

“MegaSolar: Atividade 1”

Entregável D1.1

Relatório do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema

Megasolar é financiado por:



THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION WHICH IS CONFIDENTIAL IN NATURE AND PROPRIETARY TO EFACEC ENERGIA - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S.A. AND SHALL NOT BE REPRODUCED OR TRANSFERRED TO OTHER DOCUMENTS OR REFERENCED, OR DISCLOSED IN ANY MANNER TO ANY PERSON OR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS FURNISHED WITHOUT THE PRIOR EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF EFACEC ENERGIA - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S.A.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	1/135

Índice

ÍNDICE	2
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	8
REVISÕES.....	9
1. DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS.....	10
2. SUMÁRIO EXECUTIVO.....	11
3. PROSPEÇÃO E VIGILÂNCIA TECNOLÓGICA	13
3.1 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS CONTENTORIZAÇÃO VS. OUTDOOR	15
3.1.1 <i>Soluções com plataforma skid</i>	30
3.2 SUBSISTEMA - APARELHAGEM DE MÉDIA TENSÃO	37
3.2.1 <i>Estado da arte, Subestações Fotovoltaicas</i>	37
3.2.2 <i>Estado da arte, Aparelhagem de média tensão com envolvente para utilização exterior</i>	40
3.2.3 <i>Estado da arte, Sensorização da aparelhagem de média tensão</i>	43
3.2.4 <i>Standards Aplicáveis, Aparelhagem de média tensão</i>	44
3.3 SUBSISTEMA - TRANSFORMADOR BT/MT.....	45
3.3.1 <i>Transformadores secos</i>	45
3.3.2 <i>Utilização de óleo biodegradável em transformadores imersos</i>	46
3.3.3 <i>Utilização de chapa amorfa</i>	48
3.3.4 <i>Mitigação de ruído</i>	51
3.3.5 <i>Falhas em transformadores</i>	52
3.3.6 <i>Sensorização em transformadores de distribuição</i>	53
3.3.7 <i>Energização diária e otimização para o perfil de carregamento solar</i>	56
3.4 SUBSISTEMA - INVERSOR.....	58
3.4.1 <i>Estudo de Topologias de Conversores de Eletrónica de Potência</i>	58
3.4.1.1 Topologias de conversores de potência cc-ca não isolados	61
3.4.1.2 Topologias de conversores de potência cc-cc isolados	72
3.4.1.3 Semicondutores de Potência	83
3.4.2 <i>Armazenamento de Energia Distribuído</i>	91
3.4.3 <i>Inteligência Artificial</i>	95
3.4.4 <i>Digitalização & Monitorização</i>	96
3.5 SISTEMAS DE CONTROLO E DE GESTÃO DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS	97
4. ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS TÉCNICOS E NORMATIVOS	98
4.1 RESUMO DOS REQUISITOS NORMATIVOS	98
4.2 TRANSFORMADOR BT/MT	99
4.2.1 <i>Requisitos Técnicos</i>	99
4.2.2 <i>Requisitos Normativos</i>	100

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	2/135

4.2.2.1	Legislação de Ruído.....	102
4.2.2.2	Sustentabilidade e eficiência energética	104
4.3	SUBSISTEMA – INVERSOR.....	105
4.3.1	<i>Controlabilidade, Integração e Interação com a Rede Elétrica</i>	105
4.3.1.1	Requisitos Normativos para as Unidades Geradoras com base em Recurso Renovável 105	
4.3.1.2	Requisitos Normativos para as Unidades de Armazenamento de Energia no RESP	106
4.3.2	<i>Sensorização, Monitorização e Controlo Remoto</i>	107
4.3.3	<i>Requisitos Normativos de Segurança</i>	108
4.3.4	<i>Compatibilidade Eletromagnética</i>	109
4.3.5	<i>Definição Sumária dos Requisitos Gerais</i>	109
4.3.6	<i>Normas aplicáveis para a caracterização de materiais e solução</i>	109
5.	MATERIAIS DE REVESTIMENTO E SOLUÇÕES DE ARREFECIMENTO	110
5.1	SOLUÇÕES DE REVESTIMENTO E TÉCNICAS EM USO	110
5.2	GESTÃO TÉRMICA E TECNOLOGIAS EMERGENTES	113
5.2.1	<i>Soluções de Arrefecimento</i>	113
5.2.2	<i>Prevenção da condensação</i>	121
6.	ENQUADRAMENTO COMERCIAL	123
6.1	PORTUGAL.....	124
6.2	ESPAÑA.....	124
6.3	HOLANDA	125
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	3/135

