, L et al. 2023);

Por outro lado, as células fotovoltaicas podem ser do seguinte tipo (Figura 7):

- Silício Monocristalino;
- Silício Policristalino;
- Silício de Amorfo. (Iberdrola, 2024)

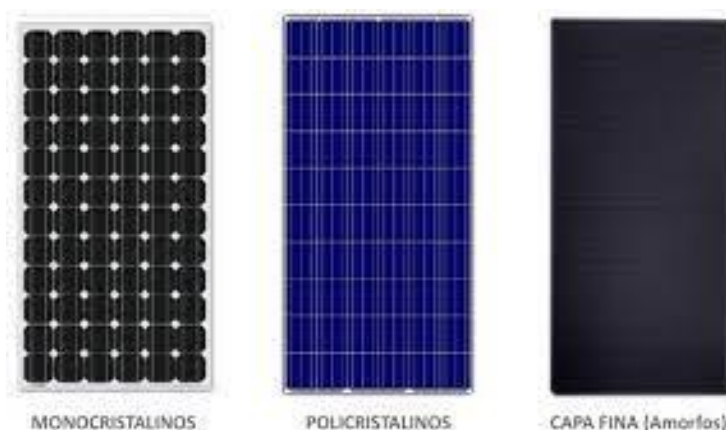


Figura 7 - Tipos de Células Fotovoltaicas (Fonte: TRITEC,2017)

De destacar que ao contrário dos painéis solares rígidos, que pesam mais de 20 kg, tal como evidenciado anteriormente, existe também os painéis solares flexíveis com pesos de 4 kg e

podem ser instalados em varandas, sem necessidade de uma estrutura fixa e pesada, como as usadas nas instalações de telhado (EDP Comercial, 2024).

Aquando da instalação dos painéis, importa ter em conta o local da sua instalação (cobertura, fachadas, parques solares), o espaço disponível, assim como verificar a necessidade de inclinação dos painéis na própria estrutura do edifício ou através de uma estrutura triangular (quando aplicável), pois pode influenciar o seu desempenho de captação da radiação solar e produção de energia. Por outro lado, um sistema fotovoltaico apresenta uma maior complexidade e um conjunto de elementos que vão permitir a produção, sendo estes os seguintes, Figura 8:

1. Painel Fotovoltaico;
2. Caixa de conexão ao gerador (opcional);
3. Cablagem de CC;
4. Interruptores /seccionadores;
5. Inversores de CC em CA;
6. Cablagem de CA
7. Sub distribuição;
8. Alimentador e/ou Contador para consumo próprio;
9. Alguns sistemas possuem ainda baterias de acumulação de energia (Lopes, P. 2023).

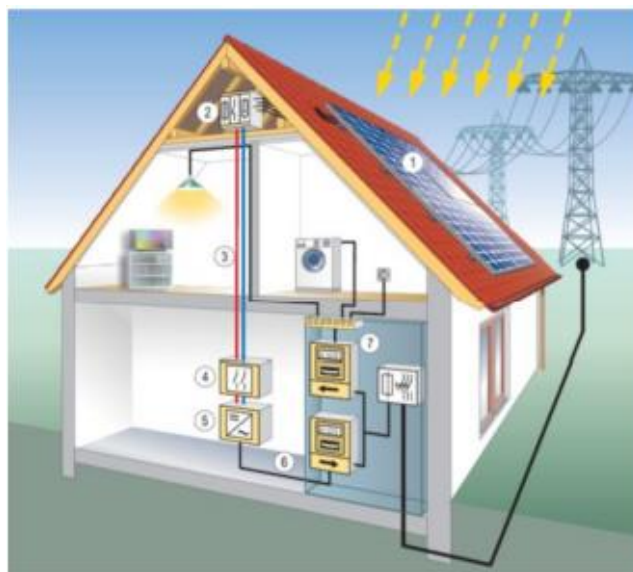


Figura 8 - Sistema Fotovoltaico ligado à rede (Fonte: Sepanski, A. Et al. 2018)

## 2.3 Enquadramento legal e normativo

Relativamente ao campo do enquadramento legal e normativo, de forma a sustentar a respetiva dissertação, verifica-se que o mesmo abrange de forma global a área da Segurança e Saúde Ocupacional, por meio da Lei n. °102/2009, que promove o Regime Jurídico de Segurança e Saúde no Trabalho em Portugal, onde procura promover a segurança dos trabalhadores nos seus locais de trabalho, sendo esta aplicável para os instaladores dos painéis fotovoltaicos e para os intervenientes neste setor de atividade. No ponto 9 do artigo 15º da presente lei, refere-se que o

empregador deve estabelecer as medidas de combate a incêndios e de evacuação e dar a conhecer aos trabalhadores as medidas implementadas neste âmbito.

No âmbito da Segurança Contra Incêndios e sob a ótica legislativa, é crucial considerar o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE), publicado pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 de 11 de novembro, na sua atual redação publicada pela Lei n.º 123/2019 de 18 de outubro. Este regulamento assenta nos princípios gerais da preservação da vida humana, do ambiente e do património cultural, em que define uma classificação dos edifícios e espaços com base no tipo de utilização, nos materiais de construção utilizados e na sua capacidade de resistência e reação ao fogo. Adicionalmente, estabelece os locais de risco e as classes de resistência de componentes adicionais ao edifício.

Em complemento ao RJ-SCIE, foi adicionalmente publicado o RT-SCIE, que estabelece as condições a que devem obedecer os edifícios e recintos, no que diz respeito às condições exteriores comuns, caminhos evacuação, instalações técnicas, equipamentos e sistemas de segurança, comportamento ao fogo e autoproteção. Inicialmente, este RT-SCIE surgiu através da Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro. No entanto, após 12 anos, sofreu uma atualização, encontrando-se a sua atual versão na Portaria n.º 135/2020, de 2 de junho.

No que se refere ao campo da produção e distribuição de energia, no âmbito das instalações fotovoltaicas solares e da produção de energia elétrica, esta tem por base as Diretivas Europeias 2019/944, de 5 de junho, que define as regras comuns para o mercado interno da eletricidade, e 2018/2001, de 11 de dezembro, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, tendo estas sido transpostas para Portugal através do Decreto-Lei n.º 15/2022, em que estabelece a organização e funcionamento do Sistema Elétrico Nacional e descreve o autoconsumo de energia renovável e as comunidades de energia renovável (CER). Como complemento da legislação supramencionada, abordar-se-á também o Decreto-Lei n.º 226/2005, referente ao Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Elétrica, o Regulamento de Segurança de Instalações Coletivas de Edifícios e Entradas, assim como a Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de setembro, alterada pela Portaria n.º 252/2015, de 19 de agosto, que estabelece as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT). Para além do estipulado pela legislação anteriormente referida, importa ainda referir a regulamentação no campo da inspeção e certificação das UPAC, a qual por intermédio da DGEG, o Despacho n.º 4/2020 em que estabelece o Regulamento de Inspeção e Certificação e o Regulamento Técnico e de Qualidade, bem como o Despacho n.º 15/2022, que define as regras técnicas e procedimentos com vista ao correto dimensionamento e à realização de inspeções aplicáveis a instalações elétricas coletivas com unidades de produção para autoconsumo (UPAC) associadas..

Assim, importa destacar quais os diferentes tipos de licenciamento existentes, conforme estabelecido no Decreto-Lei 15/2022, de 14 de janeiro, na sua atual redação, em que surge pela transposição da Diretiva (UE) 2019/944 e a Diretiva (UE) 2018/2001, referente à organização do Sistema Elétrico Nacional, na qual a DGEG, enquanto entidade licenciadora de tais atividades, distingue:

- Isenção de controlo prévio (sem injeção na RESP - Rede Elétrica de Serviço Público), isto é, a produção de eletricidade para autoconsumo com capacidade instalada de até 700 W está isenta de controlo prévio, desde que não haja previsão de injeção de excedentes na RESP, não existindo a emissão de título;
- Comunicação prévia, isto é, a produção de eletricidade para autoconsumo com potência instalada superior a 700 W e até 30 kW está sujeita a comunicação prévia, o que requer um comprovativo da presente comunicação prévia que habilita a instalação da UPAC;
- Registo prévio e certificado de exploração, consiste na produção de eletricidade para autoconsumo para potencias compreendidas entre os 30 kW até 1MW (inclusive), em que o comprovativo de registo prévio habilita a instalação da UPAC e o certificado de exploração habilita a UPAC a entrar em funcionamento;
- Licenças de produção e exploração, constitui a produção de eletricidade para potências superiores a 1MW, em que as respetivas licenças habilitam o exercício das atividades de autoconsumo e a entrada em exploração da instalação;

Neste sentido, a Tabela 1, apresenta quais as diferenças existentes, tendo em conta os níveis de potência que se pretenda instalar, nomeadamente:

Tabela 1 - Diferenças de Potência do Sistema a Instalar

<b>Isenção de Controlo Prévio</b>	$\leq 700 \text{ W}$
<b>Comunicação Prévia</b>	$700 \text{ W} < X \leq 30 \text{ kW}$
<b>Registo Prévio e Certificado de Exploração</b>	$30 \text{ kW} < X \leq 1 \text{ MW}$
<b>Licença de Produção e de Exploração</b>	$> 1 \text{ MW}$

Ainda, a DGEG define quais os documentos de carácter obrigatório a submeter para aprovação da mesma (Tabela 2), tendo em conta as diferenças de potências, sendo da seguinte forma:

Tabela 2 - Documentos a submeter à DGEG

<b>Documentos Obrigatórios a submeter para aprovação pela DGEG</b>	
<b>Comunicação Prévia</b>	Termo de responsabilidade de execução Diagrama Unifilar da instalação
<b>Registo Prévio e Certificado de Exploração</b>	Instalação alimentada em BT Termo de responsabilidade de execução Projeto da UPAC completo Seguro de Responsabilidade Civil

## Documentos Obrigatórios a submeter para aprovação pela DGEG

---

- No caso de não existir injeção, tem de existir documento a informar como foi efetuada a limitação

### Instalação alimentada em MT

- Termo de responsabilidade de execução
- Projeto da UPAC completo
- Seguro de Responsabilidade Civil
- Declaração tipo B
- Potência de injeção >250kW – ensaios à proteção homopolar
- No caso de não existir injeção, tem de existir documento a informar como foi a limitação

No campo normativo, será tido em conta as normas desenvolvidas pelo *International Electrotechnical Commission* (IEC), que tem como objetivos a normalização, a garantia da segurança e da qualidade, a facilitação do comércio mundial, a promoção da interoperabilidade, o incentivo à inovação, a abordagem das preocupações ambientais e a prestação de assistência técnica e educação, e, em particular, as seguintes:

- IEC 61215-1 - Este documento descreve os requisitos para a qualificação do projeto de módulos fotovoltaicos terrestres destinados a um funcionamento prolongado em climas ao ar livre. A longevidade destes módulos depende da sua conceção, das condições de funcionamento e do ambiente. É importante notar que os resultados dos ensaios não se destinam a prever o tempo de vida quantitativo dos módulos. As diretrizes apresentadas aplicam-se a vários materiais de módulos de placas planas terrestres, incluindo os tipos de silício cristalino e de película fina (silício de amorfo). No entanto, o documento não abrange os sistemas concebidos para aplicações de curto prazo, como os módulos flexíveis utilizados em toldos ou tendas;
- IEC 61215-2 - Descreve os critérios para a qualificação do projeto de módulos fotovoltaicos terrestres adequados para um funcionamento prolongado em climas ao ar livre. Aplica-se a todos os materiais de módulos terrestres de placa plana, incluindo módulos de silício cristalino e de película fina (silício de amorfo). O principal objetivo da sequência de ensaios é avaliar as características elétricas do módulo e demonstrar, dentro de limites práticos de custo e tempo, a sua capacidade para suportar uma exposição prolongada ao ar livre;
- IEC 61730-1 - Específica e descreve os requisitos fundamentais de construção para módulos fotovoltaicos (PV), a fim de proporcionar um funcionamento elétrico e mecânico seguro. São fornecidos tópicos específicos para avaliar a prevenção de choques elétricos, riscos de incêndio e lesões pessoais devido a tensões mecânicas e ambientais;
- IEC 61730-2 - Enumera os testes que um módulo fotovoltaico deve ser sujeito para a qualificação de segurança. Este documento aplica-se à qualificação de segurança apenas em conjunto com a norma IEC 61730-1. O objetivo deste documento é fornecer a sequência

de ensaios destinada a verificar a segurança dos módulos fotovoltaicos cuja construção foi avaliada pela norma IEC 61730-1;

- EN 50618 – Específica os cabos usados em Sistemas Fotovoltaicos (FV), em especial para a instalação do lado da CC. Estes cabos são adequados para uso permanente no exterior durante muitos anos sob condições climáticas variáveis exigentes. Requisitos bastante rigorosos são definidos para estes produtos de acordo com as condições de uso severas espectáveis (NP EN 50618:2018 - Cabos elétricos para sistemas fotovoltaicos (BT(DE/NOT)258)).

Para além das normas acima referidas, também serão tidas em conta as fichas de dados (*data sheets*) elaboradas por seguradoras que apresentam um conjunto de critérios estipulados pelos mesmos, por forma a assegurar a segurança das instalações fotovoltaicas, sendo neste caso apresentadas as da seguradora FM-GLOBAL, nomeadamente:

- 1-15 - *Roof-Mounted Solar Photovoltaic Panels* - Fornece orientações de prevenção de perdas de propriedade relacionadas com incêndios e riscos naturais para a conceção, instalação e manutenção de todos os painéis solares fotovoltaicos (PV) montados no telhado utilizados para gerar energia elétrica;
- 7-106 – *Ground-Mounted Solar Photovoltaic Power* - Apresenta diretrizes e recomendações para a conceção, instalação e manutenção de sistemas solares fotovoltaicos (PV) que são montados ao nível do solo. As recomendações abordam as matrizes fotovoltaicas que são fixas, bem como as que incluem um sistema de rastreio para seguir o caminho do sol.

## 2.4 Enquadramento Científico

Para a presente dissertação, a revisão sistemática teve como objetivo verificar a existência de critérios legais e normativos que permitissem garantir a segurança contra incêndios em edifícios (industriais e/ou residenciais) aquando da instalação de painéis fotovoltaicos como meio alternativo de produção de energia, uma vez que se trata de um tema em Portugal relativamente pouco explorado. De forma que fosse possível efetuar a pesquisa bibliográfica foi utilizada a metodologia *PRISMA Statement (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)* (Page et al, 2020).

### 2.4.1 Pesquisa

De forma a realizar a pesquisa de artigos com relevância para a problemática em questão, esta foi realizada em 3 bases de dados, nomeadamente, a SCOPUS, Web of Science e a INSPEC. De seguida, foram definidas as palavras-chave em grupos que auxiliaram na pesquisa, uma vez que as associações dos termos técnicos têm de ser consideradas, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Palavras-Chave

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
<i>Photovoltaic Panel</i>	<i>Fire</i>	<i>Safety</i>
<i>Solar Panel</i>		<i>Risks</i>
<i>Photovoltaic Installation</i>		<i>Hazard</i>

Neste sentido, os termos contemplados no grupo 1 assentam nos painéis fotovoltaicos, instalações e painéis solares. Em seguida, focou-se o grupo 2 no incêndio, na medida em que se pretendeu tratar somente do problema existente. Por fim, combinou-se o termo incêndio com outras questões pertinentes, tais como, o *safety*, *risks* e *hazard*.

Desta forma, a combinação realizada nas bases de dados acima apresentadas foi a seguinte: (“*Photovoltaic Panel*” OR “*Solar Panel*” OR “*Photovoltaic Installation*”) AND (*Fire*) AND (*Safety* OR *Risks* OR *Hazard*).

#### 2.4.2 Critérios de seleção da Pesquisa

Inicialmente, os resultados da pesquisa eram de 166 artigos, sendo posteriormente fixados critérios de exclusão, de maneira a não apresentar uma informação já datada e com informação escassa face aos dias de hoje. Assim, os critérios definidos foram:

- Data de publicação dos documentos (compreendida entre 2019-2023);
- Tipo de documento – Artigos;
- Tipo de fonte – Revistas;
- Língua – inglês;
- On topic – Análise de adequabilidade das palavras-chave e resumo dos artigos.

Após isto, os resultados da pesquisa foram de 135 artigos excluídos, pois não cumpriam com os critérios acima referidos, deixando assim 31 artigos dispostos da seguinte forma (Tabela 4):

Tabela 4 - Total de artigos nas 3 bases de dados

<b>Base de Dados</b>	<b>Total</b>
<i>SCOPUS</i>	17
<i>Web of Science</i>	7
<i>INSPEC</i>	7
<i>Total</i>	31

- 1 artigo foi excluído, pois após a sua leitura na íntegra, o mesmo não apresentava resposta para o problema em questão.

Logo de seguida, foi guardada a lista de artigos pertinentes em formato BibTeX, para depois importação dos dados para uma base de gestão de bibliografias, nomeadamente, o *Mendeley Reference Manager*, para retirada de possíveis artigos repetidos.

Assim, conclui-se que dos 31 artigos importados para o software *Mendeley*, apenas 12 eram duplicados, restando assim um total de 19 artigos para rever. Destes 19, foi necessária a definição de critérios de inclusão relativamente ao tema em estudo, sendo estes:

- Características dos painéis fotovoltaicos;
- Localização das instalações fotovoltaicas;
- Causas dos incêndios provenientes de instalações fotovoltaicas;
- Estatística de incêndios desta tipologia;
- Outras variáveis que se tornassem relevantes (ex: desenvolvimento de algoritmo para estudo da capacidade calorífica dos painéis).

Após a leitura dos artigos, constatou-se que somente um artigo não cumpria os critérios de inclusão, anteriormente apresentados, uma vez que o artigo consistia numa revisão sistemática dos riscos ocupacionais a que os trabalhadores estão sujeitos em instalações fotovoltaicas.

Como o resultado da pesquisa era insuficiente, total de 19 artigos (contemplando a exclusão de 1), foi efetuada uma pesquisa posterior, assente nos mesmo critérios, tendo em conta as citações que teriam sido colocadas nos 19 artigos acima referidos, sendo esta técnica denominada como técnica de “*Snowballing*” (Wohlin, C. (2014)). Assim, através do presente método de pesquisa foi possível adicionar à revisão sistemática mais 10 artigos que davam resposta e cumpriam os critérios de inclusão estabelecidos, tal como apresentado na Figura 9. Em seguida, foi filtrado o número de artigos considerados e efetuado um gráfico consoante a origem dos artigos (Figura 10) e por sua vez disposto pela sua geografia no mapa mundial (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Neste sentido, na Tabela 5, são apresentados os artigos selecionados para análise e exibido o resumo de cada um, descrevendo os seus objetivos e os seus resultados.