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	4/135

Lista de Figuras

FIGURA 1 - PLATAFORMA DE PARTILHA DOCUMENTAL PARA A VIGILÂNCIA TECNOLÓGICA.....	13
FIGURA 2 - EFASOLAR PV STATION EM BETÃO.	15
FIGURA 3 - EFASOLAR PV STATION MODULAR.....	16
FIGURA 4 - EFASOLAR PV STATION 20 PÉS EM CONTENTOR.	17
FIGURA 5 - EFASOLAR PV STATION 40 PÉS EM CONTENTOR ADAPTADO.	18
FIGURA 6 - TMEIC - PV STATION ATÉ 10 MW.....	19
FIGURA 7 - HUAWEI – PV STATION ATÉ 9 MVA.....	20
FIGURA 8 - HUAWEI – SOLUÇÕES DE ACOPLAMENTO EM DC.	20
FIGURA 9 - HUAWEI - SOLUÇÕES ESS.....	21
FIGURA 10 - POWER ELECTRONICS – PV STATION EM SKID ATÉ 3,8 MVA – IP55.	22
FIGURA 11 - SUNGROW – PV STATION EM SKID ATÉ 6,8 MVA – INVERSOR IP55; OUTROS IP54.	23
FIGURA 12 - INGECON - PVSTATION DE 1,1 ATÉ 7,2 MVA EM SKID PARA EXTERIOR – IP54.	24
FIGURA 13 - INGECON – PVSTATION DE 2,5 ATÉ 7,2 MVA EM SKID PARA EXTERIOR – IP54.	25
FIGURA 14 - GAMESA – PVSTATION ATÉ 9,4 MVA EM SKID PARA EXTERIOR – IP54.	26
FIGURA 15 - FIMER – CONVERSORES BIDIRECIONAIS ATÉ 2 MVA EM ARMÁRIOS PARA EXTERIOR – IP66.	27
FIGURA 16 - FIMER – CONVERSORES BIDIRECIONAIS ATÉ 5 MVA EM ARMÁRIOS PARA EXTERIOR – IP66.	28
FIGURA 17 - SOLUÇÕES PARA “STORAGE” ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.	29
FIGURA 18 - CENTRAL INVERSORA COM SKID - FIMER COMPACT SKID IEC VERSION (1500 VDC) PVS980-CS [26].	30
FIGURA 19 - CENTRAL INVERSORA COM SKID – SUNGROW SG6250HV-MV/SG6800HV-MV.....	31
FIGURA 20 - PLATAFORMA SKID FORNECEDOR IQUORD [102].....	31
FIGURA 21 - PLATAFORMA SKID FORNECEDOR IGETEAM [98].	32
FIGURA 22 - PLATAFORMA SKID FORNECEDOR SMA E WTC AUSTRALIA [103].	32
FIGURA 23 - PLATAFORMA SKID FORNECEDOR POWER SOLUTIONS [104].	33
FIGURA 24 - EXEMPLO DE TRANSPORTE DA PLATAFORMA SKID E RESPECTIVOS EQUIPAMENTOS HTTP://WWW.SATCON.COM/EN/TECHNOLOGIES/POWERGATE-PLUS ACESSO A 27/10/2021	34
FIGURA 25 - PORMENOR DA PASSAGEM DE CABOS SUBTERRÂNEAS E DEBAIXO DE UM SKID.	34
FIGURA 26 - EXEMPLO DE PLATAFORMA SKID HTTPS://SROGROUP.COM.AU/FABRICATION/SKID-BASED-EQUIPMENT/ ACESSO A 28/10/2021	35
FIGURA 27 - PORMENOR DA MONTAGEM DE UM TRANSFORMADOR MT NA PLATAFORMA.	36
FIGURA 28 - PORMENOR DA JUNÇÃO SOLDADA E ACABAMENTO DE GALVANIZAÇÃO.	36
FIGURA 29 - SKID ASSENTE EM BASE DE BETÃO SÓLIDO (A) E SKID ASSENTO EM SAPATAS E COM ELEVAÇÃO (B).	37
FIGURA 33 - QUADROS MT - NORMAFIX - EFACEC.	38
FIGURA 34 - QUADROS MT - FLUOFIX - EFACEC.....	39
FIGURA 35 - QUADROS MT - SAFELINK - ABB.....	40
FIGURA 36 - QUADROS MT - FLUSARC 36 - SCHNEIDER.....	41
FIGURA 37 - QUADROS MT - GRAU DE PROTEÇÃO AMBIENTAL.	41
FIGURA 38 - QUADROS MT – CLASSIFICAÇÃO DO ARCO INTERNO IAC.....	42
FIGURA 39 - QUADRO MT COM SOLUÇÃO INTEGRADA DE TRANSFORMADOR S.A.	43
FIGURA 40 - SENSORES DE CORRENTE (TIS).	43
FIGURA 41 - SENSORES DE TENSÃO (TTS).	44
FIGURA 43 - PRINCIPAIS MARCOS NO DESENVOLVIMENTO DE ÉSTERES NATURAIS PARA TRANSFORMADORES [47] (IMAGEM DE [34]).	47
FIGURA 44 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS DIFERENÇAS ENTRE UMA ESTRUTURA CRISTALINA (À ESQUERDA) E AMORFA (À DIREITA) [58].	49
FIGURA 45 - CURVAS TÍPICAS DE HISTERESE (À ESQUERDA) E DE EFICIÊNCIA VS. CARREGAMENTO (À DIREITA) DO METAL AMORFO E AÇO ELÉTRICO [55].	49
FIGURA 46 - POTENCIAIS CAUSAS DE MAIOR TAXA DE OCORRÊNCIA DE FALHAS [53].	50
FIGURA 47 - VISTA EM CORTE DE UMA PERNA DA PARTE ATIVA, COM ILUSTRAÇÃO DAS FORÇAS QUE O ENROLAMENTO DA BAIXA TENSÃO EXERCEM SOBRE AS CHAPAS DO CIRCUITO MAGNÉTICO [53].	50
FIGURA 48 - COMPARAÇÃO DAS PERDAS (À ESQUERDA) E NÍVEIS DE RUÍDO (À DIREITA) ENTRE OS MATERIAIS AMORFOS (SA1 E HB1) E CHAPA MAGNÉTICA SI-FE, PARA DIFERENTES NÍVEIS DE INDUÇÃO [33].	51