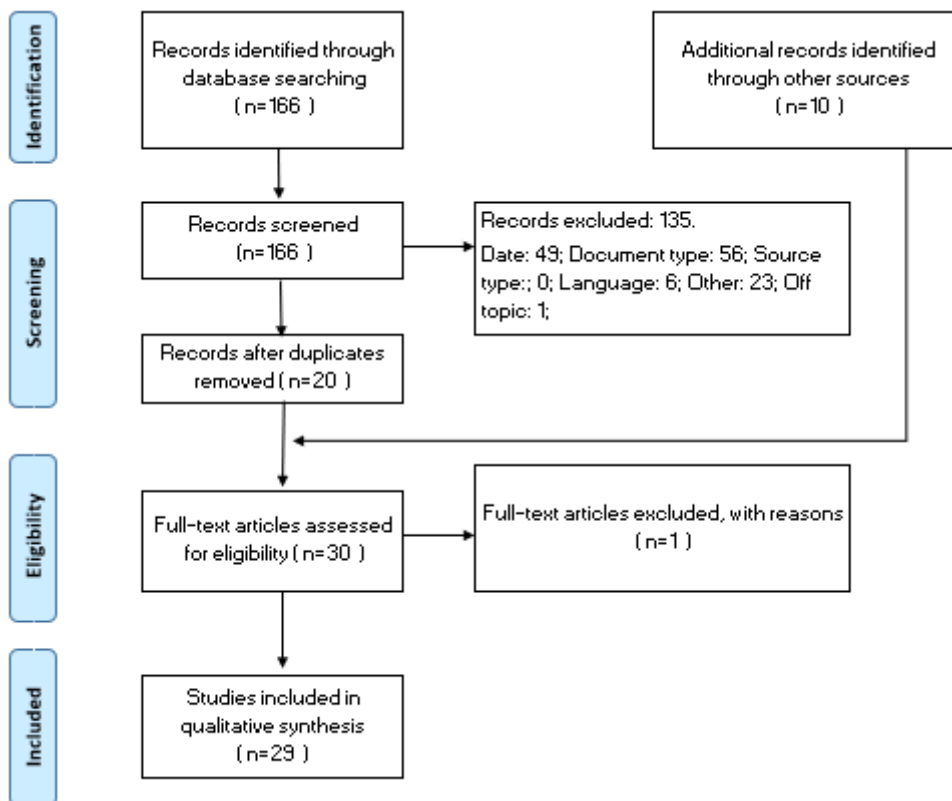


Figura 9 - Diagrama de fluxo de revisão sistemática de acordo com o PRISMA 2009

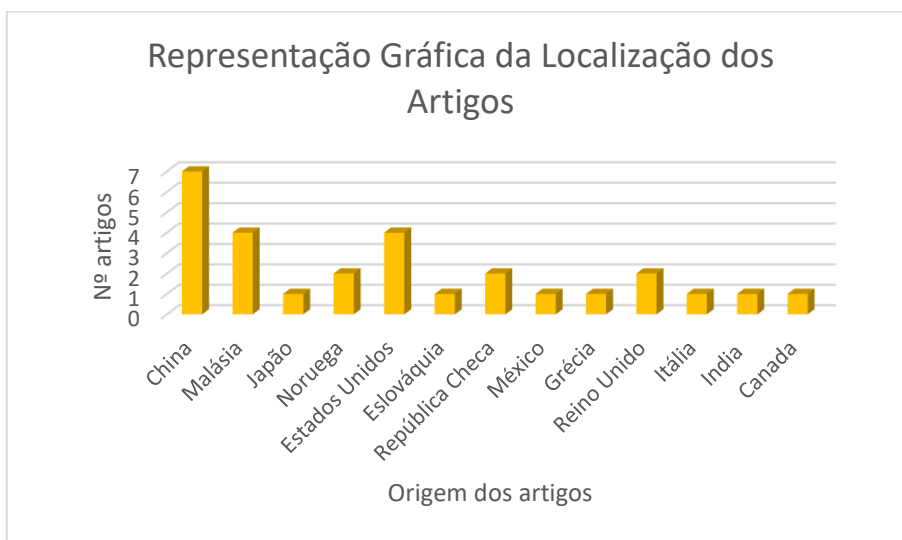


Figura 10 - Representação Gráfica da Localização dos Artigos

Tabela 5 - Tabela Resumo dos Artigos Seleccionados relativos à área SOLAR PV

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Song, Y. et al., 2023</b>	Este estudo desenvolve um quadro de avaliação do risco de incêndio dependente da temperatura do ar e aplica a uma estação solar fotovoltaica	Os resultados mostraram que as influências das temperaturas do ar não podem ser ignoradas, uma vez que certas probabilidades de eventos básicos são afetadas.
<b>Zulfauzi, A.I. et al., 2023</b>	Consiste na recolha de dados da fábrica localizada no centro da Malásia e utiliza K-Means para agrupamento e Long-Short Term Memory (LSTM) para deteção de anomalias na corrente elétrica prevista dos módulos de string.	O algoritmo proposto oferece um modelo mais robusto e preciso para a deteção de anomalias, capaz de lidar com os desafios da manutenção preditiva em centrais fotovoltaicas. O K-Means e o LSTM podem processar grandes quantidades de dados e analisar padrões e relações complexos, resultando numa maior precisão na deteção de anomalias.
<b>Shimizu, R. et al., 2023</b>	Este artigo investiga um método de identificação de módulos defeituosos em matrizes fotovoltaicas com base em medições de potencial sem contacto dos módulos fotovoltaicos.	Desenvolvido um método de medição sem contacto, detetando o movimento do portador através do campo elétrico gerado pelo potencial de superfície da célula solar no interior do módulo (entre o vidro de cobertura e a folha posterior)

<b>Referência</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultados</b>
<b>Qichang, D. et al.,2023</b>	Este artigo investiga as características do fogo e a aplicabilidade de três tipos de painéis solares fotovoltaicos, avaliados através da combinação de dados experimentais e avaliações de peritos painel transparente não oco, amostras transparentes ocas e opacas não ocas.	Este artigo descreve que os painéis fotovoltaicos opacos não ocos são recomendados para telhados e centrais elétricas fotovoltaicas. Os painéis fotovoltaicos transparentes não ocos têm o maior risco de incêndio e só devem ser utilizados em locais com requisitos de segurança mínimos ou sem preocupações com incêndios. Os painéis fotovoltaicos transparentes ocos têm um bom desempenho em termos de segurança e de isolamento térmico. Aconselha-se a sua aplicação em estruturas com elevados requisitos de segurança e isolamento térmico ou em fachadas transparentes.
<b>Brynhild,O. et al., 2023</b>	Este artigo centra-se em uma investigação para estudar a forma como os regulamentos baseados no desempenho, em combinação com a falta de orientações nacionais, afetam as considerações gerais de segurança contra incêndios para instalações fotovoltaicas na Noruega.	O artigo centrou-se na forma como os regulamentos baseados no desempenho, em combinação com a falta de orientações e normas, afetam as considerações gerais sobre a segurança contra incêndios nas instalações fotovoltaicas e, por conseguinte, também as medidas de segurança contra incêndios escolhidas.

---

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Baisheng, L. et al 2023</b>	Este artigo estuda as características da ignição e da combustão medidas durante a experiência, incluindo o tempo de ignição, a taxa de libertação de calor e a razão de equivalência da combustão. Foi analisada a correlação entre os resultados experimentais e as condições experimentais.	Os resultados experimentais mostraram que o tempo de ignição era sensível à alteração do fluxo de calor externo em diferentes condições experimentais, mas a um fluxo de calor externo mais baixo, o aumento da ventilação contribuía grandemente para a redução do tempo de ignição.
<b>Iringova, A. 2022</b>	O artigo analisa a eficiência e a incorporação de sistemas fotovoltaicos (PV) nos telhados e paredes.	Descreve que a instalação de painéis fotovoltaicos na envolvente do edifício, deve ter em conta a segurança dos movimentos do operador e a intervenção em caso de incêndio, bem como a localização das baterias de reserva e dos dispositivos de controlo, de modo que sejam acessíveis aos bombeiros no momento da intervenção em caso de incêndio.
<b>Vaverková, M.D. et al 2022</b>	Este artigo tem como objetivo monitorizar e quantificar a ocorrência de espécies vegetais em locais onde foram instalados dois tipos de painéis fotovoltaicos.	Como resultado, o artigo descreve que os tipos de painéis fotovoltaicos criam diferentes condições para a vegetação, resultando em diferentes composições de espécies

---

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Ong, N. M. et al., 2022</b>	Este artigo procura identificar todas as cadeias de eventos possíveis e obter uma compreensão das principais possíveis falhas que conduziram aos acontecimentos do incêndio PV.	É apresentada uma análise qualitativa do risco de incêndio utilizando o método BowTie para compreender o risco de incêndio dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede em telhados. Foram identificadas quatro falhas principais como os principais fatores que contribuem para o incêndio de sistemas fotovoltaicos em telhados, ou seja, falha de arco DC, defeito à terra, efeito de ponto quente nos módulos PV e sobreaquecimento.
<b>Ong, N. M. et al., 2022</b>	O artigo consiste na análise de árvore de falhas de incêndios relacionados com sistemas fotovoltaicos (PV) com o objetivo de compreender a taxa de falha dos componentes elétricos.	Quanto menos pré-fabricados forem os componentes e as conceções, maior será a probabilidade de erros humanos, o que torna os componentes propensos a avarias elétricas e, por conseguinte, uma fonte provável de ignição.
<b>Wang, Q. et al., 2022</b>	O objetivo deste documento é construir uma estrutura de monitorização em linha totalmente automática para avaliação de anomalia do painel.	Os resultados mostraram que o algoritmo conseguiu detetar com êxito as anomalias com uma recuperação de 0,80 (pode detetar anomalias significativas com uma recuperação elevada de 1) e uma velocidade elevada de 6,32 segundos/imagem.

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Morales, B. et al 2021</b>	O artigo contribui para uma melhor compreensão do fenómeno de arco eléctrico CC e fornece novas perspectivas para o desenvolvimento de novas proteções de sistemas fotovoltaicos	Este artigo contribui com uma análise aprofundada dos sinais internos do conversor face a um AF série. Graças aos resultados obtidos com a utilização de um conversor híbrido inovador, foi possível estabelecer uma base sólida para futuros desenvolvimentos.
<b>Mahto, R.V. et al 2020</b>	Este artigo faz uma análise comparativa entre os módulos fotovoltaicos reconfiguráveis e as configurações fotovoltaicas tradicionais, nomeadamente SP, TCT, BL e HC, que funcionam sob diferentes padrões de sombreamento.	Com base nas características de cada topologia, os painéis fotovoltaicos integrados em CMOS superam os outros painéis fotovoltaicos baseados em topologias fixas. Os painéis fotovoltaicos reconfiguráveis fornecem uma solução inteligente que se pode ajustar dinamicamente a diferentes configurações para superar outras topologias fixas em condições de sombreamento parcial
<b>Baisheng L. et al., 2020</b>	Neste artigo, foi selecionado um painel fotovoltaico comum para estudar o comportamento de combustão e toxicidade.	A análise permitiu estudar a quantificação da composição dos gases tóxicos sob diferentes radiações térmicas externas, as principais espécies encontradas foram CO, CO <sub>2</sub> , HF, SO <sub>2</sub> , HCN e VO.

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Xiaoyu, J. et al 2019</b>	Este artigo descreve uma série de experiências utilizando os painéis fotovoltaicos de poli-Si amplamente utilizados como amostras de teste e um queimador de gás como fonte de fogo.	Este investiga o comportamento da extensão da chama sob painéis fotovoltaicos integrados em telhados planos inclinados e a distribuição do fluxo de calor de irradiação na superfície do telhado, que ainda não foram estudados quantitativamente.
<b>Miao, L. et al 2019</b>	Este artigo consiste em simular o sistema de compartimentos, tendo sido construído um modelo com uma câmara de combustão ligada a um poço vertical de 8 m de altura. No interior da câmara foi colocado um fogo de piscina a gasolina de 3,5 MW com 1,16 m de diâmetro. Quatro painéis fotovoltaicos foram instalados na parede do modelo do poço, em frente ao modelo da câmara, com uma fachada vertical (camada posterior) virada para a cavidade.	Este estudo indicou que a colocação de painéis fotovoltaicos em DSF agravaria o risco de incêndio do sistema BIPV-DSF. Os produtos quentes não estavam confinados na região próxima da parede do poço, mas espalharam-se por todo o poço. A temperatura do gás em todo o poço aumentou significativamente em comparação com os resultados gerados sem painéis fotovoltaicos.

Referência	Objetivo	Resultados
<b>J. Steemann Kristensen &amp; G. Jomaas; 2018</b>	Foram efetuadas experiências de incêndio em quatro modelos de construção de telhados com um conjunto de seis painéis (PV) para estudar a dinâmica do fogo e o comportamento de propagação das chamas de chama, de modo a caracterizar os riscos de incêndio	Os resultados indicam que a geometria (ângulo em que são colocados os painéis no telhado) das instalações fotovoltaicas tem uma influência significativa na propagação. Assim, o risco de incêndio dos painéis fotovoltaicos não depende apenas da nova instalação, mas também dos materiais existentes na construção do telhado.
<b>Zamrazilova, M &amp; Oulehlova, A (2022)</b>	O artigo utiliza o método (FMEA), para avaliar as causas e os efeitos, bem como procura estimar o risco e falhas do sistema fotovoltaico que podem resultar em incêndio.	O artigo centrou-se, portanto, na avaliação dos riscos, nomeadamente as causas que podem desencadear um incêndio. As possíveis falhas individuais foram descritas no artigo e o seu nível de risco foi avaliado em relação à sua gravidade, ocorrência e deteção.

---

<b>Referência</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultados</b>
<b>S. Kaplanis &amp; E. Kaplani &amp; J.K. Kaldellis (2021)</b>	O objetivo do artigo é desenvolver um modelo compacto e inovador para prever a temperatura dos módulos fotovoltaicos (PV) e a sua saída de potência em condições ambientais variáveis, incluindo a influência da velocidade do vento, eficiência do PV, e inclinação do módulo. O modelo busca superar as limitações de modelos anteriores ao incorporar esses fatores de forma mais precisa e aplicável a diferentes configurações de PV, tanto em ambientes livres quanto integrados a edifícios.	Os resultados indicam que o modelo proposto é capaz de adaptar-se a várias configurações e condições ambientais, validando a sua eficácia através de comparações com dados experimentais e outros modelos bem conhecidos. O modelo demonstra ser particularmente eficaz para sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios e adaptados a eles.
<b>J. Kristensen, F. Faudzi &amp; G. Jomaas (2021)</b>	O artigo trata de um conjunto de experiências realizadas em que a propagação da chama é estudada para um sistema específico com características definidas, tais como o material da cobertura, a geometria, o sistema de montagem e o módulo PV.	O artigo conclui que, com base em experiências sobre a propagação da chama em aberturas horizontais de diferentes alturas, há uma distância crítica entre as fendas. Acima dessa distância crítica, a taxa de propagação da chama é baixa e constante, enquanto abaixo dela, acelera rapidamente. A existência de uma altura crítica da abertura, acima da qual o dano causado pela propagação da chama pode ser minimizado, sugere que ela pode ser uma medida eficaz de atenuação.

---

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Cancelliere, P et al., (2021)</b>	O artigo tem como objetivo a revisão dos testes de incêndio em módulos e painéis fotovoltaicos. Esta, visa abordar as metodologias de teste atuais, avaliar a eficácia desses testes na prevenção de riscos de incêndio e identificar potenciais deficiências nas práticas de teste existentes. Ao fazer isso, o artigo busca contribuir para o aprimoramento das normas de segurança e eficácia dos testes, melhorando assim a prevenção de incêndios em sistemas de energia solar.	O artigo determina que foi possível analisar o comportamento ao fogo de certos módulos fotovoltaicos quando combinados com diferentes tipos de materiais de cobertura. Essa análise também permitiu identificar algumas limitações nos protocolos de teste europeus e italianos para a classificação de reação ao fogo. Essas limitações estão principalmente relacionadas ao design único e às características específicas de instalação externa dos módulos PV, tais como a inclinação do módulo, a intensidade da chama de ignição, a duração da exposição ao fogo, o desgaste inicial da amostra e a falta de amostras instaladas no telhado.
<b>Zuyu, W. et al., (2020)</b>	Este artigo centra-se na análise das técnicas mais recentes para reduzir os efeitos de pontos quentes e arcos de corrente contínua.	O artigo conclui que a fim de reduzir a probabilidade de um acidente de incêndio em PV, existem especificações técnicas a cumprir. Em primeiro lugar, o módulo PV precisa de passar o teste de combustão e propagação de chama, de acordo com as especificações da UL 790 "Safety Standard for Roofing Material Fire Test". Em segundo lugar, o inversor deve ser concebido sem fusíveis para evitar incêndios provocados por falhas no lado CC.

---

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Haque, A. Et al., (2019)</b>	Este artigo analisa os desafios e limitações associados ao diagnóstico de falhas em módulos solares.	O artigo conclui que a partir da revisão e do estudo de caso, que o algoritmo de classificação de falhas desenvolvido é muito eficiente em termos de formação, validação, teste e tempo de detecção de falhas. As falhas que podem estar escondidas no painel fotovoltaico sem serem notadas também podem ser detetadas utilizando o algoritmo desenvolvido. Isto torna o sistema mais fiável.
<b>Guomin, Z. et al., (2018)</b>	Este artigo foca nos riscos de incêndio associados a sistemas fotovoltaicos integrados em edificações, examinando também a temperatura e a densidade do fluxo de calor próximos a um sistema fotovoltaico durante um incêndio.	O artigo conclui que os valores da densidade do fluxo de calor da cobertura e da temperatura dependem do facto do telhado ser inflamado e de estar presente uma claraboia, da magnitude da densidade do fluxo de calor e da temperatura do telhado. Se a temperatura do telhado e a densidade do fluxo de calor forem elevadas, os sistemas fotovoltaicos no telhado estão em grande risco.

Referência	Objetivo	Resultados
<b>Bjørn, J (2016)</b>	Este artigo, resume o atual estado da arte do BIPV, incluindo folhas, telhas, módulos e produtos de envidraçamento com células solares BIPV, e aborda possíveis vias de investigação para o BIPV nos próximos anos.	O artigo conclui que os produtos fotovoltaicos integrados em edifícios (BIPV) de última geração atualmente existentes no mercado oferecem uma vasta gama de integração de sistemas fotovoltaicos (PV) em edifícios. A investigação e o desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias fotovoltaicos e BIPV produzirão, nos próximos anos, soluções BIPV cada vez melhores, por exemplo, no que respeita ao aumento da eficiência das células solares, aos aspetos ambientais, à redução dos custos de produção e à melhoria da integração nos edifícios.
<b>Aram, M. et al., (2021)</b>	O artigo apresenta uma revisão do estado da arte do crescente número de estudos científicos sobre a segurança contra incêndios em sistemas fotovoltaicos.	O artigo teve como objetivo analisar estudos e relatórios revistos por pares sobre a segurança contra incêndios em sistemas PV para identificar incêndios reais em sistemas de painéis PV e possíveis erros nos elementos do sistema de painéis FV que poderiam aumentar o risco de incêndio pré-existente.
<b>Ong, N. M. et al., 2022</b>	Este artigo tem como objetivo avaliar e incorporar práticas de segurança contra incêndios de todas as diretrizes de instalação fotovoltaica acessíveis ao público.	O artigo resume as melhores práticas de segurança contra incêndios durante a instalação de sistemas fotovoltaicos, analisadas a partir de 40 publicações disponíveis no domínio público.

Dos artigos que foram anteriormente selecionados e revistos através da metodologia PRISMA, todos eles abordam a área do solar PV. Em alguns dos artigos selecionados é abordada uma estatística de acidentes causados pelos painéis PV, em que é apresentada uma estimativa anual do número de incêndios por megawatt (MW), sendo esta de 0,0289 incêndios/MW (Qichang, D. et al., 2023) (Ong, N. M. et al., 2022). De igual forma, é apresentado o respetivo número para o ano de 2020, em que a percentagem de incêndios é de 2%, sendo efetuada a subdivisão entre incêndios residenciais e indústrias. Por outro lado, é possível também identificar que 3,5% dos incêndios tiveram início em *rooftops* (Zuyu, W. 2020). Ainda relativamente à estatística dos acidentes, dos resultados obtidos, somente em Itália, no ano de 2012 ocorreram 600 incêndios e em 2016, segundo a *Italian National Firefighters Brigade*, ocorreram 1600 incêndios (Brynhild, O. et al., 2023).

Para que suceda este tipo de incêndios, importa entender quais os materiais que os painéis têm e no que se refere ao tipo de materiais que podem existir, os diversos autores descrevem a existência de uma película encapsulante, composta por dois tipos de materiais, nomeadamente, o Acetato-Vinilo de Etileno (EVA) ou o Politereftalato de Etileno (PET), em que estes dois tipos de películas são descritos pelos diversos autores dos artigos verificados. Para além deste tipo de películas, também são apresentados diversos tipos de materiais de composição do painel, nomeadamente, silício policristalino, silício monocristalino e silício amorfo (Song, Ye. et al., 2023; Qichang, D. et al 2023; Baisheng, L. et al 2023; Ong, N. M. et al., 2022; Baisheng, L. et al 2020; Miao, L. & Chow, C. 2019; Zuyu, W. et al 2020; Haque, A. et al 2019; Guomin, Z. et al., 2018).

No que se refere aos locais onde são realizadas as instalações dos painéis PV, estes podem variar, pois os artigos apresentaram como possíveis locais, parques solares (Song, Y. et al., 2023; Zulfausi. I. et al., 2023; Vaverková. M. et al., 2022; Wang, Q. et al 2022), as coberturas dos edifícios, também designado por *rooftop* e de igual forma nas fachadas (Ong, N. M. et al., 2022; Miao, L. & Chow, C. 2019; Kristensen, J. & Jomaas, G. 2018).

Em seguida, ao longo dos artigos estudados foram identificadas pelos últimos autores algumas das causas que poderiam desencadear o incêndio nos painéis, sendo estas maioritariamente descritas como sendo:

- **Hotspots ou pontos quentes** – tal como descrito anteriormente, consiste quando 1 célula solar ou mais têm uma corrente baixa, quando comparadas relativamente às outras, causando um efeito de esforço excessivo (Song, Y. et al., 2023; Shimizu, R. et al., 2023; Brynhild, O. et al., 2023; Ong, N. M. et al., 2022; Wang, Q. et al 2022; Xiaoyu, J. et al., 2019; Zuyu, W. et al 2020; Aram, M. et al., 2021);
- **Arco Elétrico de CC, sobreaquecimento, mau dimensionamento da cablagem, falta de manutenção e fogo posto** são das causas também mais comuns a originar este tipo de incêndios pelos autores. Porém apenas um artigo destaca o papel da vegetação e como a mesma influência e desencadeia um incêndio quando não existe a manutenção do espaço envolvente, uma vez que as questões relativas a áreas verdes são comuns em parques solares (Baisheng, L. et al 2023).