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	5/135

FIGURA 49 – TRANSMISSÃO DE VIBRAÇÃO NUM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA IMERSO.....	52
FIGURA 50 - FACTOR DE CARGA VS. HORAS ANO PARA UM TRANSFORMADOR ACOPLADO A UMA CENTRAL PV [106].	57
FIGURA 51 - RAMPA DE MAGNETIZAÇÃO DO TRANSFORMADOR PELO MÉTODO "SOFT-START".	58
FIGURA 52 - CONFIGURAÇÃO MICRO-INVERSOR: (A) PARALELO; (B) SÉRIE.	59
FIGURA 53 - CONFIGURAÇÃO INVERSOR: (A) STRING; (B) MULTISTRING.....	60
FIGURA 54 - CONFIGURAÇÃO INVERSOR CENTRAL.....	61
FIGURA 55 - TOPOLOGIAS INVERSORAS: (A) HERIC; (B) H5.....	62
FIGURA 56 - TOPOLOGIAS INVERSORAS DO TIPO H6: (A) H6D1; (B) H6D2; (C) VARIAÇÃO H6D1; (D) VARIAÇÃO H6D2.	62
FIGURA 57 - TOPOLOGIA NPC TRADICIONAL: (A) DIODE NPC (DNCP) DE 5 NÍVEIS; (B) FLYING CAPACITOR NPC (FC-NPC) DE 5 NÍVEIS; (C) ACTIVE NPC (ANPC) DE 3 NÍVEIS.	63
FIGURA 58 - ACTIVE NPC DE 5 NÍVEIS: (A) ESTRUTURA TRADICIONAL; (B) VARIAÇÃO I; (C) VARIAÇÃO II; (D) VARIAÇÃO III; (E) VARIAÇÃO IV; (E) VARIAÇÃO V.....	64
FIGURA 59 - OUTRAS VARIANTES DA TOPOLOGIA ANPC DE 5 NÍVEIS: (A) 7-SWITCH ANPC (7S-ANPC); (B) DUAL FLYING CAPACITOR NPC (DFC-ANPC).	64
FIGURA 60 - TOPOLOGIAS INVERSORAS STACKED NPC DE 3 NÍVEIS: (A) DIODE (DS-NPC); (B) ACTIVE (AS-NPC).	65
FIGURA 61 - TOPOLOGIAS INVERSORAS NPC: (A) POSITIVE NEGATIVE NPC (PN-NPC); (B) NEGATIVE POSITIVE NPC (NP-NPC); (C) T-TYPE NPC.	65
FIGURA 62 - NOVAS VARIANTES DE TOPOLOGIAS INVERSORAS DE 5 NÍVEIS: (A) VARIANTE I; (B) PACKED U-CELL (PUC).	66
FIGURA 63 - TOPOLOGIAS INVERSORAS DE 5 NÍVEIS: (A) BASEADA EM SWITCHED CAPACITOR; (B) COM CAPACIDADE DE MITIGAÇÃO A FALHAS, VARIAÇÃO I.....	67
FIGURA 64 - TOPOLOGIAS INVERSORAS DE 5 NÍVEIS: (A) COM CAPACIDADE DE MITIGAÇÃO A FALHAS, VARIAÇÃO II (SWITCH BIDIRECIONAL); (B) FLYING-CAPACITOR-CLAMPED COM ESTRUTURA MODULAR EM PONTE SWITCHED CAPACITOR.	67
FIGURA 65 - TOPOLOGIAS INVERSORAS DE 5 NÍVEIS: (A) VARIAÇÃO III, CONSIDERANDO SWITCH BIDIRECIONAL; (B) VARIAÇÃO IV, CONTEMPLANDO UM CONVERSOR BACK-END CC-CC.....	68
FIGURA 66 - TOPOLOGIAS MULTINÍVEL RARAMENTE UTILIZADAS EM APLICAÇÕES SOLARES FOTOVOLTAICAS: (A) SWITCHED SERIES/PARALLEL SOURCES (SSPS); (B) NILKAR; (C) TWO-SWITCH ENABLED LEVEL GENERATION (2SELG); (D) REVERSING VOLTAGE (RV); (E) SERIES CONNECTED SWITCHED SOURCES (SCSS); (F) CASCADED "BIPOLAR SWITCHED CELLS" (CBSC).	69
FIGURA 67 - TOPOLOGIA NPC DE 5 NÍVEIS EM PONTE COMPLETA (H-NPC).	69
FIGURA 68 - TOPOLOGIAS INVERSORAS MULTINÍVEL EM CASCATA: (A) PONTE H (CHB); (B) DIODE NPC (CH-NPC).	70
FIGURA 69 - MODULAR MULTILEVEL CONVERTER (MMC): (A) ESTRUTURA BASE TRIFÁSICA; (B) VARIANTE DE SUBMÓDULO APRESENTADA EM [33].	71
FIGURA 70 - ESTRUTURA MMC EM MEIA PONTE, CONSIDERANDO SUBMÓDULOS COM TOPOLOGIA: (A) MEIA PONTE; (B) PONTE COMPLETA; (C) PONTE COMPLETA BACK-TO-BACK.....	72
FIGURA 71 - ESQUEMA DE CONEXÃO DE CONVERSORES CC-CC PARA UMA CONFIGURAÇÃO MULTISTRING: (A) EM PARALELO; (B) EM CASCATA.	73
FIGURA 72 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO PARA CONEXÃO DE CONVERSORES CC-CC NÃO ISOLADOS EM PARALELO.....	73
FIGURA 73 - TOPOLOGIAS TRADICIONAIS DE CONVERSORES CC-CC: (A) BUCK; (B) BOOST; (C) BUCK-BOOST.....	74
FIGURA 74 - TOPOLOGIA BOOST EM CASCATA.	74
FIGURA 75 - TOPOLOGIAS TRADICIONAIS DE CONVERSORES CC-CC: (A) SEPIC; (B) ZETA; (C) CUK.	75
FIGURA 76 - CONVERSOR CC-CC NÃO ISOLADO DE 3 NÍVEIS: (A) BOOST SIMÉTRICO; (B) FLYING CAPACITOR BOOST; (C) BUCK-BOOST SIMÉTRICO; (D) BUCK-BOOST ASSIMÉTRICO.	76
FIGURA 77 - CONVERSORES CC-CC INTERLEAVED: (A) BOOST; (B) BUCK-BOOST.	76
FIGURA 78 - TOPOLOGIAS CONVERSORES CC-CC ISOLADAS: (A) FORWARD; (B) FLYBACK; (C) PUSH-PULL.	77
FIGURA 79 - TOPOLOGIAS DE CONVERSORES CC-CC COM 2 ESTÁGIOS: (A) FORWARD-BOOST; (B) PUSH-PULL-BOOST.....	78
FIGURA 80 - CONVERSORES CC-CC ISOLADOS: (A) DUAL ACTIVE BRIDGE (DAB); (B) HALF BRIDGE.	79
FIGURA 81 - CONVERSOR CC-CC ISOLADO DO TIPO DUPLO HALF BRIDGE.	79
FIGURA 82 - TOPOLOGIAS CC-CC ISOLADAS: (A) TRIPLE ACTIVE BRIDGE; (B) QUAD ACTIVE BRIDGE.	80
FIGURA 83 - TOPOLOGIAS CC-CC ISOLADAS NPC BASEADAS EM DAB, CONTEMPLANDO NO ESTÁGIO RETIFICADOR: (A) PONTE COMPLETA; (B) NPC.	81
FIGURA 84 - TOPOLOGIAS CC-CC ISOLADAS MODULARES: (A) POSSÍVEIS ESQUEMA DE CONEXÃO; (B) CONVERSOR INPUT SERIES OUTPUT PARALLEL (ISOP) DUAL ACTIVE BRIDGE (DAB).	81
FIGURA 85 - ESTRUTURA BASE DE UM CONVERSOR MMC CC-CC TRIFÁSICO.....	82
FIGURA 86 - CONVERSOR MMC CC-CC BASEADO EM 4 BLOCOS CAPACITOR CLAMPED.	82

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	6/135

FIGURA 87 - CONVERSOR MMC CC-CC TRIFÁSICO COM SUBMÓDULOS BASEADOS EM CONVERSORES DAB.	83
FIGURA 88 - COMPARAÇÃO ENTRE A TENSÃO DE RUTURA E A RESISTÊNCIA EM DISPOSITIVOS COM TECNOLOGIAS DE SI, SIC E GAN.	84
FIGURA 89. DIVERSAS APLICAÇÕES E O ENQUADRAMENTO TECNOLOGIA DAS TECNOLOGIAS SIC E GAN CONSIDERANDO A POTÊNCIA DE OPERAÇÃO E A FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO.	85
FIGURA 90. COMPARAÇÃO, RELATIVAMENTE ÀS TECNOLOGIAS SIC, GAN E MOS, CONSIDERANDO COMO PARÂMETROS A EFICIÊNCIA, A DENSIDADE DE POTÊNCIA, A ROBUSTEZ, A FACILIDADE DE UTILIZAÇÃO, A RELAÇÃO PREÇO-DESEMPENHO E O PORTEFÓLIO DE APLICAÇÕES.	86
FIGURA 91. MÓDULO DE SIC DA EMPRESA WOLFSPEED, MODELO CAS300M17BM2.	87
FIGURA 92. MÓDULO DE SIC DA EMPRESA SEMIKRON, MODELO SKM260MB170SCH17.	87
FIGURA 93. MÓDULO DE SIC DA EMPRESA ROHM, MODELO BSM600D12P3G001.	87
FIGURA 94. MÓDULO DE SIC DA EMPRESA APEX MICROTECHNOLOGY, MODELO SA110.	88
FIGURA 95. GAN DA EMPRESA TRANSPHORM, MODELO TP65H150LSG.	88
FIGURA 96. GAN DA EMPRESA TEXAS INSTRUMENTS, MODELO LMG352XR030-Q1.	89
FIGURA 97. IGBT G7 DA EMPRESA SEMIKRON, MODELO SEMIX453GB07E3P.	89
FIGURA 98. RELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS SCR, IGBT, BJT, MOSFET, SIC E GAN, NO QUE CONCERNE A POTÊNCIA DE OPERAÇÃO E FREQUÊNCIA DE COMUTAÇÃO.	90
FIGURA 99. RELAÇÃO ENTRE TENSÃO GATE-SOURCE (VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS) PARA AS TECNOLOGIAS SIC CASCODE, SI IGBT+SJFET, G2 SIC MOSFET R, G2 SIC MOSFET W E G3 SIC MOSFET W.	91
FIGURA 100 – EXAMPLES OF HYBRID PV+STORAGE OPERATIONAL PROFILES AND FUNCTIONALITIES [21].	93
FIGURA 101 - "DC COUPLED PV + STORAGE": TOPOLOGIA DE POTÊNCIA E CONTROLO.	94
FIGURA 102 - FIMER COUPLED STORAGE SYSTEM [26].	95
FIGURA 103 – OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS.	98
FIGURA 104 - PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NO ÂMBITO DE I&D PARA A MONITORIZAÇÃO DE SISTEMAS PV [12].	108
FIGURA 105 - EXEMPLOS DE ARMÁRIOS PARA ELETRÓNICA DE POTÊNCIA.	111
FIGURA 106: PAINÉIS DE ISOLAMENTO A VÁCUO - VIPS.	112
FIGURA 107: PAINÉIS SANDWICH COM NÚCLEO EM PET.	112
FIGURA 108: EXEMPLO DA CONSTITUIÇÃO DE PAINEL COM NÚCLEO EM CORTIÇA.	113
FIGURA 109: EXEMPLO DAS MANTAS DE AEROGEL.	113
FIGURA 110 - INVERSOR SMA SOLAR TECHNOLOGY INSTALADO NUMA ZONA DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS, [94].	114
FIGURA 111 - MÉTODOS DE ARREFECIMENTO UTILIZADOS RELACIONANDO COM AS PERDAS E POTÊNCIA TOTAL DO EQUIPAMENTO.	115
FIGURA 112 - UTILIZAÇÃO DE CONVECÇÃO FORÇADA PARA O ARREFECIMENTO DO INVERSOR.	116
FIGURA 113 - ESQUEMA DE ARREFECIMENTO COM ABORDAGEM HÍBRIDA (LIQUID-COOLING AND FORCED AIR CONVECTION) E RESPECTIVOS IPS, [98].	117
FIGURA 114: ESQUEMA EXEMPLO DA TROCA DE CALOR ENTRE O AMBIENTE INTERIOR E EXTERIOR DE INVERSOR.	118
FIGURA 115: COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM FUNÇÃO DO TIPO DE TECNOLOGIA.	119
FIGURA 116 - GRÁFICO PSICOMÉTRICO.	122
FIGURA 117 - RESISTÊNCIAS DE AQUECIMENTO EM FORMA DE MANTA TÉRMICA (A), COM DISSIPADOR PARA CONVECÇÃO NATURAL (B) E COM VENTILADOR (C).	123

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	7/135

Lista de Tabelas

TABELA 1 – PONTOS DE COMBUSTÃO E DE INFLAMAÇÃO PARA ALGUNS FLUIDOS DE TRANSFORMADOR [34][52]	47
TABELA 2 – COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS MINERAIS E DOS ÓLEOS VEGETAIS [34][31]	48
TABELA 3 – CATEGORIZAÇÃO DOS MODOS DE FALHA EM TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO [78].....	53
TABELA 4 - PARÂMETROS A MONITORIZAR E VALORES LIMITE PARA DIFERENTES TIPOS DE FUNCIONAMENTO [78].....	54
TABELA 5 - COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES APRESENTADAS ATUALMENTE NA LITERATURA [78].	55
TABELA 6 – SEMICONDUCTOR BANDGAP COMPARISON	84
TABELA 7 – QUADRO RESUMO DOS REQUISITOS NORMATIVOS.....	99
TABELA 8. TIPOS DE SOLICITAÇÕES E NORMAS RELACIONADAS	101
TABELA 9. CONDIÇÕES NORMAIS DE OPERAÇÃO - IEC 60076-1 (2011).....	102
TABELA 10. ALGUNS REQUISITOS GERAIS - IEC 60076-1 (2011).....	102
TABELA 11 - LEGISLAÇÃO RUÍDO.....	103
TABELA 12: TIPOS DE SISTEMAS/COMPONENTES PARA DISSIPACÃO DE CALOR.....	120

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	8/135

Revisões

Versão	Data	Comentários	Autor
1.0	2019-12-05	Versão inicial	EFACEC
2.0	2021-11-04	Versão final (por consolidar)	UMinho