De seguida, constatou-se que alguns dos artigos descrevem dois tipos de sistemas e metodologia a aplicar em instalações sendo estas descritas como:

- BIPV (Building Integrated Photovoltaics ou Integração de energia solar em edifícios) e BAPV (Building Applied Photovoltaics ou a adaptação dos sistemas PV nos edifícios) (Qichang, D. et al., 2023; Brynhild, O. et al., 2023; Iringova, A. 2022; Ong, N. M. et al., 2022; Baisheng, L. et al., 2020; Miao, L & Chow, C. 2019; Bjørn, J. 2016; Aram, M. et al., 2021);
- Recurso a algoritmos e a softwares para determinar a influência das condições adversas que podem influenciar o funcionamento dos painéis PV e de como detetar anomalias com recurso a drones (Song, Ye et al., 2023; Zulfauzi, I. et al 2023; Benjamin, J. et al 2021).

Por fim, destaca-se a utilização de outros mecanismos para estudar os painéis PV, através de recurso à análise da árvore de falhas (Song, Ye et al., 2023), método de inspeção assente na influência que o potencial calorífico terá no aumento de temperatura (Shimizu, R. et al 2023), a utilização da ferramenta BOWTIE, que consiste na avaliação e gestão dos riscos utilizadas em vários sectores de atividade, nomeadamente nas áreas da segurança e da gestão de processos. Trata-se de uma representação visual que ajuda as organizações a analisar e gerir os riscos potenciais associados a uma determinada atividade, processo ou sistema, obtendo o seu nome devido às semelhanças que tem com um laço. (Ong, N. M. et al., 2022)

## **2.5 Objetivos da Dissertação**

Com a presente dissertação pretende-se verificar se as condições de segurança contra incêndios são tidas em conta quando se realiza a conceção, instalação e manutenção de painéis fotovoltaicos, de forma a garantir que as indústrias se encontram munidas de informação e ferramentas para garantir a salvaguarda de que o seu património não é tomado pelo incêndio, sendo este proveniente destas instalações. Assim, através desta dissertação dá-se a conhecer as causas mais comuns de desenvolvimento dos incêndios em painéis fotovoltaicos, assim como as medidas preventivas para a instalação e manutenção deste tipo de locais, muitas vezes de difícil acesso.

Neste sentido, são abordados no ponto 3 (Metodologia), os objetivos específicos que foram considerados.



### 3 METODOLOGIA

O estudo de caso da Iphome assenta numa base de metodologia composta por cinco etapas integradas, que permite analisar e verificar quais as medidas necessárias para ter em conta o património cultural da empresa e resolver o proposto com a presente dissertação, sendo estas:

- Análise do Contexto das Instalações Fotovoltaicas;
- Análise das normativas internacionais e outros documentos associados ao tema;
- Desenvolvimento da estrutura regulamentar das instalações fotovoltaicas;
- Análise técnica de um projeto fotovoltaico tipo
- Aplicação da análise prescritiva ao respetivo caso de estudo;

#### 3.1 Análise do Contexto das Instalações Fotovoltaicas

Nesta primeira fase foi efetuada uma pesquisa e consulta de elementos técnicos correspondentes às instalações fotovoltaicas, com o objetivo de perceber o contexto de funcionamento de um sistema solar fotovoltaico. Esta pesquisa decorreu ao longo de 1 mês (duração flexível e ajustável), de forma a conseguir recolher a informação necessária para uma posterior análise de questões normativas. Esta informação foi recolhida com recurso à componente informática, com o auxílio dos orientadores em fase de dissertação e em fase de projeto de dissertação. No ponto 4.1 são apresentados os respetivos resultados referentes à temática do contexto das instalações fotovoltaicas.

#### 3.2 Análise das Normativas Internacionais e outros documentos associados ao tema

Foram analisadas as questões legais e normativas, assim como outros documentos que forneçam informação útil para dar resposta ao pretendido com a presente investigação. Para isto, foi efetuada uma pesquisa pormenorizada sobre normas internacionais, como por exemplo, da IEC e CENELEC, em que o tema da segurança contra incêndios cruzasse com a temática dos PV. Esta pesquisa de documentos normativos e outros, foi subdividida em dois momentos, nomeadamente, normas internacionais e fichas de dados (*data sheets*) de seguradoras que abordam o presente tema.

No primeiro momento, a pesquisa decorreu num período de 7 dias para procura e captura de normas que apresentem medidas a ter em conta aquando das instalações dos painéis PV e de normas que complementassem a capacidade de resistência e reação ao fogo por parte dos materiais que compõem um sistema PV, desde o próprio painel, até ao próprio dimensionamento da cablagem usada.

No segundo momento, referente à pesquisa de fichas de dados por seguradoras, teve uma duração de 8 dias, em que as seguradoras que se destacaram sobre a temática em estudo foram a FM-Global e a Allianz. Foram detetadas diversas fichas de dados elaboradas pelas mesmas, em que abordam a temática e apresentam linhas de orientação construtivas para que as mesmas possam assegurar o

bom funcionamento e a salvaguarda do património das entidades, passando pela definição de diferentes critérios e medidas, desde as características dos parafusos, ao comportamento face às ações do vento, ao comportamento do solo no âmbito vegetativo, dos tipos de estruturas, das cablagens, entre outros.

Neste sentido é apresentado no ponto 4.2 os respetivos resultados referentes à análise dos referenciais normativos e outros documentos associados.

### **3.3 Desenvolvimento da estrutura regulamentar das instalações fotovoltaicas**

Após análise do contexto das instalações e das questões normativas detetadas, foi desenvolvida uma estrutura regulamentar com o objetivo de identificar e caracterizar todas as fases dos processos das instalações PV para desenvolver linhas orientadoras na fase de projeto. Para isto, foi compilada toda a informação adquirida nas tarefas anteriores e desenvolvida, em conjunto com os orientadores, linhas de orientação para garantir que as instalações realizadas e que os riscos a que estão inerentes sejam minimizados e se possível eliminados, para que haja uma salvaguarda das entidades quando está a ser realizada a instalação ou durante o seu funcionamento. Esta tarefa decorreu num período de 30 dias, de forma a desenvolver um documento que contemple os riscos existentes e as medidas preventivas a ter em conta.

Neste sentido, o ponto 4.3 os respetivos resultados referentes à análise dos referenciais normativos e outros documentos associados.

### **3.4 Análise técnica de um projeto fotovoltaico tipo**

De seguida, foi analisado um projeto fotovoltaico tipo no contexto técnico, tendo em conta os seus componentes. É de destacar o diagrama unifilar, isto é, a representação gráfica simplificada de um sistema elétrico, onde são utilizadas linhas e símbolos padronizados para ilustrar os componentes e as conexões do sistema. A sua função, entre outras, é a de permitir uma fácil compreensão do layout e da estrutura do sistema elétrico. Em resumo, um diagrama unifilar é uma ferramenta essencial para a conceção, implementação e operação de sistemas elétricos em todas as etapas do processo.

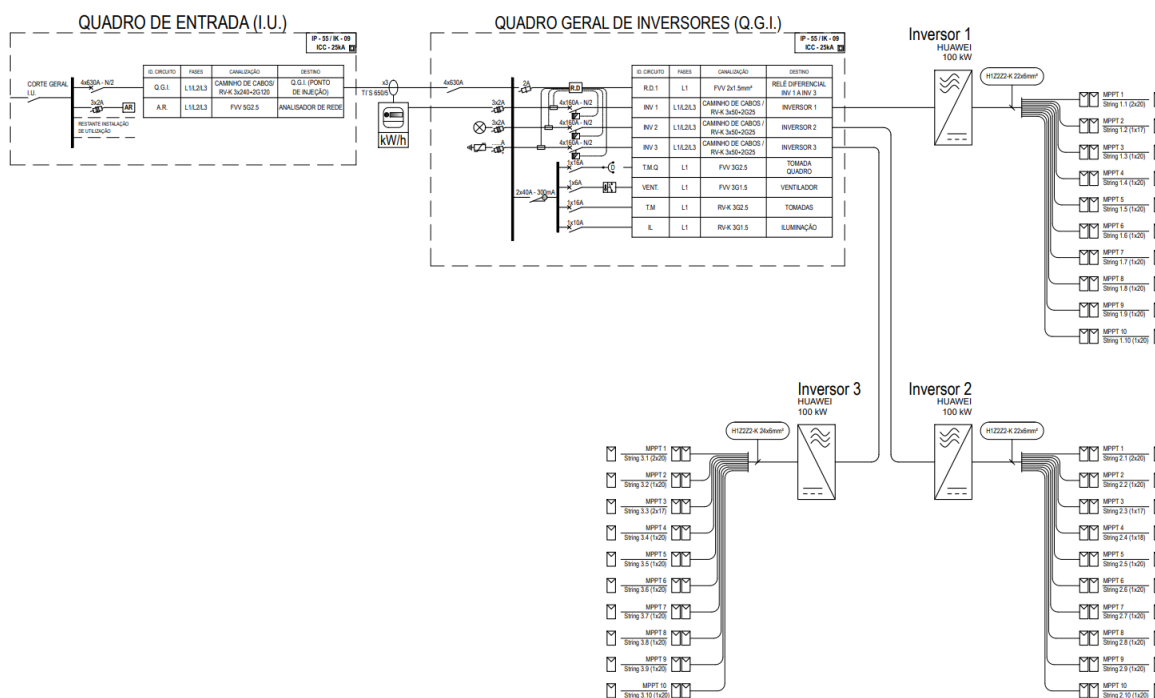


Figura 11 - Diagrama Unifilar Tipo

Relativamente ao diagrama unifilar anteriormente apresentado, Figura 11, é importante efetuar os cálculos das proteções, de modo a evidenciar um correto dimensionamento da instalação.

No exemplo apresentado anteriormente, verifica-se que consiste numa UPAC de 300 kW, enquadrada no registo prévio e no certificado de exploração, a qual possui 3 inversores, cada um uma potência nominal de 100 kW, da marca Huawei, modelo *SUN2000-100KTL-M1*, informação fornecida pelo projetista.

Assim, importa verificar se os valores de corrente do inversor, da corrente do cabo e da corrente do disjuntor se encontram dentro dos valores recomendados para o correto dimensionamento da instalação.

No que se refere aos valores de corrente do inversor, estes podem ser obtidos através da respetiva ficha técnica, sendo que para o modelo em questão é referida uma corrente de 145 A (ampere) (Anexo I). Este valor da corrente do inversor também pode ser obtido através do seguinte cálculo, Figura 12:

$$\frac{100000 \text{ w}}{3} = 33333.33 \text{ w} \\ \frac{33333.33 \text{ w}}{230 \text{ v}} = 144.92 \approx 145 \text{ A}$$

Figura 12 - Cálculo das proteções da corrente do inversor

Esta fórmula de cálculo consiste no valor da potência nominal de cada inversor (100kW) a dividir pelo número de fases (3), que por sua vez se divide pela tensão nominal (230 V).

Já no cálculo da corrente do cabo a instalar, este tem em conta o método de referência que deve ser identificado pelo projetista, conforme evidenciado na Figura 13.

NOME	POTÊNCIA (kW)	Ib	In	MET. REF.	Iz	I2	Ib ≤ In ≤ Iz
INV1a3	100	145	160	F	216	208	VERIFICA
TOTAL	300	435	630	F	634	819	VERIFICA
CANALIZAÇÃO INV1a3 -->Q.G.I				RV-K 3x50+2G25 mm <sup>2</sup>			
CANALIZAÇÃO TOTAL -->Q.E				RV-K 3x240+2G120 mm <sup>2</sup>			

Figura 13 - Cálculos das Proteções

No exemplo em análise, admitiu-se, pela informação fornecida pelo projetista, que no caminho de cabos foi adotado o método F referido no RTIEBT, dado ser o mais representativo das soluções normalmente encontradas neste tipo de instalações. Este método F caracteriza-se por um caminho de cabos envolvendo perfuração, tal como indicado na Figura 14.

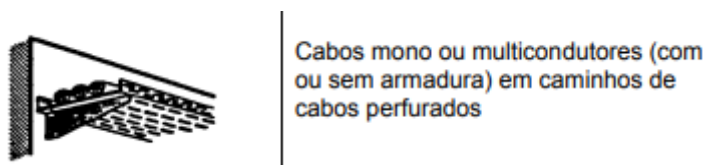


Figura 14 - Caminho de cabos perfurados (Fonte: RTIEBT. 2000)

De igual modo, admitindo-se que o cabo em questão é monocondutor, tendo em conta as condições de instalação, a localização da esteira, manuseio do cabo e o próprio peso, assim como as correntes de ligação. em que três condutores são carregados em esteira sem afastamento e uma vez que a secção nominal dos condutores é de 50 mm<sup>2</sup>, através da consulta do RTIEBT, o valor obtido da corrente dos cabos é de 216 A, como pode ser verificado na Figura 15.

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados <sup>(1)</sup>	Três condutores carregados <sup>(1)</sup>	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento <sup>(2)</sup>	Com afastamento <sup>(2)</sup>	
Mét. ref. =>	E	E	F	F	F	G	G
Coluna =>	1	2	3	4	5	6	7
1,5	26	23	-	-	-	-	-
2,5	36	32	-	-	-	-	-
4	49	42	-	-	-	-	-
6	63	54	-	-	-	-	-
10	86	75	-	-	-	-	-
16	115	100	-	-	-	-	-
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	-	-	940	823	868	1 085	1 008
500	-	-	1 083	946	998	1 253	1 169
630	-	-	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362

Figura 15 - Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G (Fonte: RTIEBT.2000)

Relativamente à corrente do disjuntor, esta deve ser compreendida entre os valores de 145 e 216 A, tendo, a título exemplificativo, sido considerada uma corrente de 160 A.

No que se refere ao diferencial, uma vez que não foi possível ter acesso aos valores de terra, foi considerado, como exémplo o valor de terra, era de 10 ohm (Ω). Tendo em conta o estabelecido

pelo RTIEBT, o valor de terra a multiplicar pelo valor do diferencial tem de ser inferior a 50V. Assim, o valor do diferencial deve ser igual 5 A. Segundo a ficha técnica do inversor elaborada pelo fabricante, para o modelo em análise a proteção tem de ser no mínimo de 900 mA, do tipo A (Anexo II). Logo, o valor da sensibilidade do diferencial deve estar compreendido entre 0,9A e 5A.

Em resumo, face ao diagrama unifilar tipo apresentado e tendo por base os cálculos acima apresentados, pode-se concluir que são verificados os corretos cálculos para as proteções do disjuntor, do diferencial, bem como a corrente do cabo existente.

### **3.5 Aplicação da análise prescritiva ao caso de estudo**

Após o desenvolvimento da tarefa anterior, foi realizada a aplicação das linhas de orientação numa instalação descrita anteriormente, de forma a verificar se a instalação PV que foi realizada cumpre ou não com as orientações elaboradas. Para que seja possível a realização desta atividade, a mesma decorrerá por um período de 30 dias, em que será sustentada por visitas às instalações onde estão colocados os painéis. Esta tarefa terá o acompanhamento dos responsáveis do departamento de Health & Safety da entidade em estudo, do Técnico Superior de Segurança e Fiscal de Obra.

# PARTE 2

## 4 RESULTADOS

Através dos resultados apurados com a presente dissertação foi possível avaliar de um modo geral o estado das instalações fotovoltaicas, desde o projeto, instalação e manutenção, tendo como objetivo verificar quais as causas mais comuns de incêndios PV em diversos tipos de instalações e se o realizado cumpre com o estabelecido com os referenciais normativos referentes à temática em estudo, uma vez que a legislação em SCIE em Portugal é inexistente, bem como as linhas orientadoras a ter em conta a nível internacional para que seja possível a construção de *guidelines* para implementação nas 3 fases acima referenciadas, nomeadamente, projeto, instalação e manutenção.

Assim, na fase de projeto foi tida em conta a quantidade de painéis a colocar, face ao espaço disponibilizado, à capacidade estrutural da cobertura (segundo foi possível apurar com a equipa de Engenharia, foram desenvolvidos cálculos estruturais, de forma a garantir que a estrutura não perdesse as suas capacidades), à tipologia dos painéis, à cablagem e à localização de inversores.

Neste sentido, a área de implantação dos painéis era de 11.184 m<sup>2</sup>, tal como apresentado na



Figura 16 e Figura 17, com um azimute de 34°, o que transformado em quantidade de painéis a instalar correspondeu a 1904 unidades, cada uma com uma capacidade de 550 Wp (*watt peak*), perfazendo assim uma potência total de 1.047.200 kWp (*kilowatt peak*).

No que diz respeito ao número de inversores a ser instalado, foram considerados 8 inversores com capacidades de 110.000 V, perfazendo um total de 880.000 V.



Figura 16 - Zona de Instalação dos Painéis Fotovoltaicos (Fonte: Própria)



Figura 17 - Zona de Instalação de Painéis Fotovoltaicos (Fonte:Própria)

#### 4.1 Contexto das Instalações Fotovoltaicas

No que se refere ao contexto das instalações fotovoltaicas, foi possível apurar que existem múltiplos fabricantes de painéis em todo o mundo. A *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) elaborou um documento onde descreve quais os pontos que são considerados para que os fabricantes sejam classificados com classes diferentes. Assim, a BNEF sugere 3 níveis de classificação somente para os módulos PV, sendo estes, Tabela 6:

- *Tier 1* (denominação em inglês para nível);
- *Tier 2*;
- *Tier 3*.

Tabela 6 - Tipos de Níveis de Módulos Fotovoltaicos

Tier	Descrição	Características
1	Grandes empresas estabelecidas, com uma presença global e um forte apoio financeiro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quota de mercado significativa;</li> <li>• Integração vertical;</li> <li>• Situação financeira sólida;</li> <li>• Fluxos de receitas diversificados;</li> <li>• Elevado investimento em I&amp;D;</li> <li>• Presença global;</li> <li>• Fiabilidade comprovada;</li> <li>• Capacidade de financiamento e viabilidade a longo prazo.</li> </ul>
2	Empresas de média dimensão com presença crescente no sector, disponibilizando produtos competitivos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença crescente no mercado;</li> <li>• Estabilidade financeira, mas não tão forte como a do nível 1;</li> <li>• Preços competitivos;</li> <li>• Concentração em segmentos de mercado ou regiões específicas;</li> <li>• Produtos fiáveis, embora possam comportar riscos ligeiramente mais elevados.</li> </ul>
3	Pequenos ou novos operadores no mercado, com recursos financeiros e alcance de mercado limitados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença limitada no mercado;</li> <li>• Recursos financeiros limitados;</li> <li>• Oferecem produtos a preços mais baixos;</li> <li>• Maior incerteza quanto à qualidade e fiabilidade dos produtos;</li> <li>• Desafios no estabelecimento de confiança e credibilidade;</li> <li>• Podem não ter apoio a longo prazo.</li> </ul>

Com esta tabela é possível obter uma visão geral e concisa das características associadas a cada nível de fabricante de módulos PV, ajudando a compreender as suas diferenças e implicações para a seleção de projetos e decisões de investimento, permitindo concluir que fabricantes classificados como *Tier 1*, apresentem uma capacidade de fabrico e de cumprimento de padrões de segurança mais elevados.

Para além disto, a BNEF elabora uma lista de fabricantes exclusivamente classificados pelo nível 1, onde a mais recente disponibilizada a público apresenta o seguinte (Figura 18):

Firm/ brand	Annual module capacity, MW/year	Firm/ brand	Annual module capacity, MW/year
ZNShine*	10,000	Jolywood*	3,000
Yingli†	11,650	Jinneng/ Jinery	4,000
Waaree*	9,000	Jinko†	50,000
VSUN Solar*	3,800	Jiangsu Akcome*	7,200
Ulica Solar	3,000	Jetion	2,500
Trina†	51,000	JA Solar†	51,000
Tongwei	14,000	HT-SAAE*	3,100
Suntech†	11,000	Hanwha Q-Cells†	12,400
Sunpro	1500	Hansol Technics	600
Sumec/ Phono Solar*	3,000	GCL System	18000
Solar-Fabrik	50	First Solar*	11,200
Sharp	210	Exiom Group	700
Seraphim / SEG†	7,750	ET Solar Inc*	2,000
Risen Energy†	29,200	Eging*	5,000
Recom†	1,100	DMEGC*	7,500
Neo Solar Power/ URE	1,800	Chint/ Astronergy*	17,000
Maxeon†	4,400	Canadian Solar	27,900
Luxen Solar	2,200	Boviet Solar*	1,500
Longi†	65,000	AE Solar*	1,400
Leapton Energy	2,000	<b>Total</b>	<b>457,660</b>

Figura 18 - Fabricantes de módulos fotovoltaicos que cumprem os critérios Tier 1 da BloombergNEF a partir do 4T 2022 (Fonte: BNEF, 2022)

Tal como referido anteriormente, os inversores efetuam a conversão da corrente CC para CA. Estes podem apresentar diversas tipologias, variando também consoante a capacidade de energia que será convertida.