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	9/135

1. Definições e Abreviaturas

DSO	Distribution System Operator
PCC	Point of Common Coupling
PCE	Power Conversion Equipment
PGE	Parque Gerador de Eletricidade
PPC	Power Plant Controller
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
TSO	Transmission System Operator
UGE	Unidade de Geração de Eletricidade
RfG	Request for Generators
IA	Inteligência Artificial
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
SiC	Silicon Carbide
GaN	Gallium Nitride
DAB	Dual Active Bridge
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NPC	Neutral Point Clamped
ANPC	Active Neutral Point Clamped
FC	Flying Capacitor
THD	Total Harmonic Distortion
HVDC	High-Voltage Direct Current
MVDC	Medium-Voltage Direct Current
CHB	Cascade H-Bridge

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	10/135

2. Sumário Executivo

O projeto visa a investigação e o desenvolvimento de uma nova gama de soluções de conversão para centrais fotovoltaicas de grande potência (> 50 MW), incorporando numa única plataforma de conversão, as diversas vertentes do circuito de conversão e integração na rede, nomeadamente: inversor, transformador, aparelhagem de média tensão (MT), sensorização e plataformas de controlo digital distribuído, assegurando a distribuição e coordenação operacional, com vista à maximização do potencial dos mesmos. O âmbito de estudo, investigação e desenvolvimento aqui proposto incidirá naturalmente em todas as vertentes acima mencionadas, através da procura de novas soluções para o desenvolvimento dos módulos de potência, transformador e plataformas de controlo digital e algoritmia, até ao projeto da plataforma autoportante.

Efetivamente, consequência do contínuo e cada vez mais relevante desenvolvimento associado à integração massiva e controlada da componente renovável no parque eletro-produtor, tornasse evidente a evolução que tem coexistido, numa vertente mais tecnológica, dos equipamentos que constituem este tipo de sistemas. Consequentemente, é objetivo global desta atividade (A1), revista no presente documento, a identificação das melhores práticas (normativas e/ou diretivas), tecnologias e metodologias, que ao dia de hoje são adoptadas por soluções concorrentes e alternativas e que visão o cumprimento dos mesmos objetivos. Nesse sentido, no âmbito deste documento, é apresentada esta análise sob a vigência de 2 grandes vetores, nomeadamente:

- 1) Prospecção e Vigilância Tecnológica (capítulo 3);
- 2) Especificação dos Requisitos Técnicos e Normativos (capítulo 4).

Em 1 serão identificadas as tecnologias, metodologias e materiais que caracterizam o estado-da-arte no que respeita à solução global e aos subsistemas. Adicionalmente, igualmente importante, é estruturada a plataforma para a vigilância tecnológica pormenorizada e contínua que permita ao longo do projeto a avaliação contínua do desempenho técnico e carácter diferenciador da solução preconizada no âmbito deste projeto em comparação com as soluções semelhantes que possam aparecer no mercado ou, possibilitar a revisita dos requisitos técnicos decorrentes de alteração ou aparecimento de legislação específica e aplicável decorrentes.

Em 2 encontram-se identificados os requisitos normativos e diretivas funcionais e operacionais que, ao dia de hoje, independentemente do grau de maturidade e desenvolvimento da tecnologia associada a cada subsistema, estes deverão cumprir e, consequentemente, devem obrigatoriamente ser consideradas na sua especificação e consequente desenvolvimento.

Em 3 é apresentada a propeção e vigilância tecnológica, incluindo soluções construtivas, os subsistemas de aparelhagem de média tensão, o transformador BT/MT e o inversor, assim como os sistemas de controlo e de gestão de centrais fotovoltaicas.

Em 4 é apresentada a especificação dos requisitos técnicos e normativos, incluindo um resumo dos requisitos normativos, e sobre o transformador BT/MT e sobre o subsistema inversor.

Em 5 são apresentados materiais de revestimento e soluções de arrefecimento, focando em soluções de

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	11/135

revestimento e técnicas em uso e a gestão térmica e tecnologias emergentes.

Por fim, em 6 é apresentado um enquadramento comercial que visa contextualizar o projeto numa visão de mercado atual, assim como dotar esta análise das ferramentas necessárias para a delimitação e identificação dos requisitos alvo a cada mercado e que possam ou devam ser considerados ao nível da especificação do sistema/subsistemas e, conseqüentemente, do projeto.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	12/135

3. Prospecção e Vigilância Tecnológica

Atendendo à especificidade técnica e inovadora do projeto, torna-se evidente que, de forma complementar ao estudo e identificação do estado da arte para a solução global e subsistemas, é também necessário assegurar uma vigilância tecnológica pormenorizada e contínua que permita ao longo do projeto a avaliação contínua do desempenho técnico e carácter diferenciador da solução preconizada no âmbito deste projeto em comparação com as soluções semelhantes que possam aparecer no mercado ou, possibilitar a revisita dos requisitos técnicos decorrentes de alteração ou aparecimento de legislação específica e aplicável decorrentes, por exemplo, das alterações de paradigma de gestão do sistema electroprodutor. Desta forma, pretende-se minimizar o risco associado ao aparecimento de soluções alternativas concorrentes por parte de outros fabricantes nacionais e internacionais, permitindo detetar e analisar o aparecimento de novas soluções concorrentes no sentido de verificar a necessidade de adaptar e redireccionar os objetivos técnicos (requisitos técnicos funcionais) das soluções que se pretendem desenvolver. Permitirá igualmente, já numa fase mais avançada do projeto, a análise de patenteabilidade das soluções e/ou metodologias decorrentes dos desenvolvimentos do projeto.

Neste sentido, aos 4 copromotores do projeto, é disponibilizado o acesso a uma plataforma de partilha de documentação, baseada na plataforma Microsoft® Teams, gerida pelo copromotor responsável pela gestão do projeto, onde a todos os copromotores é permitido e incentivada a partilha de informação que considerem relevante no seio deste tópico. O alerta para a inclusão de nova informação relevante aos restantes copromotores é automaticamente gerada pela plataforma para todos os membros da equipa.