Neste sentido, os inversores podem ser distinguidos entre:

- Inversores de *String* (uma *string* refere-se a um conjunto de painéis solares conectados em série);
- Inversores Centralizados.

Como meio de distinção entre ambos é necessário ter em conta a configuração pretendida, o seu desempenho, a eficiência, o custo, a manutenção e a monitorização (Morlan, T. 2021).

Assim, através da Tabela 7, encontram-se enumeradas as diferenças assinaladas entre os inversores indicados anteriormente.

Tabela 7 - Características dos Inversores

Características	Inversores <i>String</i>	Inversores Centralizados
Configuração	Vários painéis solares são ligados em série para formar uma string. Cada string é depois ligada a um inversor de string individual, assegurando que cada string funciona com o seu próprio inversor dedicado.	Todos os painéis solares do sistema fotovoltaico são ligados diretamente a um único inversor de grandes dimensões.

<b>Características</b>	<b>Inversores <i>String</i></b>	<b>Inversores Centralizados</b>
Desempenho	<p>Concebidos para funcionar de forma autónoma para cada cadeia de painéis.</p> <p>Desempenho de uma string tem um efeito mínimo nas outras.</p> <p>Sombreamento ou o mau funcionamento de um único painel dentro de uma string pode reduzir a produção de toda essa mesma string.</p>	<p>Eficiência de todo o conjunto fotovoltaico depende do desempenho de um único inversor.</p> <p>Sombreamento, detritos ou avarias em qualquer parte do conjunto podem afetar o rendimento global do sistema.</p>
Eficiência	<p>Tendência a ser mais eficiente quando os painéis solares estão a funcionar em condições uniformes (por exemplo, sem sombreamento).</p> <p>Melhor funcionamento quando o ponto de potência máximo no painel é atingido, maximizando a produção de energia.</p>	<p>Podem ter eficiências ligeiramente inferiores às dos inversores de string, especialmente se houver variações nas condições de sombreamento ou dos painéis em todo o conjunto.</p> <p>No entanto, os avanços na tecnologia dos inversores centralizados melhoraram a eficiência nos últimos anos.</p>
Custo	<p>Mais económicos para instalações mais pequenas ou instalações com menos painéis.</p>	<p>Normalmente utilizados em instalações maiores devido à sua capacidade de lidar com potências mais elevadas.</p> <p>Embora tenham um custo inicial mais elevado, podem ser mais económicos para grandes matrizes.</p>
Manutenção e Monitorização	<p>Manutenção e monitorização efetuada ao nível da string, permitindo um melhor acompanhamento do desempenho e fácil capacidade de resolução de problemas.</p>	<p>Manutenção e monitorização concentradas numa única unidade, o que pode simplificar a gestão, mas pode dificultar a identificação de problemas ao nível dos painéis individuais.</p>

De seguida, na Figura 19, é apresentado esquematicamente o mecanismo de ligação dos painéis aos inversores onde se verifica que uma fila de 4 painéis está conectada a um inversor em *string* e que duas filas compostas por 8 painéis estão conectadas a um inversor centralizado.

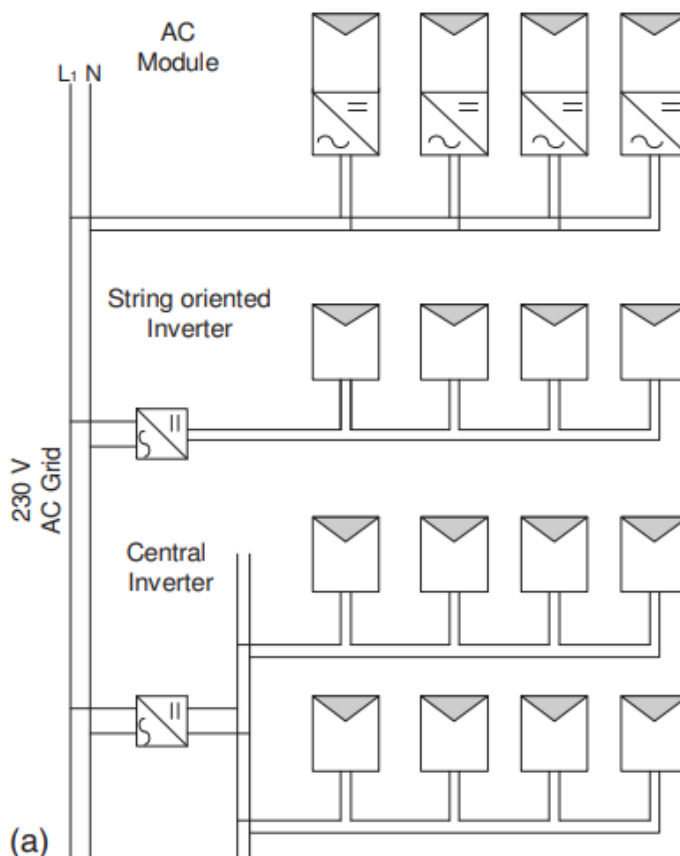


Figura 19 - Configuração dos Inversores PV ligados em string e centralizado (Fonte: Nema, S et al. 2011)

## 4.2 Análise das Normativas Internacionais e outros documentos associados ao tema

De forma a considerar o conjunto de normas harmonizadas e outros documentos que permitam sustentar uma melhor análise e desenvolvimento de guias de orientação sobre os painéis, foram analisadas algumas das normas referenciadas nas fichas técnicas consideradas oportunas. Adicionalmente, foram ainda analisados os guias de orientação de algumas seguradoras que já abordaram esta temática.

### 4.2.1 Normas Internacionais

Inicialmente, conforme apresentado anteriormente no ponto destinado ao enquadramento legal e normativo, foram compiladas diversas normas IEC que abordam o tema em estudo. Através de uma análise mais pormenorizada foi possível recolher um conjunto de informações consideradas como mais relevantes.

A norma IEC 61215-1 descreve quais os requisitos para qualificar e aprovar módulos PV. Esta qualificação consiste numa série cuidadosamente elaborada de testes de esforço acelerados que são o resultado de iniciativas de fiabilidade rigorosas. Estes testes têm como objetivo reproduzir os padrões de falha observados em cenários reais, submetendo os componentes a

condições de stress controladas. Caracterizados por referências rigorosas de aprovação/reprovação, estes ensaios impõem limites à intensidade e à duração da tensão para garantir a viabilidade em termos de tempo e de custos. O objetivo geral dos ensaios de qualificação é atingir uma taxa de sucesso significativa nos módulos comerciais; o não cumprimento desta norma pode tornar o produto inadequado para o mercado comercial. Os ensaios de qualificação são também utilizados para validar os projetos e atenuar as falhas precoces, melhorando assim a fiabilidade global do produto (Wohlgemuth, J., 2012).

De forma mais esquematizada, a Tabela 8, apresenta os testes realizados e as causas de falha podem ser:

Tabela 8 – Testes realizados para deteção de falhas

<b>Testes</b>	<b>Falhas</b>
<b>Ciclos térmicos</b>	Interligação quebrada Células quebradas Falha na ligação elétrica Caixa de junção ( <i>Junction Box</i> ) Circuito aberto do módulo - potencial para formação de arco elétrico
<b>Calor Húmido</b>	Corrosão Perda de aderência e elasticidade do material encapsulante Caixa de junção ( <i>Junction Box</i> )
<b>Congelamento</b>	Caixa de junção ( <i>Junction Box</i> )
<b>Testes UV</b>	Perda de aderência e elasticidade do material encapsulante Descoloração do encapsulante e da folha posterior Defeito à terra devido à degradação da folha posterior Degradação da ótica
<b>Testes Mecânicos Estáticos (ex: simulação de vento e/ou neve)</b>	Falha estrutural Vidros e/ou células partidas; Fitas de interligação partidas Falha nas ligações elétricas
<b>Testes Mecânicos Dinâmicos</b>	Vidros e/ou células partidas Fitas de interligação partidas

<b>Testes</b>	<b>Falhas</b>
	Falha nas ligações elétricas
<b>Pontos Quentes</b>	Pontos Quentes e Inadequabilidade da proteção do diodo
<b>Granizo</b>	Vidros e/ou células partidas
<b>Teste de diodos</b>	Falha no bypass diodo
<b>Sal</b>	Corrosão devido a água salgada ou mistura

Como complemento à norma anterior, a norma IEC 61215-2, referente aos critérios de qualificação dos módulos, define a sua aplicabilidade, nomeadamente, quanto a todos os materiais dos módulos terrestres de placa plana, incluindo os módulos de silício cristalino e de película fina (Silício de Amorfo). O principal objetivo da sequência de ensaios é avaliar as características elétricas do módulo e demonstrar, dentro de limites práticos de custo e tempo, a sua capacidade para suportar uma exposição prolongada ao ar livre; Descreve que os módulos devem ser sujeitos a radiação solar num intervalo de 5 kWh/m<sup>2</sup> e 5.5 kWh/m<sup>2</sup>, o que se assumirmos uma irradiância média de 800 W/m<sup>2</sup>, tudo indica que para que seja atingido o nível de energia recomendado demoraria 7h (Firman, A. Et al., 2022).

Para além do indicado anteriormente, os critérios de qualificação a ter em conta são (Tabela 9):

Tabela 9 - Critérios de Qualificação de acordo com a IEC 61215-2 (Fonte: Firman, A. Et al., 2022)

<b>Critérios</b>	<b>Descrição</b>
Saída de Potência Máxima	A saída de potência deve estar dentro da faixa especificada pelo fabricante e não deve diferir em mais de 8% entre os testes.
Ausência de Circuitos Abertos e Deficiências no Isolamento	O módulo não deve exibir nenhum estado de circuito aberto ou deficiências na isolação durante os testes.
Inspeção Visual de Defeitos Principais	Uma inspeção visual deve ser conduzida por um operador competente para detetar defeitos visuais principais, incluindo células quebradas, dobradas, desalinhadas (Figura 20) caixas de junção ou quadros, bem como defeitos relacionados à cola ou ao substrato (como bolhas ou delaminações).

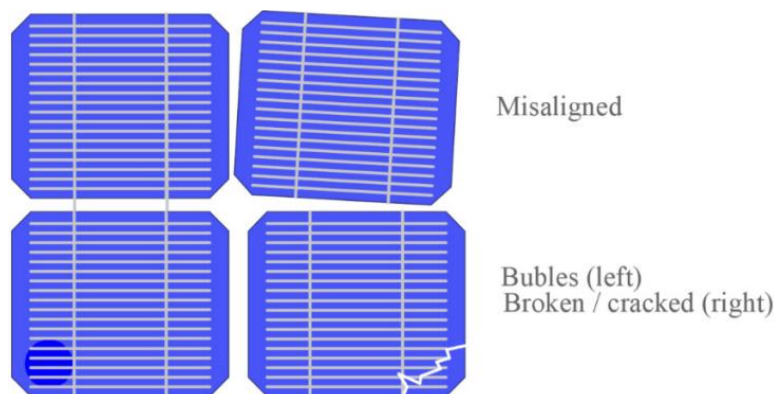


Figura 20 - Exemplo de células PV defeituosas (Fonte: Firman, A. Et al., 2022)

Nas IEC 61730-1 e IEC 61730-2 são discriminados quais os requisitos fundamentais de construção para os módulos PV, nomeadamente quanto às formas de prevenir o risco de choque elétrico e de incêndio, bem como quais os testes a realizar para a sua qualificação de segurança, dos quais se destaca o ponto 5.6.2, relativo à proteção contra o acesso a partes perigosas sob tensão, onde é descrito que a construção dos módulos PV deve conter uma proteção contra o acesso a partes perigosas com valores superiores a 35V em CC.

Para além disso, é apresentada uma tabela (Tabela 10) relativamente aos requisitos de isolamento elétrico tendo por base classes pré-estabelecidas, sendo estas:

- Classe 0 – Destaca que as partes acessíveis dos módulos PV, devem estar separadas das partes sob tensão perigosas, pelo menos, por um isolamento básico;
- Classe II – Destaca que os módulos PV, devem ser construídos de forma que as partes sob tensão tenham um isolamento duplo ou reforçado;
- Classe III – Destaca que as partes sob tensão de polaridade diferente devem ser separadas, pelo menos, por um isolamento funcional.

Define também um sistema de letras para auxiliar na classificação do tipo de isolamento necessário e define a necessidade de requisitos contra a proteção direta, tendo em conta o tipo de classe anteriormente explicitado, onde tem como suporte a IEC 61140, referente à proteção contra choques elétricos – aspetos comuns para a instalação e o equipamento. Assim, este sistema apresenta as seguintes designações:

- B – *Basic insulation* ou isolamento básico;
- F – *Functional insulation* ou isolamento funcional;
- R – *Reinforced insulation or double insulation* ou isolamento reforçado.

Tabela 10 - Tipo de isolamento necessário, segundo a IEC 61140 (Fonte: IEC 61730-1:2016)

<b>Classe de Proteção (IEC 61140)</b>	<b>Requisitos de Proteção contra contacto direto</b>	<b>Isolamento entre as partes vivas e as partes metálicas acessíveis</b>	<b>Isolamento entre as partes vivas e as superfícies acessíveis</b>	<b>Isolamento entre as partes vivas do diferencial de potencial do mesmo circuito</b>
Classe 0	Sim	B	B	B
Classe II	Sim	R	R	B
Classe III	Não	F	F	F

A NP EN 50618:2018, especifica o tipo de cabos a serem usados aquando da instalação dos sistemas PV, no lado da CC, abordando os cabos de alimentação unipolares, sem presença de halogéneos e com baixa emissão de fumos e isolamento. É ainda definida a necessidade de serem concebidos para ter uma tensão CC de 1,5kV entre condutores e apresentarem compatibilidade com os equipamentos de classe II, referidos anteriormente. Adicionalmente, deverão ainda ser concebidos para suportar temperaturas ambiente de 90°C até um máximo de 20.000 h, com uma temperatura máxima do condutor de 120°C.

No ponto 5 desta última norma (“*Requisitos para a construção dos cabos*”), é definido que o material do condutor deve ser de cobre e que os fios dos condutores devem ser de estanho. No ponto 5.2.3, estipula o cálculo da espessura a ter em conta nos isolamentos, nomeadamente:

$$t_m \geq 0.9t_s - 0.1$$

onde:

$t_m$  – consiste na espessura mínima da isolação em qualquer ponto, em milímetros;

$t_s$  – consiste na espessura especificada da isolação, em milímetros.

Estes cabos deverão ser concebidos para uma utilização contínua no exterior numa série de condições climáticas exigentes e cumprirem as normas relativamente rigorosas definidas nesta especificação, de modo a suportarem os ambientes adversos em que se espera que funcionem (NP EN 50618:2018).

Complementa ainda, com o cálculo necessário para verificação da espessura da bainha, esta segundo o ponto 5.3.4., que devem ser de cor preta, salvo se existir algum acordo entre fabricante e o cliente para que seja realizado de maneira diferente. Os materiais mais comuns da camada externa do cabo, que oferece proteção mecânica adicional e resistência à abrasão, são compostos por poliolefina, borracha de etileno-propileno (EPR) ou cloreto de polivinila (PVC) (Goldenergy 2024).

Esta verificação da espessura da bainha consiste no seguinte cálculo:

$$t_m \geq 0.85t_s - 0.1$$

onde:

$T_m$  – consiste na espessura mínima da bainha em qualquer ponto, em milímetros;

$T_s$  – consiste na espessura especificada da bainha, em milímetros.

Assim, para auxiliar nos ensaios a realizar após a instalação para verificação do cumprimento dos valores estipulados pela norma é apresentado um quadro informativo (Tabela 11), contemplando os valores dimensionais e os valores de resistência mínimos a cumprir, nomeadamente

Tabela 11 - Valores Dimensionais e Valores de Resistência da Isolação (Fonte: NP EN 50618:2018)

<b>Quantidade e Secção nominal dos Condutores (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Espessura da isolação Val. Especificado (mm)</b>	<b>Espessura da bainha Val. Especificado (mm)</b>	<b>Diâmetro exterior médio Limite máximo Val. Especificado (mm)</b>	<b>Resistência mínima da isolação a 20°C (MΩ.km)</b>	<b>Resistência mínima da isolação a 90°C (MΩ.km)</b>
1 x 1.5	0.7	0.8	5.4	860	0.86
1 x 2.5	0.7	0.8	5.9	690	0.69
1 x 4	0.7	0.8	6.6	580	0.58
1 x 6	0.7	0.8	7.4	500	0.50
1 x 10	0.7	0.8	8.8	420	0.42
1 x 16	0.7	0.9	10.1	340	0.34
1 x 25	0.9	1.0	12.5	340	0.34
1 x 35	0.9	1.1	14.0	290	0.29
1 x 50	1.0	1.2	16.3	270	0.27
1 x 70	1.1	1.2	18.7	250	0.25
1 x 95	1.1	1.3	20.8	220	0.22
1 x 120	1.2	1.3	22.8	210	0.21

Quantidade e Secção nominal dos Condutores (mm <sup>2</sup> )	Espessura da isolação Val. Especificado (mm)	Espessura da bainha Val. Especificado (mm)	Diâmetro exterior médio Limite máximo Val. Especificado (mm)	Resistência mínima da isolação a 20°C (MΩ.km)	Resistência mínima da isolação a 90°C (MΩ.km)
1 x 150	1.4	1.4	25.5	210	0.21
1 x 185	1.6	1.6	28.5	200	0.20
1 x 240	1.7	1.7	32.1	200	0.20

#### 4.2.2 FM-Global

No que se refere aos documentos elaborados por seguradoras, destaca-se a FM-Global, que tem apresentado ao longo dos anos diversas soluções, seja na área de SCIE ou agora mais recentemente nas instalações PV. Esta elaboração de linhas de orientação surge com a imensa procura pelas instalações fotovoltaicas e pela procura pelo aproveitamento da energia solar para consumo. Assim, através de dados de sinistros de acidentes com origem em instalações PV (dados estes confidenciais), foi possível o desenvolvimento interno de duas *data sheets*, intituladas como *Property Loss Prevention Data Sheets (DS)*.

##### 4.2.2.1 DS 1-15 Roof Mounted Solar Photovoltaic Panels

Na DS 1-15 abordam-se ao longo do documento diversas questões pertinentes, desde a construção e a localização da instalação, tendo em conta fenómenos naturais, como por exemplo, os sismos, terremotos, deslizamentos e ventos. De forma a orientar todos os utilizadores que procuram garantir uma instalação segura, a FM-Global, através dos seus laboratórios de ensaios realiza os testes necessários, de forma a cumprir com os requisitos por estes estabelecidos e assim ao longo do documento existe a recomendação para que cumpram com o que denominam como os *FM Approved*. Neste sentido, no tocante à ação dos ventos, no ponto 2.1.1.1 é sugerido que, quando existentes, devem ser usados painéis e estruturas que cumpram com o que se encontra estabelecido pela *Approval Standard 4478*. Para além disso, ainda em relação a esta ação, é sugerida a implementação de um sistema de defletores de vento instalados na estrutura dos painéis, de forma que o risco do vento não atinja a parte interior do painel, minimizando o risco de que este se solte da estrutura (Figura 21).



Figura 21 - Defletores de vento instalados nos lados mais altos dos painéis de cada fila (Fonte: FMDS 1-15:2024)

No âmbito deste *data sheet*, é ainda recomendado que para a instalação de painéis sobre diversos tipos de coberturas metálicas, como exemplificado na Figura 22, devem ser instalados com grampos externos e com grampos próprios para PV (Figura 23) desde que estes tenham sido previamente aprovados em laboratório pela FM-Global.