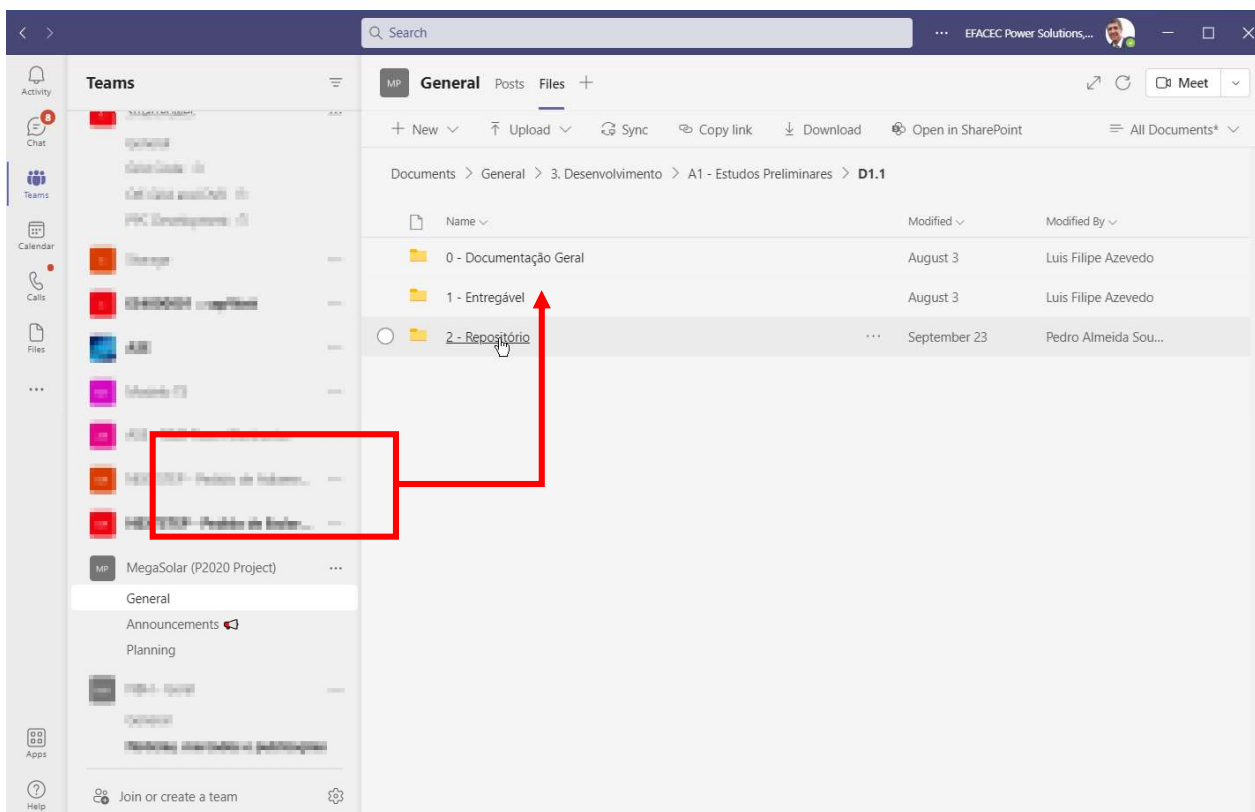


Figura 1 - Plataforma de partilha documental para a Vigilância Tecnológica.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	13/135

instalada. Desta forma constata-se que nesta década o governo espanhol prevê instalar um total de 25,4 GW apenas em centrais fotovoltaicas.

Em paralelo com o investimento na área solar, o governo espanhol tem o objetivo de acrescentar ao setor elétrico, um total de 6 GW de potência instalada em tecnologia baseada em sistemas de armazenamento. A sua inclusão no plano estratégico, também visa aumentar a capacidade de geração e gestão do seu setor elétrico.

6.3 Holanda

A Holanda foi um dos países europeus que mais tarde avançou com políticas de investimento em centrais produtoras de energia proveniente de fontes renováveis. Não obstante esse facto e como forma mitigadora para acelerar a redução da emissão de gases com efeito de estufa, o governo holandês definiu em 2019 o objetivo de atingir os 55% de redução de gases até 2030, quando outros países e a EU só o fez este ano (através do plano “Fit for 55%”). Por forma a acelerar o aumento de potência instalada de centrais solares, o governo holandês implementou em 2017 uma política de atribuição de subsídios como incentivo à produção de energia renovável, através do plano SDE.

De acordo com os dados disponibilizados pela Tennet, no final de 2020, o sistema elétrico holandês tinha uma potência instalada que totalizava os 13.8 GW, distribuídos da seguinte forma:

- Solar 6.9 GW;
- Eólico Off-shore 2.4 GW;
- Eólico 4.5 GW.

O plano estratégico holandês prevê vários cenários de integração de renováveis no sistema elétrico, para que de forma faseada se consiga até 2030, atingir a redução da emissão de gases com efeito de estufa em 55%. Num cenário otimista o valor de potência instalada de sistemas geradores de energia solar situa-se nos 34.5 GW o que significa um incremento de 27,6 GW nos próximos 9 anos. Num cenário pessimista o valor relativo à potência instalada fica apenas nos 25 GW o que continua a significar a necessidade de instar um total de 18.1 GW em centrais geradores provenientes de energia solar, até 2030.