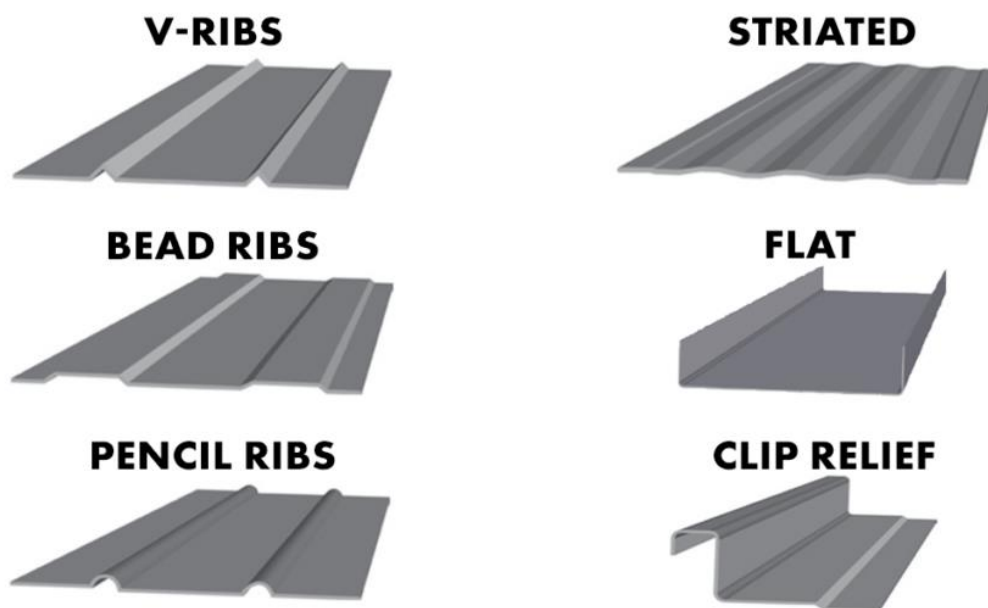


Figura 22 - Tipos de coberturas metálicas (Fonte: Calapa, J. 2022)

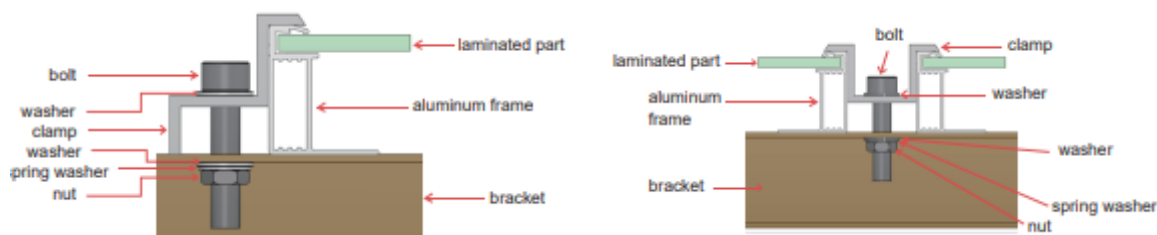


Figura 23 - Exemplo de instalação de grampo no módulo (Fonte: LONGI 2022)

No que se refere à exposição e classificação ao fogo é recomendada a utilização de material de isolamento incombustível e compressível (como, por exemplo, lã mineral) no interior das juntas de dilatação das coberturas para novas instalações PV (Figura 24). Adicionalmente, prescreve que as *strings* dos painéis devem ser instaladas a distâncias superior a 15m das paredes corta-fogo.

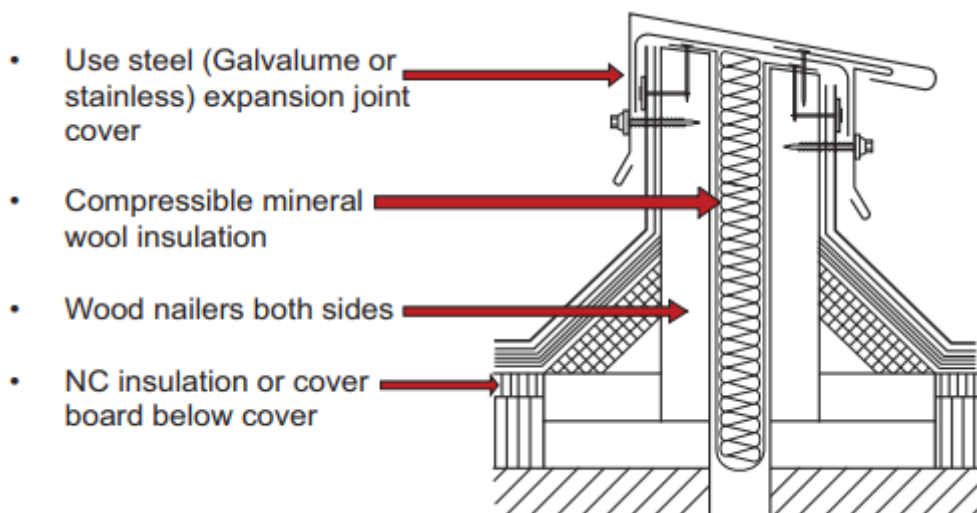


Figura 24 - Constituição de juntas de dilatação (Fonte: FMDS 1-15:2024)

No ponto 2.1.2.5 desta *data sheet*, é referida a necessidade de serem asseguradas distâncias de segurança entre os painéis e as juntas de dilatação, assim como quanto a todas as perfurações para o interior da estrutura. De igual modo, devem ser tidos em conta os caminhos de circulação, os quais devem apresentar uma largura mínima de 1,20m e uma distância máxima de 46m de qualquer ponto da *string*.

No ponto 2.4, referente ao elemento humano, o documento remete para a necessidade de um planeamento prévio próximo dos bombeiros, assegurando que os mesmo têm conhecimento dos diferentes acessos, seja ao nível do solo ou da cobertura, localização das escadas de acesso e dos corredores, bem como da localização das *junction boxes* e dos inversores.

São ainda abordadas as causas dos incêndios (ponto 3.3) associadas a estas instalações, desde a falha de proteção do elemento terra, à prevenção do incêndio provocado por falhas de ligação à terra dos cabos CC em strings, à resistência ao granizo, entre outras. De seguida, apresenta-se algumas das causas (ponto 3.3.2) que são consideradas pela seguradora, nomeadamente:

- Falha de isolamento dos cabos;

- Curto-circuito acidental entre o condutor e a terra;
- Falha de terra no interior dos módulos PV;
- Desgaste do isolamento do fio causado durante a instalação ou por movimento térmico dos componentes.

De forma a proteger as *strings* destas causas acima mencionadas, a FM-Global remete para a NFPA 70, artigo 690.5 alínea a), em que é descrita a exigência de existir um dispositivo ou um sistema de proteção contra defeitos à terra capaz de detetar esse defeito e interromper o fluxo de corrente.

No que diz respeito à resistência ao granizo dos painéis PV fixos, a DS 1-15, remete para a necessidade de realização de ensaios com bolas de gelo, de acordo com o estipulado pela *Approval Standard 4478*, ou para a *Approval Standard 4476*, no caso de serem painéis móveis.

#### **4.2.2.2 DS 7-106 Ground-Mounted Solar Photovoltaic Power**

A DS 7-106 aborda as linhas de orientação aquando do projeto, montagem e manutenção do sistema PV instalado ao nível do solo.

Neste sentido, o fator do vento, considerado como fenómeno natural, também identificado anteriormente, apresenta-se como um fator crítico a ter em conta quando as instalações são realizadas ao nível do solo, isto porque em localizações onde haja uma grande probabilidade de ocorrer furacões, tufões ou ciclones irá provocar maior dano do que o esperado, uma vez que segundo o que é apresentado, a velocidade dos ventos com capacidade para transportar detritos ocorre quando a velocidade é igual ou superior a 194 km/h ou no caso de ser perto da costa oceânica a velocidade ser compreendida entre os 177 km/h e os 194 km/h (aplicável nas regiões onde a velocidade do vento esteja enquadrada nos valores supramencionados).

No caso de painéis montados sobre parques de estacionamento, também denominados por *Carports*, tal como exemplificado na Figura 25, a DS remete para a ASCE (*American Society of Civil Engineers*) 7-22, nomeadamente quanto às cargas mínimas a considerar no projeto e aos critérios relativos para os edifícios e estruturas, de modo que seja efetuado o adequado estudo da capacidade estrutural do parque de estacionamento.

Quanto aos riscos associados ao granizo, a DS referencia que os atuais testes a realizar aos painéis são os que estão dispostos na IEC 61215, anteriormente abordada.



Figura 25 - Carport (Fonte: Greenvolt Next, 2023)

No que se refere ao fogo, é descrito que os painéis devem ser testados de acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) E108, em que são classificados para serem instalados neste tipo de coberturas distinguidas por classes estabelecidas pela respetiva norma, nomeadamente:

- Classe A - Estes ensaios destinam-se a revestimentos de coberturas concebidos para resistir a uma exposição severa ao fogo, de forma a proporcionar um elevado nível de proteção contra o fogo e permanecer na sua localização sem apresentar qualquer risco de faíscas.
- Classe B - Estes ensaios destinam-se a coberturas de telhado concebidas para resistir a uma exposição moderada ao fogo, de modo a proporcionar um nível moderado de proteção contra o fogo sem que apresente qualquer risco de faíscas.
- Classe C - Estes ensaios destinam-se a coberturas de telhado que são eficazes contra uma exposição ligeira ao fogo, em que só existe um nível mínimo de proteção contra o fogo e não apresentam um risco de faíscas volantes (ASTM, 2020).

### 4.3 Desenvolvimento da estrutura regulamentar das instalações fotovoltaicas

Analisando a nível mundial, nos países onde são avaliadas as situações de risco de incêndio pelos painéis PV, constata-se que no Reino Unido, através do documento *RC62 - Recommendations for fire safety with PV panel installations* elaborado pela *Fire Protection Association*, é referido que aquando da seleção do painel deve ser assegurado que os mesmos apresentam uma propensão para a propagação ao fogo mínima. Para além disso, refere-se ainda as seguintes normas que definem os ensaios necessários para uma caracterização da reação ao fogo: UL1703, UL 790, IEC 61730-2 e a ASTM E108. Ainda se refere que as coberturas que tenham painéis devem ser não combustíveis, com uma classe de reação ao fogo de A<sub>1</sub> ou A<sub>2-s1, d0</sub>, de acordo com a NP EN 13501-1:2007+A1 2013. De igual modo, em Itália é descrito que para evitar a propagação do incêndio nos edifícios, as estruturas e os elementos da cobertura e fachada devem ser incombustíveis, com classe de reação de A<sub>1</sub>, tal como indicado pela norma anteriormente referida.

Já em Portugal, uma vez que não existe nada endereçado especificamente para os painéis PV, são aqui apresentadas as limitações expressas no regulamento e que influenciam a instalação em si.

Assim, o RT-SCIE, no capítulo 2 e art.º 9, relativo às paredes de empena, estabelece que em edifícios que apresentem uma altura superior a 28 m devem apresentar uma resistência ao fogo EI 90 e em situações com alturas inferiores aos 28m, EI 60. Ainda descreve que as coberturas que se encontrem a uma altura superior a 28m, estas devem ser em terraços, em que nestes só é permitida a sua ocupação por instalações técnicas, desde que o espaço ocupado não ultrapasse 50 % da área útil do terraço. Ainda destaca que os edifícios que apresentem uma altura superior a 9 m e igual ou inferior a 28 m, as coberturas que não sejam em terraço devem ter uma guarda exterior em toda a sua periferia, com a altura mínima de 0,60 m. A presença de aberturas em paredes externas adjacentes a coberturas de outros edifícios ou de outras partes do mesmo edifício só é permitida se os materiais de revestimento dessa cobertura assegurarem a classe de reação ao fogo A<sub>1</sub> numa faixa com largura mínima de 4 m, medida a partir da parede. Para além disso, no ponto 9 do art.º 10, reforça-se que se na cobertura existirem elementos envidraçados, como, por exemplo claraboias, em que estes estejam nos 4 m, referenciados anteriormente, então estes elementos devem ser fixos e garantir uma classe de resistência ao fogo padrão de EI 60 ou superior. Na Tabela 12, apresentam-se as classes de reação ao fogo para os revestimentos das coberturas em terraço em função da altura do edifício:

Tabela 12 - Classe de reação ao fogo do revestimento das coberturas em terraço (Fonte: Portaria n.º 135/2020)

<b>Edifícios com altura ≤ 28m</b>	<b>Edifícios com altura &gt; 28 m</b>
<b>E</b>	<b>B-s1</b>

Quanto aos elementos que compõem o revestimento externo de coberturas inclinadas, no mínimo, devem ser da classe de reação ao fogo C -s2, do, enquanto os componentes que fecham as aberturas feitas na cobertura para iluminação, ventilação ou outros fins, devem ser feitos com materiais da classe B -s1, do, no mínimo. Importa ainda destacar, que segundo a Portaria n.º 135/2020 as coberturas podem ser classificadas da seguinte forma (Tabela 13):

Tabela 13 - Tipos de coberturas existentes (Fonte: Portaria n.º 135/2020)

<b>Tipo de Coberturas</b>	<b>Definição</b>
<b>Ordinárias</b>	Coberturas que, em virtude da sua forma ou pela natureza dos seus elementos de construção, não permitem a fácil circulação das pessoas
<b>Terraços não acessíveis</b>	Coberturas que, embora formadas por elementos de construção que constituem habitualmente pavimento, têm a sua acessibilidade reservada a fins de reparação
<b>Terraços acessíveis</b>	Coberturas formadas por elementos de construção que constituem habitualmente pavimento e destinadas a utilização como tal



## 5 DISCUSSÃO

Com a perspectiva a nível mundial e nacional compilada no ponto anterior, como forma de análise ao caso de estudo em questão, é possível apurar que é evidenciada a utilização de defletores de vento nas instalações do caso de estudo, conforme descrito na DS 1-15 e como pode ser evidenciado pela figura abaixo (Figura 26) apresentada.



Figura 26 - Defletores de Vento na instalação PV (Fonte: Própria)

No que se refere ao tipo de cobertura apresentado no estudo de caso, constatou-se que se trata de um material tipo tela, apresentando as características mínimas necessárias em termos de reação ao fogo, uma vez que a altura do edifício a contabilizar para a classe de reação é de 4m e o exigido pelo RT-SCIE para edifícios inferiores a 28m é uma classe de reação E. Importa ainda referir que o RT-SCIE não contempla a colocação de equipamentos nas coberturas, neste caso, a instalação dos painéis e a sua influência na cobertura. No entanto, de acordo com o referencial NP EN 13501-1, os elementos da cobertura e da fachada deveriam ser de classe de reação ao fogo A<sub>1</sub> (Figura 27).



Figura 27 - Cobertura do Caso de Estudo (Fonte: Própria)

Relativamente à distância de afastamento dos painéis face às claraboias na cobertura, no estudo de caso verificaram-se distâncias mínimas de 0,5m, o que relativamente ao ponto 9 do art.º 10 do RT-SCIE referenciado anteriormente, pode colocar em causa a segurança dos equipamentos na sua envolvente, mesmo que a classe de resistência ao fogo padrão esteja assegurada (Figura 28).



Figura 28 - Distância dos painéis às claraboias

Foi ainda possível verificar pelo esclarecimento técnico elaborado pelo projetista da instalação do estudo de caso, que os tipos de painéis selecionados não deveriam conter quaisquer materiais que ampliassem a propagação do incêndio, nomeadamente, serem isentos de espuma plástica, como, por exemplo, espuma de poliestireno extrudido. Assim, para o caso em estudo foi selecionado o painel LR5-72HPH 540~560MC da empresa *LONGI* (Figura 29) (classificada pela BNEF como *tier 1*, tal como identificado anteriormente) com a *junction box* a apresentar uma proteção de IP68, com 3 díodos. Ainda, pelo que é possível verificar pela ficha técnica do equipamento em questão, é apresentada a classe C de resistência ao fogo, segundo a IEC 61730, no entanto não é apresentada qualquer classe de reação ao fogo.

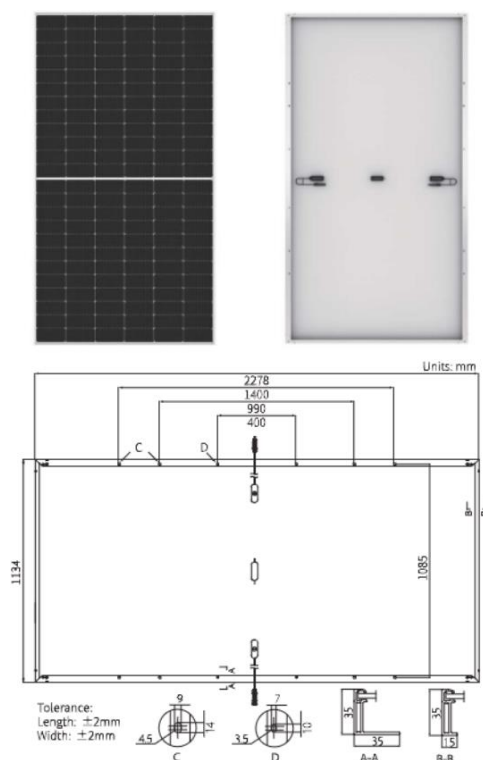


Figura 29 - PaineL LR5-72HPH 540~560M (Fonte: Datasheet Longi, s/d)

A ficha técnica do produto encontra-se no anexo III, com as características específicas evidenciadas pelo fabricante, sendo aí referido que o painel foi desenvolvido para dar cumprimento ao estabelecido internacionalmente, cumprindo com os seguintes referenciais normativos:

- IEC 61215
- IEC 61730
- UL 61730
- IEC 62941 - Diretrizes para a qualificação da conceção e a homologação de módulos.

Neste sentido, constata-se que o fabrico do painel teve em conta os requisitos estabelecidos, porém não menciona explicitamente a conformidade com as normas de resistência ao fogo estabelecidos pela UL 790 (define os *Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings*) equivalente à ASTM E108.

Ainda, como sistema de colocação dos painéis, constata-se que foi optada pela utilização de uma estrutura de fixação sem que fosse necessária a perfuração da cobertura, garantindo ainda um afastamento de cerca de 5 cm entre os painéis e a cobertura, tal como exemplificado na Figura 30. De acordo com a indicação do fabricante (ESDEC), esta solução de estrutura apresenta uma rápida capacidade para a sua instalação e com uma quantidade mínima de componentes. No entanto, uma vez que não foi possível ter acesso aos cálculos estruturais, não se consegue verificar a conformidade da estrutura, ficando assim na incógnita qual a influência do vento. Para além disso, refere ainda a fácil capacidade de desmontagem para a manutenção dos módulos, a promoção de uma gestão integrada dos cabos de alimentação e da sua capacidade de armazenamento rápido e

fácil para cabos com o bastidor, bem como a calha de cabos integrados localizados nos estabilizadores.



Figura 30 - Exemplo de unidades pré-montadas (Fonte: ESDEC, s/d)

No caso em estudo inversores selecionados foram os da *SMA Solar Technology*, nomeadamente o modelo *SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60*, tal como pode ser verificado pela Figura 31, onde foram dispostos conforme se apresenta na figura 33, relativa à planta disponibilizada da respetiva sala técnica (Figura 32 e Figura 33):



Figura 31 - Inversor *SUNNY TRIPOWER CORE2* (Fonte: SMA, 2020)

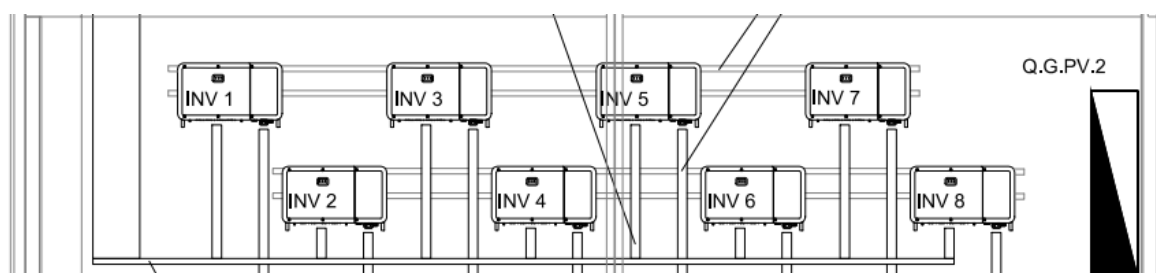


Figura 32 - Disposição dos inversores segundo esclarecimento técnico (Fonte: Lopes, P. 2023)

Numa análise das características dos inversores selecionados, foi possível constatar que este modelo selecionado de inversor cumpre com os requisitos de segurança e de proteção do dispositivo, nomeadamente, com a IEC 62109-1, apresentando proteção contra sobretensões, distinguindo entre circuito CC e CA (conforme pode ser verificado no anexo IV). Para além do referido anteriormente, este equipamento destaca-se ainda por possuir um mecanismo de proteção (interruptor) contra o risco de arco elétrico, referido anteriormente como uma das causas de incêndio em instalações PV, bem como ainda com um sistema de monitorização de para-raios.



Figura 33 - Disposição dos inversores na sala técnica (Fonte: Própria)

Relativamente aos atravessamentos dos caminhos de cabos nos elementos da construção, em particular quanto à passagem dos cabos do exterior para o interior do compartimento, que permitem efetuar a ligação dos painéis aos inversores, de acordo com o estipulado a norma VDS 2216 ponto 4.2 é descrito que o local de atravessamento dos cabos deve possuir uma área envolvente de 1 m<sup>2</sup> composta por material incombustível, respeitando o disposto na norma DIN 4102-1. De acordo com esta norma, os materiais devem possuir um ponto de fusão mínimo de 1000 °C ou, caso sejam utilizadas espumas rígidas de resina fenólica, as mesmas devem observar as disposições da norma DIN 18164-1. De igual modo, podem ainda ser aceites materiais de construção minerais expandidos, desde que haja aprovação para o seu pelas autoridades de construção. Assim, a compartimentação corta-fogo deve ser garantida por elementos de construção, pavimentos e paredes que, além da capacidade de suporte, assegurem a estanquidade a chamas e gases quentes e o isolamento térmico por um tempo determinado. Todos os negativos destinados a atravessamentos técnicos, que requerem resistência ao fogo, devem possuir um sistema de selagem que comprove assegurar o mesmo grau de resistência ao fogo do elemento atravessado. Consta-se, que no RT-SCIE é abordado de modo geral os atravessamentos das paredes e pavimentos e a forma como deve ser efetuado, no entanto não descreve como é que estes atravessamentos devem ser protegidos do exterior para o interior.

No que se refere às esteiras de cabos, das pesquisas efetuadas apenas se constatou ser mencionada a necessidade de vedar os atravessamentos em elementos resistentes ao fogo, sendo que esta vedação, tal como exemplificado na Figura 35, deve garantir uma resistência ao fogo EI 90 (VDS 2234, 2024).

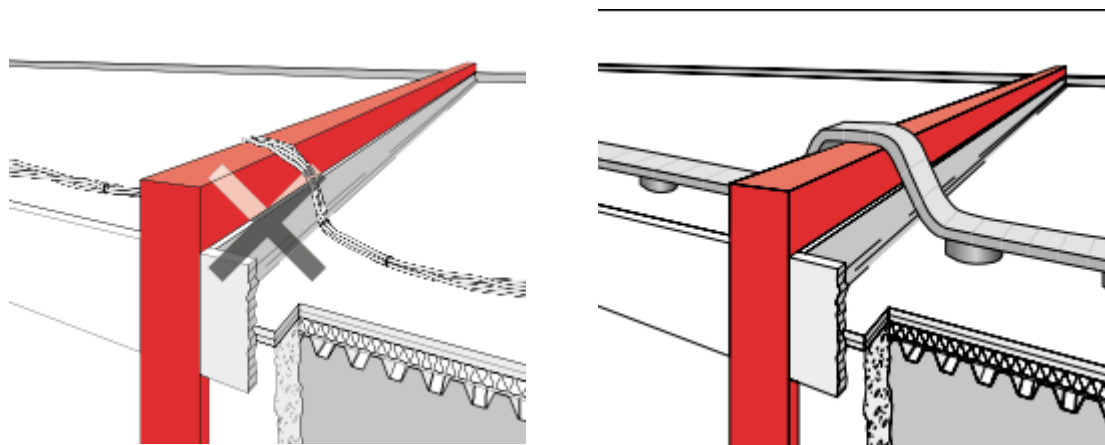


Figura 34 - Proteção de cablagem (Fonte: VDS 2234, 2024)

A tipologia de cabos selecionada para a realização desta instalação PV, foi através dos cabos AC *EXZHELLENT CLASS*, do fabricante *General Cable*, tal como identificado na Figura 35. Segundo a ficha técnica do cabo, este apresenta características ao fogo e livre de halogéneo. Segundo a classificação apresentada pelo cabo nos parâmetros estabelecidos pela *Construction Products Regulation (CPR)* este é de  $C_{ca-s1b}, d1, a1$ , isto significa, que a sua classe se encontra centrada, tal como indicado na Figura 36, enquanto a nível de produção de fumo já apresenta uma performance mais elevada, assim como a sua capacidade de não produzir gotas ou acidez.



Figura 35 - Cabo AC EXZHELLENT CLASS (Fonte: General Cable, s/d)

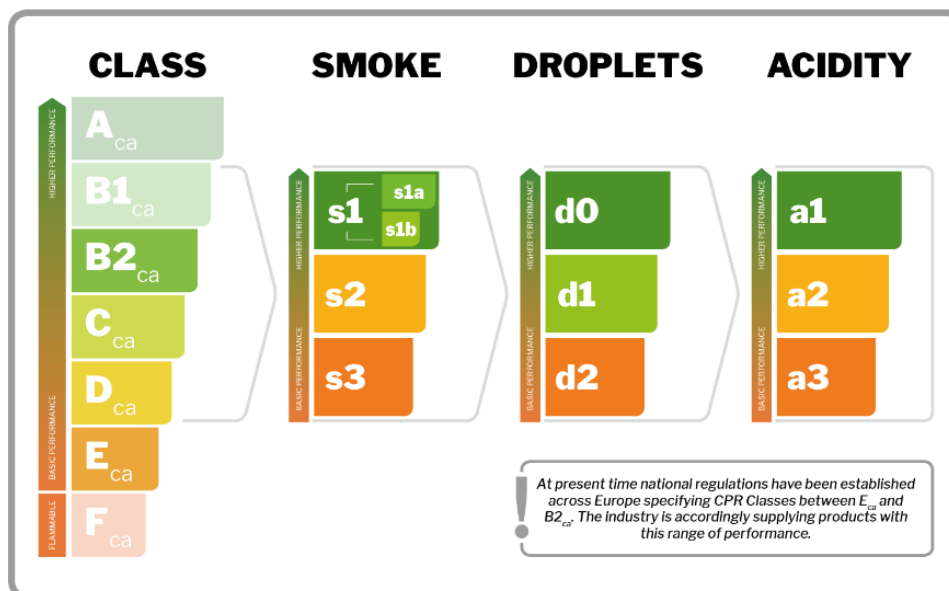


Figura 36 - Classificação CPR (Fonte: Europacable,2024)

Relativamente aos cabos DC, estes são do fabricante *KABELTEC*, com a designação *SOLAR H1Z2Z2-K TÜV/CE*, como evidenciado na Figura 37, em que este cumpre com o referencial

normativo NP EN 50618:2018, nomeadamente a especificidade do cabo para PV, tal como referenciado anteriormente. Para além disso, no que refere ao comportamento ao fogo, o mesmo cumpre com o referencial normativo CEI EN 60332-1-2, referente aos ensaios em cabos elétricos e de fibra ótica submetidos ao fogo. No entanto, segundo a classificação CPR, acima identificada, o cabo em questão, apresenta uma classe de D<sub>ca-s2</sub>, d2 e a classe A não é apresentada, tal como é evidenciado no Anexo VIII.



Figura 37 - Cabo DC SOLAR H1Z2Z2-K TÜV/CE (Fonte: Kabeltec, s/d)

Neste sentido, as normas internacionais que regem as instalações fotovoltaicas recomendam o uso de cabos específicos que atendam a padrões rigorosos de segurança, durabilidade e eficiência, bem como de resistência ao fogo, porém não especificam um modelo a considerar.

Aquando da conceção do projeto detetou-se a presença de exutores de desenfumagem na cobertura que influenciaria a colocação dos painéis PV. De forma a manter as zonas de desenfumagem libertas, não foram colocados painéis nos respetivos locais, garantindo assim uma distância de 0.5m na sua envolvente e de forma que haja a correta libertação de fumos, conforme referenciado na EN 12101-1 (Figura 38).



Figura 38 - Exemplo de Exutor de fumos (TRIA, 2024)

No âmbito da regulamentação nacional de segurança contra incêndios em edifícios, o estabelecimento onde foi colocada esta instalação enquadra-se na Utilização-Tipo XII (Indústrias).

Assim, analisando o disposto no RT-SCIE, no que se refere ao enquadramento e às medidas de segurança contra incêndio, são possíveis encontrar alguns aspetos gerais relacionados com alguns dos elementos que compõem as instalações PV, nomeadamente no capítulo das condições exteriores comuns (Título II), bem como nos capítulos da resistência e reação ao fogo das condições gerais de comportamento ao fogo, isolamento e proteção (Título III), no capítulo das condições gerais das instalações técnicas (Título V), e no capítulo desta utilização-tipo XII incluído nas condições específicas das utilizações-tipo (Título VIII).

Adicionalmente, no artigo 10º do RT-SCIE, são apresentadas as exigências de resistência e reação ao fogo das coberturas, em geral.

De igual forma, em Itália, através do seu *Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile* na sua *Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica* referem que as instalações fotovoltaicas devem evitar propagação do incêndio onde se encontra a instalação e definem também que para que esta situação suceda é necessário que as instalações sejam em coberturas e/ou fachadas incombustíveis com uma classe de reação ao fogo de A<sub>1</sub>, de acordo com o estabelecido na norma EN13501-1 (*Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*).

## 5.1 Limitações

No que se referem às limitações ao longo do desenvolvimento da presente dissertação, ocorreram alguns obstáculos no acesso à documentação do projeto desenvolvido, o que por sua vez trouxe alguma dificuldade no acompanhamento do processo de acompanhamento *in situ*, em particular quanto à verificação dos condicionalismos tidos em conta para o desenvolvimento da instalação objeto do tema em discussão.



## 6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

### 6.1 Conclusões

Com a presente dissertação, o propósito consistia na abordagem das falhas que originam incêndios em instalações PV e quais as medidas existentes para eliminar e/ou minimizar possíveis riscos, seja por meio de referenciais normativos ou legislações aplicadas em cada um dos seus países, procurando enquadrar a perspetiva mundial sobre o tema.

Para além disso, face à falha de informação existente em Portugal sobre o tema em questão, procurou-se com o auxílio de diversas informações de referenciais, associações profissionais, seguradoras e legislações verificar, através de um caso de estudo relativo a uma instalação PV, se existia o cumprimento de diversos requisitos, de forma a garantir uma instalação tecnicamente bem executada, garantindo sempre uma correta segurança contra incêndios do património da entidade e também dos equipamentos. Assim, foi possível apurar, no que diz respeito aos incêndios, que a instalação estava em cumprimento de referenciais normativos identificados anteriormente, seja na garantia de manter a estrutura sem elementos que pudessem obstruir os caminhos de circulação e locais de desenfumagem, assim como nos materiais selecionados para constituir o sistema PV.

No que se refere às principais causas de incêndio PV, verificou-se que o risco de arco elétrico DC, os sobreaquecimentos, os maus dimensionamentos das cablagens, a falta de manutenção, os *hotspots* e o fogo posto foram consideradas as causas mais comuns para os incêndios neste tipo de instalações. Ainda se constatou que as instalações PV, atualmente podem estar dispostas através de dois modelos: BIPV e BAPV.

Os guias elaborados por diversas autoridades, a título exemplificativo, a NFPA, são relevantes e procuram acompanhar o desenvolvimento de novas tecnologias como é o fotovoltaico, para além disso, as seguradoras, de destacar a FM-Global, como meio de assegurarem o património dos seus clientes e com o histórico existente, procuram o constante desenvolvimento de novos produtos onde seja englobado áreas específicas, assim como produtos de cariz global. Assim, o fotovoltaico como produto que apresenta um crescimento exponencial foi relevante o acompanhamento das *data sheets* para suportar o descrito nos referenciais normativos, permitindo assim servirem de guia para os utilizadores deste tipo de produto.

Relativamente a meios de 1ª intervenção, homologados e aprovados por entidades como a NFPA ou CFPA-Europe não foi possível encontrar, no entanto encontra-se no mercado um produto denominado de *PVSTOP*, em que consiste numa solução polimerizada que permite terminar a produção de energia. Ainda alguns fabricantes de inversores abordam a questão de um AFCI (Arc-Fault Circuit Interrupter), que consiste num dispositivo projetado para fornecer proteção contra os efeitos de falhas de arco elétrico. Essas falhas ocorrem quando há uma interrupção na continuidade do circuito elétrico, resultando em faíscas ou arcos que podem causar incêndios. Os AFCIs são capazes de reconhecer características únicas dos arcos elétricos e desenergizar o circuito quando detetam uma falha de arco. Eles identificam padrões de corrente específicos associados a arcos

elétricos, diferenciando-os de outras formas de corrente elétrica. Quando um arco elétrico é detetado, o AFCI interrompe a alimentação elétrica para prevenir incêndios e danos ao sistema elétrico. Normalmente, os AFCIs são instalados no painel de disjuntores, protegendo todo o circuito que alimentam. Enquanto o AFDD (Arc-Fault Detection Device) é um dispositivo destinado a detetar falhas de arco em circuitos elétricos e a tomar medidas para mitigar seus efeitos. Embora similar aos AFCIs, os AFDDs podem ser integrados em dispositivos diferentes e oferecer várias funcionalidades adicionais. Como os AFCIs, os AFDDs identificam características específicas dos arcos elétricos e são projetados para reagir rapidamente à sua presença. Eles podem ser integrados em disjuntores, tomadas e outros componentes elétricos, ampliando a proteção em sistemas mais complexos. Ao detetar uma falha de arco, o AFDD desliga o circuito para evitar incêndios e outros danos.

Embora ambos os dispositivos sirvam para detetar e proteger contra falhas de arco, existem algumas diferenças sutis entre os AFCIs e os AFDDs. Os AFCIs são normalmente encontrados em painéis elétricos e disjuntores, focados principalmente na proteção de circuitos completos. Já os AFDDs podem ser integrados em diversos componentes elétricos, incluindo disjuntores e tomadas, oferecendo uma proteção mais localizada. Os AFDDs também podem incluir recursos adicionais, como monitoramento contínuo do circuito e comunicação com sistemas de automação predial para fornecer dados em tempo real sobre a condição dos circuitos.

Em Portugal e na maioria dos países europeus, a instalação de dispositivos de proteção contra falhas de arco é regulada por normas técnicas específicas. A Norma Europeia EN 62606 trata dos requisitos para os dispositivos de deteção de falhas de arco (AFDDs), enquanto outras normas como a IEC 61000-4-5 e a EN 50174 podem abordar aspetos relacionados à compatibilidade e segurança elétrica. Esses dispositivos são essenciais para garantir a segurança das instalações elétricas, prevenindo incêndios e outros riscos associados a falhas de arco, e são recomendados ou exigidos em várias regulamentações e códigos de construção

## 6.2 Perspetivas Futuras

Com o crescimento exponencial na aposta das energias renováveis, surge a necessidade de criar mecanismos de segurança que permitam minimizar os riscos de incêndio. Assim, a elaboração de *guidelines*, consiste num mecanismo de suporte a uma construção em segurança, seja no âmbito fotovoltaico, tal como abordado na presente dissertação, como também na energia eólica e na mobilidade elétrica, por exemplo. Assiste-se a uma paragem no que diz respeito à legislação aplicável, o que cria lacunas na elaboração de projetos e na construção e importa que as autoridades responsáveis e meios legislativos acompanhem as novas tecnologias.

Ainda, com o desenvolvimento contínuo dos painéis, seja por meio de materiais incombustíveis ou por novos meios de rentabilizar a produção de energia solar o que por si só eleva a capacidade de gerar calor e elevar a probabilidade de ocorrência do incêndio. Assim, com o desenvolvimento de meios de combate a incêndios de origem PV, como por exemplo, a utilização de um extintor denominado de *PVSTOP*, que tem como objetivo desenergizar os painéis através da colocação de uma camada em formato de spray diretamente, possibilitando a atuação dos bombeiros. Quando colocado, a película criada bloqueia a incidência de luz solar no painel e bloqueia a produção de energia, por sua vez quando retirado o painel voltará à sua produção sem quaisquer perdas de rendimento.

Neste sentido, importa que Portugal procure acompanhar o que já está e ainda será aprofundado sobre o respetivo, de forma que consiga adotar medidas e meios para que numa eventualidade deste género, as corporações de bombeiros estejam dotadas de formação sobre o funcionamento de um sistema PV e como atuar para minimizar a probabilidade de risco de incêndio e de risco elétrico a que possam estar sujeitos. Ainda assim, a intervenção nas fases de *O&M (Operation and Maintenance)*, tem demonstrado que uma intervenção a montante, nomeadamente uma manutenção preventiva em vez de corretiva, permite a minimização de riscos de incêndio e de possíveis deteriorações dos equipamentos, a título exemplificativo, a realização de ensaios termográficos, como meio de verificar se está a ocorrer um mau funcionamento dos painéis, ou um possível *hotspot*, tal como identificado anteriormente como uma das causas de incêndio.



---

## 7 BIBLIOGRAFIA

ASTM International. (2020). ASTM E0108-20a: Standard test methods for fire tests of flame propagation of textiles and films. ASTM International. <https://www.astm.org/e0108-20a.html>  
*BloombergNEF Tier 1 Solar Module Maker Methodology*. (2024).

British Standards Institution. (n.d.). *Fire classification of construction products and building elements. Part 1 : Classification using data from reaction to fire tests*.

Cancelliere P, Manzini G, Mazzaro M. A review of the photovoltaic module and panel fire tests. IFireSS 2017—2nd International FireSafety Symposium; 7–9 June 2017, 2017; Naples, Italy.

*Comércio inter-regional*. (n.d.). [https://www.planapp.gov.pt/wp-content/uploads/2023/11/PlanAPP\\_Ficha\\_Regiao-Norte.pdf](https://www.planapp.gov.pt/wp-content/uploads/2023/11/PlanAPP_Ficha_Regiao-Norte.pdf)

Dong, Q., Song, Y., Huang, L., Song, Z., Zhou, Y., Zou, S., & Shi, L. (2023). Experimental study on the fire characteristics of opaque and transparent solar photovoltaic panels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103369>

Duroha, J. C., & Macht, G. A. (2023). Solar installation occupational risks: A systematic review. *Safety Science*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106048>

EDP. (n.d.). *O que são painéis solares flexíveis e o que está incluído no kit?*. EDP Portugal. Recuperado em [junho de 2024], de <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/pt/solucoes-sustentaveis/energia-solar/o-que-sao-paineis-solares-flexiveis-e-o-que-esta-incluido-no-kit/faq-23853/>

Guerra, A. (2007). *Cadernos de Fenomenologia da Combustão e Agentes Extintores*. Edição: Escola Nacional de Bombeiros

GUIDELINE Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization

If P&C Insurance. (2023). *Photovoltaic systems on roofs*.

International Electrotechnical Commission, & International Electrotechnical Commission. Technical committee 28. (n.d.). *Photovoltaic (PV) module safety qualification. Part 1, Requirements for construction*.

International Electrotechnical Commission. (2023). IEC 61730-2: *Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing*.

Iringova, A. (2022). Location of Photovoltaic Panels in the Building Envelope in Terms of Fire Safety. *Civil and Environmental Engineering*, 18(2), 523–531. <https://doi.org/10.2478/cee-2022-0050>

Jäger-Waldau, A. (2022). Snapshot of photovoltaics - February 2022. In *EPJ Photovoltaics* (Vol. 13). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/epjpv/2022010>

- 
- Ju, X., Zhou, X., Gong, J., Zhao, K., Peng, Y., Zhang, C., Ren, X., & Yang, L. (2019). Impact of flat roof-integrated solar photovoltaic installation mode on building fire safety. *Fire and Materials*, 43(8), 936–948. <https://doi.org/10.1002/fam.2755>
- Kaplanis, S., Kaplani, E., & Kaldellis, J. K. (2022). PV temperature and performance prediction in free-standing, BIPV and BAPV incorporating the effect of temperature and inclination on the heat transfer coefficients and the impact of wind, efficiency and ageing. *Renewable Energy*, 181, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.124>
- Kristensen, J. S., & Jomaas, G. (2018). Experimental Study of the Fire Behaviour on Flat Roof Constructions with Multiple Photovoltaic (PV) Panels. *Fire Technology*, 54(6), 1807–1828. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0772-5>
- Laukamp H, Bopp G, Grab R, et al. PV fire hazard: Analysis and assessment of fire incidents. Paper presented at: 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris; 2013
- Leene M, Dikkenberg RVD. Vooronderzoek depositie bij branden met zonnepanelen: een verkennend studienaardedepositie van verbrandingsproducten als gevolg van brand met substantiële hoeveelheden zonnepanelen. Instituut Fysieke Veiligheid; 2020
- Lei n.º 102/2009 de 10 de setembro. Diário da República n.º 176/2009, Série I de 2009-09-10, págs. 6167-6192
- Liao, B., Ju, X., Lai, D., & Yang, L. (2023). Experimental study of combustion characteristics of PET laminated photovoltaic panels by fire calorimetry. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112242>
- Liao, B., Yang, L., Ju, X., Peng, Y., & Gao, Y. (2020). Experimental study on burning and toxicity hazards of a PET laminated photovoltaic panel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110295>
- Mahto, R. V., Sharma, D. K., Xavier, D. X., & Raghavan, R. N. (2020). Improving performance of photovoltaic panel by reconfigurability in partial shading condition. *Journal of Photonics for Energy*, 10(04), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jpe.10.042004>
- Miao, L., & Chow, C. L. (2019). Investigation of burning photovoltaic panels on a double-skin facade with ejecting flame from an adjacent room fire. *Indoor and Built Environment*, 28(7), 938–949. <https://doi.org/10.1177/1420326X18804591>
- Mohd Nizam Ong, N. A. F., Mohd Tohir, M. Z., Mutlak, M. M., Sadiq, M. A., Omar, R., & Md Said, M. S. (2022). BowTie analysis of rooftop grid-connected photovoltaic systems. *Process Safety Progress*, 41(S1), S106–S117. <https://doi.org/10.1002/prs.12338>
- Mohd Nizam Ong, N. A. F., Sadiq, M. A., Md Said, M. S., Jomaas, G., Mohd Tohir, M. Z., & Kristensen, J. S. (2022). Fault tree analysis of fires on rooftops with photovoltaic systems. *Journal of Building Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103752>
- Morlan, T. (2021, May 18). String versus central inverters for solar PV projects. Nor-Cal Controls. <https://blog.norcalcontrols.net/string-versus-central-inverters-solar-pv>
-

---

Nema, S., Nema, R. K., & Agnihotri, G. (2011). Inverter topologies and control structure in photovoltaic applications: A review. In *Journal of Renewable and Sustainable Energy* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1063/1.3505096>

Olsø, B. G., Stølen, R., Mikalsen, R. F., Bunkholt, N. S., Friquin, K. L., & Hjertnes, J. (2023). Factors Affecting the Fire Safety Design of Photovoltaic Installations Under Performance-Based Regulations in Norway. *Fire Technology*, 59(4), 2055–2088. <https://doi.org/10.1007/s10694-023-01420-9>

Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann & Mulrow (2020). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews *BMJ* 2021; 372 :n71 doi:10.1136/bmj.n71  
*Property Risk Consulting Guidelines*. (2021).