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	125/135

7. Referências Bibliográficas

- [1] IEA, “Trends in Photovoltaic Applications”, 2020.
- [2] SMA, “How DC Coupling can increase efficiency of power plants”.
- [3] “Huawei Predicts 10 trends in Smart PV for 2025”, <https://solar.huawei.com/eu/news/Huawei-Predicts-10-Trends-in-Smart-PV-for-2025>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [4] Benbelkacem, Samir & Zenati, Nadia & Belhocine, Mahmoud & Bellarbi, Abdelkader & Tadjine, M. & Malek, Shebaz.: “Augmented Reality Platform for Solar Systems Maintenance Assistance.”, EFEEA’10 International Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications, 2010.
- [5] Regulamento (UE) 2016/631: “Código de rede relativo a requisitos da ligação de geradores de eletricidade à rede”, 2016.
- [6] Despacho nº 9: “Requisitos transitórios a aplicar na ligação de geradores de eletricidade”, 12/02/2018.
- [7] Portaria nº 73/2020: “Requisitos não exaustivos para a ligação de módulos geradores ao RESP”, 16/03/2020.
- [8] NTS 631 SEPE 2.1: “Norma técnica de supervisão”, 2020.
- [9] Netcode elektriciteit. Version 1.2.1., 21/07/2020.
- [10] DNVGL-RP-0043: “Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems”, 2017.
- [11] “Technical Regulation 3.3.1 for Electrical Energy Storage Facilities”, 18/12/2019.
- [12] Ansari, S.; Ayob, A.; Lipu, M.S.H.; Saad, M.H.M.; Hussain, A.: “A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects.”, Sustainability 2021, 13, 8120. <https://doi.org/10.3390/su13158120>.
- [13] “Recent Trends in Smart Solar Inverter Technology”, <https://deltaelectronicsindia.com/news/smart-solar-inverter-technology/>, acessado a 15 de Outubro de 2021.
- [14] IEC 62109-1: “Safety of Power Converters for Use in Photovoltaic Power Systems – General Requirements”, 2010.
- [15] IEC 62109-2: “Safety of Power Converters for Use in Photovoltaic Power Systems – Particular Requirements for Inverters”, 2011.
- [16] IEC 61000-6-2: “Immunity for Industrial Environments”, 2016.
- [17] IEC 61000-6-4: “Emission Standard for Industrial Environments”, 2018.
- [18] IEC 61000-6-5: “Immunity for Power Station and Substation Environments”, 2015.
- [19] Siestorage - The modular electrical energy storage system. Disponível em: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/solutions/siestorage.html>
- [20] Energy Storage Modules (ESM) product brochure. Disponível em: <https://new.abb.com/medium-voltage/modular-systems/energy-storage-modules>
- [21] Vahan Gevorgian, Robb Wallen, Przemyslaw Koralewicz, Emanuel Mendiola, Shahil Shah, Mahesh Morjaria “Provision of Grid Services by PV Plants with Integrated Battery Energy Storage System”, NREL/CP-5D00-78140, 2020.
- [22] P. Brown, F. O’Sullivan, “Shaping PV array output to align with changing wholesale electricity price profiles”, Applied Energy, vol. 256, 15 December 2019.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	126/135

- [23] W. Gorman, A. Mills, M. Bolinger, R. Wiser, N. Singhal, E. Ela, E. O’Shaughnessy, “Motivations and options for deploying hybrid generator-plus-battery projects within bulk power system”, *The Electricity Journal*, 33/2020.
- [24] M. Bortolini et al., “Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 81 – 92, 2014.
- [25] Y. Khawaja, D. Giaouris, H. Patskis, M. Dahidah, “Optimal Cost-Based Model for Sizing Grid-connected PV and Battery Energy System”, 2017 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), October 11-13, 2017.
- [26] FIMER_Brochure-Utility Applications_EN_revB_1 - Disponível em: https://www.fimer.com/sites/default/files/FIMER_Brochure_Solar%20inverter%20solutions%20for%20utility%20applications_EN_revB.pdf
- [27] <https://solar.huawei.com/eu/>
- [28] Schneider Electric, "Transformadores de distribuição imersos em óleo até 2,5 MVA - 36 kV," [Online]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Minera_ODT_OilType_CommercialBrochure_EN.pdf&p_Doc_Ref=NRJED311022EN. [Accessed September 2021].
- [29] Reportlinker, "Transformer Oil Market: By Types (Mineral Oil - Naphthenic & Paraffinic, Silicone and Bio-based), Applications (Small & Large Transformers, Utility) & Geography - Global Industry Trends & Forecast to 2017," 2013. [Online]. Available: www.prnewswire.com/news-releases/transformer-oil-market-by-types-mineral-oil---naphthenic--paraffinic-silicone-and-bio-based-applications-small--large-transformers-utility--geography---global-industry-trends--forecast-to-2017-200268281.html. [Accessed Dez 2019].
- [30] WEG, "Transformador Óleo 225.0kVA 13.8/0.22kV CST ONAN," [Online]. Available: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/c/GTD_TO_TOD_PEQ/list. [Accessed September 2021].
- [31] D. Li, L. Zhang, G. Li, Z. Lu and S. Zhou, "Reducing the core loss of amorphous cores for distribution transformers," *Progress in Natural Science: Materials international*, pp. 244 - 249, 2012.
- [32] B. A. Luciano and C. S. Kiminami, "An amorphous core transformer: design and experimental performance," *Materials and Science Engineering* , pp. 1079 - 1082, 1997.
- [33] Y. Ogawa, M. Naoe, Y. Yoshizawa and R. Hasegawa, "Magnetic properties of high Bs Fe-based amorphous material," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* , pp. 675 - 677, 2006.
- [34] M. Rafiq, Y. Z. Lv, Y. Zhou, K. B. Ma, W. Wang, C. R. Li and Q. Wang, "Use of vegetable oils as transformer oils - a review," *Renewable and sustainable energy reviews*, pp. 308 - 324, 2015.
- [35] B. C. Degeneff, "Chapter 3 - Power Transformers," in *The Electrical Engineering Handbook*, Academic Press, 2005, pp. 715-720.
- [36] G. Macangus-Gerrard, "Chapter 2 - Transformer Faults and Protection Devices," in *Offshore Electrical Engineering Manual*, Gulf Professional Publishing, 2018, pp. 211-214.
- [37] Research And Markets, "Global Dry Type Transformer Market Forecasts Report 2021-2026," 25 June 2021. [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/06/25/2253052/28124/en/Global-Dry-Type-Transformer-Market-Forecasts-Report-2021-2026-Major-Players-are-MGM-Transformer-Company-Acutran-Hitachi-ABB-Group-and-Alfa-Transformer.html>. [Accessed October 2021].
- [38] Research and Markets, "Dry Type Transformer Market by Type, Technology, Phase, Voltage and End Use: Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2027," July 2020. [Online]. Available:

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	127/135

<https://www.businesswire.com/news/home/20200904005197/en/Worldwide-Dry-Type-Transformer-Industry-to-2027---Featuring-Kirloskar-Electric-Schneider-Electric-Siemens-Among-Others---ResearchAndMarkets.com> . [Accessed October 2021].