*REGRAS TÉCNICAS DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO PARTE 1*. (n.d.).

Riggi. (n.d.). *DM 26/08/92*.

Shimizu, R., Ota, Y., Nagaoka, A., Araki, K., & Nishioka, K. (2023). Non-Contact Monitoring of Operating Conditions for Solar Cells in a Photovoltaic Module Using a Surface Potential Meter for Detecting the Risk of Fire. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/app131810391>

Schadenverhütung GmbH, V. (2001). *Fire protection measures for roofs Instructions for planning and construction Fire protection measures for roofs Instructions for planning and construction Content (VdS 2216en)*.

Schadenverhütung GmbH, V. (2017). *Photovoltaikanlagen. (VdS 3145)*.

Schadenverhütung GmbH, V (2024). *Firewalls and complex partition walls: Leaflet for arrangement and construction (VdS 2234en)*.

Sivakumar, S., Sheeba Percis, E., Nalini, A., & Bhuvanewari, S. (2018). Overall maintenance and threat in the installation of solar panel. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 10(10 Special Issue), 1060–1063. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055740107&partnerID=40&md5=6713e04533b89fc10233c5db58e3fecf>

Sheffield Metals. (n.d.). Standing seam metal roofing. Sheffield Metals. Retrieved May 29, 2024, from <https://sheffieldmetals.com/learning-center/standing-seam-metal-roofing/>

Song, Y., Zou, S., Dong, Q., Huang, L., Song, Z., Yang, H., & Shi, L. (2023). A temperature-dependent fire risk assessment framework for solar photovoltaic station. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103467>

Technical committee 28. (n.d.). *Photovoltaic (PV) module safety qualification. Part 1, Requirements for construction*. <https://solargostaran.com/files/standards/IEC/IEC%2061730-1-2016.pdf>

---

Underwriters Laboratories. (2004). UL 790: Standard for Tests for Fire Resistance of Roof Covering Materials.

Vaverková, M. D., Winkler, J., Uldrijan, D., Ogrodnik, P., Vespalcová, T., Aleksiejuk-Gawron, J., Adamcová, D., & Koda, E. (2022). Fire hazard associated with different types of photovoltaic power plants: Effect of vegetation management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *162*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112491>

Vidales Luna, B., Monroy-Morales, J. L., Madrigal Martínez, M., Torres-Lucio, D., Weber, S., & Schweitzer, P. (2021). Analysis of internal signal perturbations in dc/dc and dc/ac converters under arc fault. *Energies*, *14*(11). <https://doi.org/10.3390/en14113005>

Wang, Q., Paynabar, K., & Pacella, M. (2022). Online automatic anomaly detection for photovoltaic systems using thermography imaging and low rank matrix decomposition. *Journal of Quality Technology*, *54*(5), 503–516. <https://doi.org/10.1080/00224065.2021.1948372>

Wohlgemuth, J. (2012). *IEC 61215: What It Is and Isn't (Presentation)*, NREL (National Renewable Energy Laboratory).

Wohlin, C. (2014). Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering. Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>

Zamrazilova, M., & Oulehlova, A. (2022). Fire Risk Assessment of Photovoltaic Panels Based on the Failure Mode and Effects Analysis. *Ad Alta-Journal of Interdisciplinary Research*, *12*(2), 181–185.

Zulfauzi, I. A., Dahlan, N. Y., Sintuya, H., & Setthapun, W. (2023). Anomaly detection using K-Means and long-short term memory for predictive maintenance of large-scale solar (LSS) photovoltaic plant. *Energy Reports*, *9*, 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.159>

# ANEXOS

## Anexo I – Datasheet SUN2000-100KTL-M1

SUN2000-100KTL-M1  
Smart PV Controller



Smart

Smart I-V Curve Diagnosis supported



Efficient

Max. efficiency 98.8%



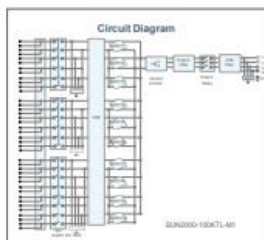
Safe

Fuse-free design



Reliable

Type II surge arrester for DC & AC



SOLAR HUAWEI.COM/PT

SUN2000-100KTL-M1  
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-100KTL-M1
<b>Efficiency</b>	
Max. Efficiency	98.8%
European Efficiency	98.8%
<b>Input</b>	
Max. Input Voltage	1100 V
Max. Current per MPPT	25 A
Max. Open-Circuit Current per MPPT	45 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	250 V ~ 1000 V
Rated Input Voltage	500 V
Number of Inputs	30
Number of MPPT Trackers	10
<b>Output</b>	
Rated AC Active Power	100000 W
Rated AC Apparent Power	100000 VA
Max. AC Apparent Power	110000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	110000 W
Rated Output Voltage	400 V, 3W ~ PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	166.4 A
Max. Output Current	160 A
Adjustable Power Factor Range	0.9 L.D. ~ 0.9 L.D.
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
<b>Protection</b>	
Islanding Detection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
Priority String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detector	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
<b>Communication</b>	
Display	LED Indicator, SmartAPP/PLAN + APP
RS485	Yes
USB	Yes
ModB	Yes (optional transceiver required)
<b>General Data</b>	
Dimensions (W x H x D)	1000 x 700 x 50mm (40.1" x 27.6" x 1.9" (W x H x D))
Weight (with mounting plate)	90 kg (197.4 lb)
Operating Temperature Range	-25°C (-13°F ~ 147°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude	4000 m (13123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Smart MC4
AC Connector	Waterproof Connector - C107 Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless
Maximum Power Consumption	≤ 3.2W
Country of Manufacture	China
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>	
Safety	EN621 8210P + GB621 8210P, IEC 62110
Grid Connection Standards	AS425 4773.3-2005

SOLAR HUAWEI.COM/PT

## Anexo II – Declaration of RCD Application in HUAWEI Solar Inverter

Product Description

### Declaration of RCD Application in HUAWEI Solar Inverter

Manufacture Name: HUAWEI Technologies Co., Ltd

Address: HUAWEI Industrial Base, Bantian, Longgang District, 518129, Shenzhen, China

Product Description: 2000 Series Inverter

Inverter Model: SUN2000L-2KTL, SUN2000L-3KTL, SUN2000L-3.68KTL

SUN2000L-4KTL, SUN2000L-4.6KTL, SUN2000L-5KTL

SUN2000-2KTL-L0, SUN2000-3KTL-L0,

SUN2000-4KTL-L0, SUN2000-5KTL-L0,

SUN2000-2KTL-L1, SUN2000-3KTL-L1,

SUN2000-3.68KTL-L1, SUN2000-4KTL-L1

SUN2000-4.6KTL-L1, SUN2000-5KTL-L1, SUN2000-6KTL-L1

SUN2000-3KTL-M0, SUN2000-3KTL-M1

SUN2000-4KTL-M0, SUN2000-4KTL-M1

SUN2000-5KTL-M0, SUN2000-5KTL-M1

SUN2000-6KTL-M0, SUN2000-6KTL-M1

SUN2000-8KTL-M0, SUN2000-8KTL-M1

SUN2000-10KTL-M0, SUN2000-10KTL-M1

SUN2000-12KTL-M0, SUN2000-12KTL-M2

SUN2000-15KTL-M0, SUN2000-15KTL-M2

SUN2000-17KTL-M0, SUN2000-17KTL-M2

SUN2000-20KTL-M0, SUN2000-20KTL-M2

SUN2000-33KTL-A, SUN2000-36KTL

SUN2000-60KTL-M0, SUN2000-100KTL-M1

SUN2000-60KTL-HV-D1-001, SUN2000-100KTL-H1

According to IEC 62109-2: 2011, a residual current monitoring unit (RCMU) is required for inverters without simple separation between the grid and the photovoltaic generator. The SUN2000 series inverters have such an integrated RCMU. Due to the inverters' circuit design, they can't feed in direct residual current into the grid.

If the standard taken as a basis for the building of PV system or the grid company requests a separate RCD (Residual Current Device), a residual current device RCD type A can be used for all SUN2000 series inverters.

Regarding the internal RCMU protection limits (which is 300mA or higher according to IEC 62109-2: 2011), from SUN2000 inverters' point of view, a RCD type A with a limit of

Product Description

300mA or higher would be fine (as shown on following table). With this limit a premature switch off of the external RCD would not happen.

SUN2000 inverters with type A RCD limit:

Inverter Model	Type A RCD Limit
SUN2000L-2-5KTL	100 mA
SUN2000-2-5KTL-L0	100 mA
SUN2000-2-6KTL-L1	100 mA
SUN2000-3-10KTL-M0	100 mA
SUN2000-3-10KTL-M1	100 mA
SUN2000-12-20KTL-M0	300 mA
SUN2000-12-20KTL-M2	300 mA
SUN2000-33KTL-A	300 mA
SUN2000-36KTL	300 mA
SUN2000-60KTL-M0	500 mA
SUN2000-100KTL-M1	900 mA

Huawei Technology Co., Ltd

*Ye Liang*

24.04.2020

Ye Liang

Director of Inverter Solution Sales, Europe

# Anexo III – Datasheet Longi LR5-72hph 540~560M

## Hi-MO 5<sub>m</sub>

(G2)

### LR5-72HPH 540~560M

- Based on M10 wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
  - H10 Gallium-oped Wafer
  - Smart Soldering
  - 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability

**12**  
Year Warranty for Materials and Processing

**25**  
Year Warranty for Extra Linear Power Output



**Complete System and Product Certifications**

IEC 61215, IEC 61730, UL 6170  
 ISO9001:2015 90: Quality Management System  
 ISO14001:2015 90: Environment Management System  
 ISO45001:2018 Occupational Health and Safety  
 IEC 62941: Guide line for module design qualification and type approval





## Hi-MO 5<sub>m</sub>

## LR5-72HPH 540~560M

**21.7%**  
MAX MODULE EFFICIENCY

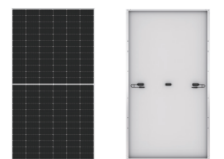
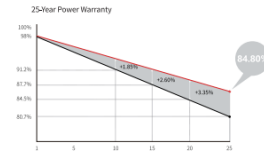
**0~3%**  
POWER TOLERANCE

**<2%**  
FIRST YEAR POWER DEGRADATION

**0.55%**  
YEAR-245 POWER DEGRADATION

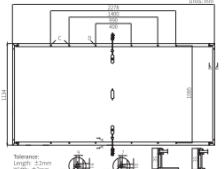
**HALF-CELL**  
Lower operating temperature

### Additional Value



#### Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6 × 24)
Junction Box	B10L three diodes
Output Cable	4mm <sup>2</sup> ±400, >200mm ±1400mm <small>length can be customized</small>
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	27.5kg
Dimension	2278 × 1134 × 35mm
Packaging	33pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 623pcs per 40' HC



#### Electrical Characteristics

Module Type	STC : AM1.5 1000W/m <sup>2</sup> 25°C		NOCT : AM1.5 800W/m <sup>2</sup> 20°C 1m/s		Test uncertainty for Power : ±3%					
	LR5-72HPH-540M	LR5-72HPH-545M	LR5-72HPH-550M	LR5-72HPH-555M	LR5-72HPH-560M	STC	NOCT	STC	NOCT	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P <sub>max</sub> /W)	540	463.6	545	467.4	550	471.1	555	474.8	560	478.6
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> /V)	49.50	46.54	49.65	46.68	49.80	46.82	49.95	46.97	50.10	47.11
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> /A)	13.95	11.20	13.90	11.25	13.98	11.31	14.04	11.35	14.10	11.40
Voltage at Maximum Power (V <sub>mp</sub> /V)	41.65	38.69	41.80	38.83	41.95	38.97	42.10	39.11	42.25	39.25
Current at Maximum Power (I <sub>mp</sub> /A)	12.97	10.43	13.04	10.49	13.12	10.56	13.19	10.61	13.26	10.67
Module Efficiency(%)	20.9		21.1		21.3		21.5		21.7	

#### Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC61730)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type I or 2 IEC Class C

#### Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Halobone Test	25mm Halobone at the speed of 23m/s

#### Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.205%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C

**LONGI**
Floor 19, Lujiazui Financial Plaza, Century Avenue  
856, Pudong Shanghai, China  
Tel: +86-21-40032005  
Web: www.longi.com
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. LONGI reserves the right of final interpretation. D3220810V10 G2

# Anexo IV – Datasheet Inversor SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60

## SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60



NEW: Now with integrated arc-fault circuit interrupter

NEW: Now with DC surge protection Type 1/2



### More flexibility

- For large rooftop and ground-mounted systems up to the MW range
- 12 MPP trackers
- 24 strings with 1100 V<sub>dc</sub> Senclix connectors
- Integrated arc-fault circuit interrupter (AFCI)

### More power

- 110 kW for standard 400 V<sub>ac</sub>
- Fast commissioning without additional DC combiners
- Peak efficiency of 98.6%

### More yield

- Premium monitoring service for reliable system performance
- Maximum yields thanks to the integrated software solution SMA ShadeFix

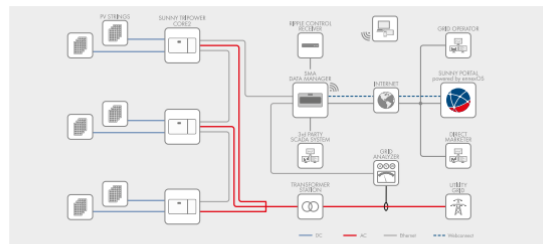
### More system integration

- Flexible and future-proof expansion due to seamless system integration with the SMA Energy System Business
- Holistic energy management with enracOS
- High IT security

## SUNNY TRIPOWER CORE2

Flexible system design and highest yields thanks to integrated features

flexible system design for larger commercial PV systems. The Sunny Tripower CORE2 is the ideal inverter for decentralized system structures up to the megawatt range. With 110 kilowatts, 24 strings and 12 MPP trackers, the Sunny Tripower CORE2 allows for a particularly high solar coverage in ground-mounted PV systems as well as at different roof pitches during the day. The integrated SMA ShadeFix software solution automatically optimizes system performance anytime, even with partially shaded modules. The automatic inverter monitoring service SMA Smart Connected also ensures maximum PV system yields by detecting failures as fast as possible. The integrated arc-fault circuit interrupter AFCI contributes additionally to the safety. With the Sunny Tripower CORE2 as a central component of the SMA Energy System Business, installers and PV system operators will benefit from the high-quality components from a single source and future-proof options to expand their systems with SMA storage solutions.



Technical data*	Sunny Tripower CORE2
<b>Input (DC)</b>	
Max. PV array power	165000 Wp STC
Max. input voltage	1100 V
MPP voltage range	500 V to 800 V
Rated input voltage	585 V
Min. input voltage / Start input voltage	200 V / 250 V
Max. usable input current per MPP tracker / Max. short-circuit current per MPP tracker	26 A (22 A < 600 V) / 40 A
Number of independent MPP trackers / Strings per MPP tracker	12 / 2
<b>Output (AC)</b>	
Rated power (at 400 V, 50Hz)	110000 W
Rated / Max. apparent power	110000 VA / 110000 VA
Rated voltage	400 V
Voltage range	320 V to 480 V
Grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz
Rated grid frequency	50 Hz
Rated output current / max. output current	158.8 A / 158.8 A
Power factor of rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overvoltage to 0.8 undervoltage
Harmonic (THD)	< 3%
Function phases / AC connection	3 / 3P4
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European efficiency	98.6% / 98.4%
<b>Protective devices</b>	
Inpulsed disconnection device	•
Ground fault monitoring / grid monitoring / DC reverse polarity protection	• / • / •
AC short-circuit current capability / galvanically isolated	• / -
All pole sensitive residual-current monitoring unit	•
Monitored surge arrester AC / DC	type 2 / type 1+2*
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	1 / AC, II, DC, II
Arc-fault circuit interrupter (AFCI)	•*
<b>General data</b>	
Dimensions (W / H / D)	1117 mm / 682 mm / 263 mm (44.0 in / 26.9 in / 14.3 in)
Weight	93.5 kg (206.1 lb)
Operating temperature range	-30 °C to +60 °C (-22 °F to +140 °F)
Noise emission, maximum [1m]	78 dB(A)
Self-consumption (at night)	< 5 W
Topology / cooling concept	Transformerless / active cooling
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP66
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
<b>Features / functions / accessories</b>	
DC connection / AC connection	Senclix / terminal lug (up to 240 mm <sup>2</sup> )
LED display (Status / Fault / Communication)	•
Ethernet interface	• (2 ports)
Data interface	Web interface / Modbus SunSpec
Mounting type	Wall mounting / rack mounting
Warranty 5 / 10 / 15 / 20 years	• / • / • / •
Certifications and approvals (selection)	IEC 62109-1/-2, EN50549-1/-2:2018, VDE ARN 4105/4110/4120:2018, IEC 62116, IEC 61727, C110/C119/2/MV1:2018, CEI 0-16:2019, AS/NZS 4777.2, SI 4777, IEC Converter, Typ A/B, STP 110-60

\* Standard features. • Optional features. - not available. Data at nominal conditions. Status 11/2023. \*) from production date 04/2023, SMA serial number 20272400-01. Australia: 202725-00-01

SMA-Solar.com

SMA Solar Technology AG

# Anexo V – Estrutura para colocação dos painéis



**ESDEC**  
INNOVATIVE MOUNTING SYSTEMS

**A NOVA REFERÊNCIA PARA INSTALAÇÕES EM COBERTURAS COMERCIAIS**

**FLATFIX WAVE PLUS**

[www.esdec.com](http://www.esdec.com)

## AS VANTAGENS DO FLATFIX WAVE PLUS



### RÁPIDO E FÁCIL

- Instalação rápida e fácil
- Unidades base pré-montadas, desdobráveis
- Não necessita ferramentas
- Quantidade mínima de componentes
- Máxima eficiência
- Gestão de cabos integrada
- Fácil de desmontar para a manutenção dos módulos



### MÁXIMA EFICIÊNCIA

- Ideal para projetos em coberturas comerciais de grande escala
- Adequado para painéis fotovoltaicos grandes de nova geração
- Disposição dupla (este-este)
- Áreas grandes de painel (40x40)
- Adequado para painéis de até 1149 mm de largura
- Espaço entre filas 2300 mm (DR1) / 2460 mm (DR2)
- Ângulo de inclinação de 10°




### FIÁVEL

- Instalação simples de unidades pré-montadas sem parafusos
- Design aerodinâmico
- Sistema robusto graças aos conectores verticais e horizontais
- O melhor suporte do módulo possível: 2 unidades base por painel
- Testado para padrões internacionais
- 20 anos de garantia



### SEGURANÇA

- Suportes de telhado com conectores móveis
- O sistema desmontado mecanicamente evita danos no material do telhado
- Ligação integrada
- Carga pontual baixa
- Painel fixado no comprimento do módulo de acordo com as especificações do fornecedor do módulo, minimizando os riscos de danos no módulo
- Cumpre os mais rígidos requisitos contra corrosão



**FLATFIX WAVE PLUS**

## COM AS FUNCIONALIDADES MAIS EXIGENTES PARA FIABILIDADE À PROVA DE FUTURO

### Instalação rápida livre de erros

O Flatfix Wave Plus pode ser instalado de uma forma super rápida graças ao número limitado dos passos de montagem. Alinha e estenda as unidades base pré-montadas, encaixe o elemento de base alta e os estabilizadores no lugar e monte o painel fotovoltaico sem utilizar parafusos ou ferramentas, só com a fixação exclusiva do painel. A instalação completa, incluindo o bloqueio do painel solar, pode ser realizada sem qualquer ferramenta. Os estabilizadores dispõem de espaço para a gestão de cabos.

### Máxima eficiência no telhado

Máxima eficiência no telhado em um dos princípios fundamentais do Flatfix Wave Plus. A disposição dupla do Flatfix Wave Plus assegura o rendimento de energia mais equilibrado ao longo do dia e torna possível maximizar a utilização da superfície do telhado da forma mais eficiente possível. Esta configuração é concebida para projetos de grande escala, nos quais também podem ser utilizados painéis solares grandes de última geração. Graças à rigidez do sistema, é possível instalar facilmente campos até 40 x 40 metros.

### Seguro e fiável

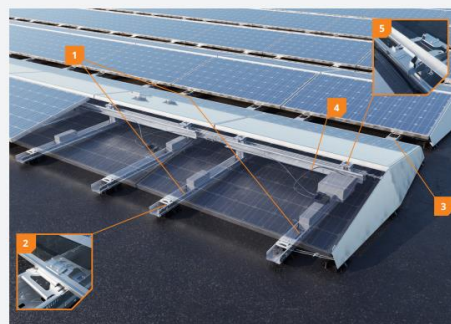
Cada painel é apoiado de forma ótima sobre duas unidades base. E como os painéis são fixados no lado comprido, como requerido pela maioria dos fabricantes de painéis, minimiza-se o risco de danos nos painéis. O sistema patentado Flatfix Wave Plus foi amplamente testado e cumpre com os mais avançados requisitos de segurança. Flatfix Wave Plus é uma solução de montagem de alta qualidade. Cumpre os padrões internacionais mais estritos e é fornecido com uma garantia de 20 anos.

### VANTAGENS PARA O INSTALADOR

- ✓ Instalação super rápida livre de erros
- ✓ Não necessita ferramentas
- ✓ Fácil de montar
- ✓ Gestão de cabos integrada

### BENEFÍCIOS PARA O PROPRIETÁRIO

- ✓ Máxima eficiência para projetos em coberturas comerciais
- ✓ Cumpre com os mais avançados requisitos de segurança
- ✓ Uso de materiais de alta qualidade
- ✓ 20 anos de garantia



### 1 2 unidades por painel

Nesta configuração, cada painel é apoiado sobre 2 unidades. Exatamente adequado para painéis fotovoltaicos grandes de última geração.

### 2 Sistema de fixação exclusivo patentado

Montagem fácil e segura do painel com um mecanismo de fixação exclusivo patenteado. Não necessita parafusos.

### 3 Não necessita ferramentas

A instalação não necessita de ferramentas. As unidades base são fáceis de desdobrar e interconectar.

### 4 Gestão de cabos integrada

Alimentação e armazenamento rápido e fácil para cabos em o bastidor e a caixa de cabos integrados localizados nas estabilizadores.

### 5 Ligação integrada

A ligação está integrada no mecanismo de fixação da base alta. Uma borda fixada, graças ao canal de encaixe do painel, une o painel à estrutura de suporte de aço.

# Anexo VI – Cabo SOLAR H1Z2Z2-K TUV/CE

**Kontakt:**

Tel.: +49 7423 921-0  
 info@kabeltec.de



**Solar / Solar  
 SOLAR H1Z2Z2-K TÜV/CE**

Doppelt ummantelte Einzeladern für die Verklebung von Photovoltaikanlagen  
 Double sheathed single core for cabling of photovoltaic systems



**Verwendung:**

Dieser Leitung wird speziell in Solaranlagen verwendet. Aufgrund des verstärkten Isolier- und Mantelmateriels der Kabel wird für eine hervorragende Beständigkeit gegen mechanische und klimatische Belastungen gesorgt. Zudem sind die Leitungen kurzschlussfest, halogenfrei und UV-beständig und damit geeignet für die Verlegung in trockenen und feuchten Räumen, unter der Erde und auch im Freien unter direkter Sonneneinstrahlung. Die zu erwartende Lebensdauer beträgt 25 Jahre. [INDEX-20201850]

**Aufbau:**

**Technische Daten:**

Leiter Werkstoff	Kupfer, blank oder versilbert
Leiterklasse	Klasse 5
Außenleiterwerkstoff	Vernetztes Polyolefin-copolymer nach EN 50618
Außenleitung	
Verdichtung	
Außenmantelwerkstoff	Vernetztes Polyolefin-copolymer EN 50618
Mantelfarbe	Schwarz, Rot oder Blau
Nennspannung [V]	AC: 30/50/75/10kV, max. 3,2/1,2/0V DC: 1,5/0kV, max. 1,5/1,2/0V
Prüfspannung [V]	0
Leiterwiderstand	
Isulationswiderstand	> 750 MΩ x km bei 20°C
Strombelastbarkeit	
Minimale Biegehalbkreis [m]	5 x d
Minimale Biegehalbkreis [mm]	15 x d
Betriebstemp. fest min/max [°C]	-40 °C bis +90 °C
Betriebstemp. bew. min/max [°C]	-40 °C bis +90 °C
Temperatur am Leiter max.	125 °C
Brandverhalten	IEC EN 60332-1-2
Normen	EN 50618 / IEC EN 50618-2

**Application:**

Designed especially for application in solar generators. Due to the cross-linked insulating and sheathing materials an excellent resistance against mechanical and environmental stress is guaranteed. In addition, the cables are short-circuit proof, halogen free and resistant against UV radiation and therefore suitable for use in dry and moist rooms, direct burial, outdoors under direct solar irradiation. Most favourable cable in photovoltaic systems. Suitable for use in dry and humid rooms. The cable has an expected service life of 25 years. [INDEX-20201850]

**Construction:**

**Technical Data:**

Leiter Material	Copper, bare or plated
Leiterklasse	Class 5
Leiterwerkstoff	Cross-linked polyolefin-copolymer acc. to EN 50618
Leiterleitung	
Leiterdichtung	
Leitermantelwerkstoff	Cross-linked polyolefin-copolymer acc. to EN 50618
Leitermantelfarbe	Black, red or blue
Leiter-nennspannung [V]	AC: 30/50/75/10kV, max. 3,2/1,2/0V DC: 1,5/0kV, max. 1,5/1,2/0V
Leiterprüfspannung [V]	0
Leiterwiderstand	
Leiterisulationswiderstand	> 750 MΩ x km at 20°C
Leiterstrombelastbarkeit	
Leiterminimale Biegehalbkreis [m]	5 x d
Leiterminimale Biegehalbkreis [mm]	15 x d
Leiterbetriebstemp. fest min/max [°C]	-40°C up to +90°C
Leiterbetriebstemp. bew. min/max [°C]	-40°C up to +90°C
Leiter-temp. at conductor max.	125 °C
Leiter-brandverhalten	IEC EN 60332-1-2
Leiter-normen	EN 50618 / IEC EN 50618-2

**Kabel / Cable**

Die untenstehende Tabelle (L. R.) beschreibt die technischen Eigenschaften der Kabel. Bitte für genaue Werte konsultieren Sie die Datenblätter der jeweiligen Kabeltypen. Die hier angegebenen Werte sind Richtwerte und können je nach Anwendung variieren. Bitte beachten Sie die Angaben in den Datenblättern der jeweiligen Kabeltypen.

Art-Nr. / Part No.	Adern / Conductors no. of cores in cross section	Leitend. im Querschnitt / Conductor area mm² / sq. in.	Querschnitt / Cable cross-section mm² / sq. in.	Gewicht / Weight kg / 100m
SOLAR	1 x 2,5	5,10	5,10	4,70
SOLAR	1 x 4	5,10	5,94	6,20
SOLAR	1 x 6	5,10	6,78	8,00
SOLAR	1 x 10	7,60	9,60	10,00
SOLAR	1 x 16	9,60	10,60	10,50
SOLAR	1 x 25	10,00	10,00	20,50
SOLAR	1 x 35	11,00	12,00	20,50
SOLAR	1 x 50	11,00	16,00	16,20
SOLAR	1 x 70	10,00	17,20	17,20
SOLAR	1 x 95	10,00	19,20	19,20
SOLAR	1 x 120	10,00	20,00	18,70
SOLAR	1 x 150	10,00	20,00	18,60
SOLAR	1 x 185	10,00	27,00	19,00
SOLAR	1 x 240	17,20	28,00	23,00

**Kontakt:**

kabeltec GmbH | Werkstr. 43 | D-78727 Oberndorf a. N. | Tel.: +49 7423 921-0 | Fax: +49 7423 921-282

info@kabeltec.de

**Kontakt:**

kabeltec GmbH | Werkstr. 43 | D-78727 Oberndorf a. N. | Tel.: +49 7423 921-0 | Fax: +49 7423 921-282

info@kabeltec.de

# Anexo VII – Cabo AC EXZHELLENT Class RZ1 (Al) / LXZ1 (fr1,zh) Halogen-free



**EXZHELLENT® Class**  
RZ1 (Al) / LXZ1 (frt, zh) - Halogen-free  
0.6/1 kV



C<sub>s</sub>-s1b,d1,a1

---

**STANDARDS:**

<b>CONSTRUCTION</b>	<b>FIRE PERFORMANCE*</b>
IEC 60502-1	IEC 60332-1-2
	IEC 60332-3-24
	IEC 60754-1
	IEC 60754-2
	IEC 61034-2

**CPR CLASSIFICATION:**

Range 1x16 – 1x300 mm<sup>2</sup>  
DoP 0121 Rev.002  
Class **C<sub>s</sub>-s1b,d1,a1**

**CONSTRUCTION:**

- 1. CONDUCTOR**  
Aluminium class 2 to IEC 60228.
- 2. INSULATION**  
Cross-linked polyethylene (XLPE), type XLPE to IEC 60502-1.
- 3. SHEATH**  
Halogen-free thermoplastic polyolefin, type ST8 to IEC 60502-1.

**APPLICATIONS:**

The Exzhellent® RZ1/LXZ1 (frt, zh) cable series is made up of flexible single and multi-core 0.6/1 kV cables.

The low fire hazard cables are flame and fire retardant, offer low opacity of the smoke emitted, are halogen-free and provide low acidity and corrosiveness of the gases evolved during combustion.

These cables are especially recommended for installation in public premises and in places where the level of fire safety needs to be raised.

Maximum temperature rating of the conductor: +90 °C  
Minimum working temperature: -40 °C


\* Performance outside CPR scope.




1  
2  
3

EXZHELLENT RZ1 (Al) 0.6/1 kV C<sub>s</sub>-s1b,d1,a1





**EXZHELLENT® Class**  
RZ1 (Al) / LXZ1 (frt, zh) - Halogen-free  
0.6/1 kV



C<sub>s</sub>-s1b,d1,a1


---

**PHYSICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS:**

General Cable Code	Cross section mm <sup>2</sup>	Nominal overall diameter mm	Nominal weight kg/km	Minimum bending radius mm	Maximum current rating A <sub>30 °C</sub> in	Maximum current rating Buried 30 °C in	Voltage drop cat. 2-3 kV (kV/km)
1S36111	1x16	8.9	110	35	77	59	3.501
1S36112	1x25	10.4	150	45	103	75	2.236
1S36113	1x35	11.5	185	50	129	90	1.642
1S36114	1x50	12.7	230	55	159	106	1.236
1S36115	1x70	14.6	305	60	206	130	0.979
1S36116	1x95	16.4	400	70	253	154	0.657
1S36117	1x120	18.3	490	75	294	174	0.536
1S36118	1x150	20.1	600	80	343	197	0.452
1S36119	1x185	22.0	725	90	395	220	0.376
1S36120	1x240	25.0	925	100	471	253	0.306
1S36121	1x300	27.5	1,130	140	547	286	0.26

\* Current ratings to IEC 60364-5-52 table B.52.13, method of installation F for single core cables and method of installation E for multicore cables.  
\*\* Current ratings according to IEC 60364-5-52, table B.52.5 for single-core and 3 core-cables and table B.52.3, for 2-core-cables, method of installation D1.

Nominal values subject to variation depending on manufacturing tolerance.



# Anexo VIII – Cabo SOLAR Cable (H1Z2Z2-K)

## TÜV SOLAR CABLE (H1Z2Z2-K)

CAVO UNIPOLARE FLESSIBILE HALOGEN FREE PER APPLICAZIONI FOTOVOLTAICHE  
FLEXIBLE SINGLE CORE CABLE HALOGEN FREE FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

E2 - 01.03.2017

CE  
APPROVAZIONI APPROVALS:  
Certificato Nr R60113052



- 1 - 1° isolamento: copolimero speciale halogen free 1° insulation: halogen free special copolymer
- 2 - 2° isolamento: copolimero speciale halogen free 2° insulation: halogen free special copolymer
- 3 - Conduttore in rame Copper conductor

COLORI 1° e 2° ISOLAMENTO/  
1° and 2° INSULATION COLOUR

Conduttore trefolo flessibile in rame stagnato  
Tefiled flexible copper conductor

MARCATURA / MARKING:  
CET SOLAR CABLE 13x,00 mm2 1.0/1.0 kV H1Z2Z2-K TÜV Rheinland Type Approved R60113052 IEC 60332-1 CE

APPLICAZIONI / APPLICATIONS

CONFEZIONI / PACKAGING

Dati Tecnici		Technical Data	
Tensione Nominale Uo/U	1.0/1.0 kV AC – 1.5/1.5 kV DC	Nominal Voltage Uo/U	1.0/1.0 kV AC – 1.5/1.5 kV DC
Tensione max consentita	1.8 kV DC	Maximum permitted voltage	1.8 kV DC
Tensione di Prova	6.5 kV AC	Test Voltage	6.5 kV AC
Temperatura di esercizio	-40 +90°C	Operating Temperature	-40 +90°C
Max. temp. conduttore	+125°C (for 20.000 hrs.)	Max. core temperature	+125°C (for 20.000 hrs.)
Raggio minimo di curvatura	5 x D cavo (installazione fissa)	Min. bending radius	5 x D cable (fixed installation)
Omologazione	TÜV Rheinland	Approved	TÜV Rheinland
Norme di Riferimento:	EN 50618: 2014 IEC 60228 – EN 50395 – EN 50396 EN 60332-1-2 – EN 61034-1-2 EN 50255-1 – EN 60216-1-2	Reference:	EN 50618: 2014 IEC 60228 – EN 50395 – EN 50396 EN 60332-1-2 – EN 61034-1-2 EN 50255-1 – EN 60216-1-2

TIPO	SEZIONE	DIAMETRO MAX FU CONDOTTORE	SPESORE ISOLANTE 1°/2°	DIAMETRO ESTERNO	RESISTENZA ELETTRICA MAX A 20°C MAX RESIST. IEC RESISTANCE AT 20°C	REATTANZA IN OHM
TYPE	SECTION	MAX WIRE DIAMETER OF CONDUCTOR	INSULATION THICKNESS 1°/2°	OVERALL DIAMETER	RAME STAGNATO TINNED COPPER	REACTANCE (M OHM)
	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	Ω/Km	Ω/Km
TÜV SOLAR CABLE	1x2.50	0.26	0.70 / 0.80	5.00	8.21	/
	1x4.00	0.31	0.70 / 0.80	5.40	5.09	0.143
	1x6.00	0.31	0.70 / 0.80	6.20	3.29	0.128
	1x10.00	0.41	0.70 / 0.80	7.40	1.85	0.119

Tolleranza sui diametri: in accordo con le norme di riferimento TÜV  
Dimension tolerance: according with TÜV standards

SEZIONE	Portata amperometrica dei cavi PV in funzione del tipo d'installazione (T=60°C) Current carrying capacity of PV cables in accordance to the installation (T=60°C)			
	Cavo singolo – posa in aria Single cable free in air	Cavo singolo – posa su superficie Single cables on surface	Cavi in fascio – posa su superficie To cables adjacent on surface	(A)
1 x 2.5	41	39	33	
1 x 4.0	55	52	44	
1 x 6.0	70	67	57	
1 x 10	95	92	79	

**Proprietà**  
La speciale costruzione e i materiali impiegati, consentono al cavo di soddisfare i requisiti più recenti previsti per i sistemi fotovoltaici in accordo alle normative EN50618 – EN 60216-1-2 – EN 61034. L'isolamento garantisce un elevato potere isolante e notevole resistenza all'invecchiamento termico, nonché proprietà di resistenza all'abrasione ed alla fessura, resistenza all'ozono, resistenza ai raggi UV ed è facilmente rimovibile dall'isolamento interno per facilitare operazioni di connessione.

**Proprietà**  
The cable is able to satisfy the latest requirements fixed for PV systems in accordance to the following Reference Standards: EN50618 – EN 60216-1-2 – EN 61034. The special insulation has qualities of high abrasion resistance to high temperature. Moreover the insulation has property of flame retardant and ozone resistance. The cable is UV-resistant and the external sheath can be removed from the inner layer of extruded insulation.

**ENCO** S.p.A. CAVI CONDUTTORI ELETTRICI  
Via Salaria, 304 - 00137 Montebello (RM) Italy  
Tel. +39 0645 86181 - Fax +39 0645 86118  
www.enco.it - info@enco.it

ESTABLISMENTO DIVISION  
Via Salaria, 304 - 00137 Montebello (RM) Italy  
Tel. +39 0645 86181 - Fax +39 0645 86118  
www.enco.it - info@enco.it

## TÜV SOLAR CABLE (H1Z2Z2-K) APPENDIX

E2 - 01.03.2017



The H1Z2Z2-K is to be considered Harmonized because has been tested and certified in accordance with the requirements of the harmonized standard EN 50618: 2014 (quoted in the official document of the European Union that lists the harmonized standards to the LVD Directive 2006/95/EC (Low Voltage Directive)).  
Use and type of installation for applications in photovoltaic (HD 60364-7-712). For fixed installation indoors and outdoors. Installation of walls, walkways, pipes, conduits, and similar systems. The cables are suitable for use with Class II. They are inherently short-circuit and earth fault proof acc. to HD 60364-5-52.

Chemical properties	acc. to EN 50255-1 Annex B (EN 50267-2-1, EN 50267-2-2, IEC 60754-1, IEC 60754-2)
Halogen-free	acc. to IEC 61034, EN 61034 (Light Transmittance > 90%)
Low Smoke Emission	
Weather resistance	Ozone resistance: acc. to EN 50618-4-13 Test Method A, EN 50396 clause 8.1.3 Test Method B Weathering/UV resistance: acc. to EN 50618 Annex E, EN 50395-4-17 (Method A), EN ISO 4892-1-2 Tensile strength and elongation at break after 720h (200 Cycles) of exposure to UV light: acc. to EN 50618:2014 Annex B: 7 days, 23° C (H-Oxalic Acid, N-Sodium Hydroxide) as for EN 60811-4-04
Acid and alkaline resistance	Flame propagation acc. to EN 60332-1-2 (Single Cable Flame Test)
Resistance to fire	Tested according to CPR EN 50399 Common test methods for cables under fire conditions Heat release and smoke production measurement on cables during flame spread test, UNI EN 13501-6 Flammability class: Du Smoke emission class: s2 Drop particle class: d2
Mechanical properties	for insulation and sheath before ageing acc. to EN 50618 Annex B (test acc. To EN 60811-5D1), tensile strength > 8 N/mm <sup>2</sup> elongation at break for insulation and sheath > 125 %
Shrinkage test on sheath	acc. to EN 50618, Table 2: <2% (test acc. to EN 60811-5D3)
Dynamic Penetration Test	acc. to EN 50618
Durability of Print	acc. to EN 50618 (test acc. to EN 50396)
Direct Burn	Impact test resistance of single conductor type USE and USE-2 cables (tested acc. to UL254) Rodent resistance safety can be optimized by utilizing protective hoses and cables with spinning or braided metallic coatings
Water resistance	ADB category Tested with successful acc. to EN 50255-2-21 "Anneal E" (after immersion for 100 days / 2 400 h to 50°C): • Voltage at 1 kV AC on cable in water at 50°C during 100 days without any breakdown • Mechanical properties on sheath after immersion 100 days at 50°C • Minimum tensile strength after immersion 100 days at 50°C > 7 MPa • Minimum elongation at break after immersion 100 days at 50°C > 200% • Water absorption on sheath after immersion 100 days at 50°C less than 40% • Insulation resistance tests with a minimum resistivity of 10 <sup>11</sup> Ω.cm measured after 14 days in water at 50°C
Long term resistance of insulation to d.c.	acc. to EN 50618, Table 2 test acc. to EN 50395 clause 9 Cable immersed in water containing 1% NaCl for 240h : water temperature: 85°C s. 5. Voltage applied: 1.8 kV D.C.
Thermal properties	acc. to EN 50618: 25 years the cables are designed to operate at a normal max conductor temperature of 90°C, but for a maximum of 20.000 hours in max. conductor temperature of 120 °C at a max. ambient temperature of 90 °C is permitted. (test according to EN 60216-1-2 and EN 60216-2)
Life time	
Max. short circuit temperature	250°C (for 5 sec.)
Resistance to cold	EN 50618, Table 2: Cold Bend Test at -40°C acc. to EN 60811-5D4; Cold Elongation Test at -40°C acc. to EN 60811-5D5; Cold Impact Test at -40°C acc. to EN 50618 Annex C and EN 60811-5D6; Damp-Heat Test Acc. to EN 50618, Table 2 (test acc. to EN 60068-2-78) : 90°C for 1.000h and min. 85% humidity

**ENCO** S.p.A. CAVI CONDUTTORI ELETTRICI  
Via Salaria, 304 - 00137 Montebello (RM) Italy  
Tel. +39 0645 86181 - Fax +39 0645 86118  
www.enco.it - info@enco.it

ESTABLISMENTO DIVISION  
Via Salaria, 304 - 00137 Montebello (RM) Italy  
Tel. +39 0645 86181 - Fax +39 0645 86118  
www.enco.it - info@enco.it