- [39] e. a. Hemy B. H. Sitorus, "Comparison of streamers characteristics in jathropa curcas methyl ester oil and mineral oil under lightning impulse voltage," Proceedings of the IEEE international conference on liquid dielectrics, Jun 2014.
- [40] T. V. Oomen and C. C. Claiborne, "Biodegradable insulating fluid from high oleic vegetable oils," CIGRE - Session 1998, pp. 300 - 307, 1998.
- [41] M. Martins, "Vegetable Oils, an Alternative to Mineral Oil for power Transformers-Experimental Study of Paper Aging in Vegetable Oil Versus Mineral Oil," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 26, no. 6, pp. 7-13, 2011.
- [42] S. Chandrasekar and G. Montanari, "Analysis of partial discharge characteristics of natural esters as dielectric fluid for electric power apparatus applications.," IEEE Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 21, no. 3, pp. 1251-1259, 2014.
- [43] S. Tenbohlen and K. M., "Aging performance and moisture solubility of vegetable oils for power transformers.," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 2, pp. 825-830, 2010.
- [44] J. Li, Z. Zhang, S. Grzybowski and Y. Liu, "Characteristics of moisture diffusion in vegetable oil-paper insulation," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 19, 2012.
- [45] N. Muhamad, B. Phung and T. Blackburn, "Dissolved gas analysis (DGA) of arcing faults in biodegradable oil insulation systems," in Proceedings of 2008 International Symposium on Electrical Insulating Materials, Yokkaichi, Mie, Japan, 2008.
- [46] A. Abdelmalik, J. Fothergill, S. Dodd, A. Abbott and R. Harris, "Effect of side chains on the dielectric properties of alkyl esters derived from palm kernel oil.," in Proceedings of the IEEE international conference on dielectric liquids, 2011.
- [47] T. V. Oommen and C. C. Claiborne, "Electrical transformers containing electrical insulation fluids comprising high oleic acid oil compositions." . United States Patent US5949017A, 7 September 1999.
- [48] G. S. Cannon and L. A. T. Honary, "Soybean based transformer oil and transmission line fluid." . United States Patent US5958851A, 28 September 1999.
- [49] C. P. McShane, J. L. Corkran, R. A. Harthun, G. A. Gauger, K. J. Rapp and E. Howells, "Vegetable oil based dielectric coolant." . Patent US6037537A, 14 March 2000.
- [50] T. V. Oommen and C. C. Claiborne, "High oleic acid oil compositions and methods of making and electrical insulation fluids and devices comprising the same". United States Patent US6312623B1, 6 November 2001.
- [51] T. V. Oommen and C. C. Claiborne, "High oleic acid oil compositions and methods of making electrical insulation fluids and devices comprising the same." . United States Patent US6274067B1, 14 August 2001.
- [52] Cigré working group A2.35, "Technical brochure 436 – Experiences in service with new insulating liquids.," 2010.
- [53] Teck Global - Engineering Department, "Amorphous core distribution transformers - not all they're cracked up to be?," 12 May 2017. [Online]. Available: <https://teckglobal.com.au/news/38-amorphous-core-distribution-transformers-not-all-they-re-cracked-up-to-be>. [Accessed October 2021].
- [54] R. Hasegawa and D. Azuma, "Impacts of amorphous metal-based transformers on energy efficiency and environment," Journal of magnetism and magnetic materials, vol. 320, pp. 2451 - 2456, 2008.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	128/135

- [55] D. L. P. Feil, P. R. Silva, D. P. Bernardon, T. B. Marchesan, M. Sperandio and L. H. Medeiros, "Development of an efficient distribution transformer using amorphous core and vegetable insulating oil.," *Electric Power Systems Research*, vol. 144, pp. 268 - 279, 2017.
- [56] T. Steinmetz, B. Cranganu-Cretu and J. Smajic, "Investigations of No-Load and Load Losses in Amorphous Core Dry-Type Transformers," in *XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010*, Rome, 2010.
- [57] K. Soltanzadeh, A. Tavakoli and P. B. Arbab, "Effects of Amorphous Core Distribution Transformers in Improvement the functioning of the Electricity Distribution System," in *Proceedings of 17th Conference on Electrical Power Distribution*, Iran, 2012.
- [58] B. A. Luciano and C. S. Kiminami, "An amorphous core transformer: design and experimental performance," *Materials and Science Engineering*, pp. 1079 - 1082, 1997.
- [59] M. Jin and J. Pan, "Vibration transmission from internal structures to the tank of an oil-filled power transformer," *Applied Acoustics*, vol. 113, pp. 1-6, 2016.
- [60] IEEE StdC57.136, *Guide for Sound Level Abatement & Determination for Liquid-Immersed Power Transformers and Shunt Reactors Over 500kVA*, 2000.
- [61] EC, "2002/49/EC," European Parliament and the council, 2002.
- [62] CE, "Directiva 2000/14/CE," Parlamento europeu e conselho, 2000.
- [63] Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, "Decreto-lei nº9/2007 de 17 de janeiro," Lisboa, Portugal, 2007.
- [64] Bundesgesetzblatt Teil 1 (BGB 1); Number: 12, "Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV)," 2006.
- [65] Staatsblad, "VLAAMSE OVERHEID - Namen en contactgegevens van de bevoegde instanties in uitvoering van de richtlijn 2002/49/EG inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaaï," 2008.
- [66] Boletín Oficial del Estado (B.O.E); Number: 301/2005, "REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental," 2005.
- [67] Journal Officiel de la République Française (JORF); Publication date: 08/04/2006, "Arrêté du 3 avril 2006 fixant la liste des aérodromes mentionnés au I de l'article R.147-5-1 du code de l'urbanisme.," 2006.
- [68] Εφημερίς της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ) (Τεύχος Β); Number: 384, "Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/49/ΕΚ "σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου" του Συμβουλίου της 25.6.20," 2006.
- [69] Iris Oifigiúl, "ENVIRONMENTAL NOISE REGULATIONS 2006," 2006.
- [70] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana; Number: 222, "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.," 2005.
- [71] Staatsblad (Bulletin des Lois et des Décrets royaux);, "Number: 2012/268;," 2012.
- [72] Mémorial Luxembourgeois A; Number: 157, "Règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement," 2006.
- [73] EFACEC, "ADMS4LV: PROJETO DE I&DT – INDIVIDUAL,COMPONENTE TÉCNICA".

Entregave D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	129/135

- [74] V. Melde, "Amorphous metals: Properties and special features," Heraeus, [Online]. Available: heraeus.com/en/group/products_and_solutions_group/amorphous_metals/about_amorphous_metals/about_amorphous_metals.html. [Accessed Dez 2019].
- [75] R. B. P. J. D. Menczel, Thermal analysis of polymers, JOHN WILEY & SONS, INC, 2009.
- [76] J. D. Menczel and R. B. Prime, Thermal analysis of polymers, fundamentals and applications, John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [77] R. Murugan and R. Ramasamy, "Understanding the power transformer component failures for health index-based maintenance planning in electric utilities.," Engineering Failure Analysis, vol. 96, pp. 274-288, 2019.
- [78] Q. T. Tran, K. Davies, L. Roose, P. Wiriyaikitikun, J. Janjampop, E. R. Sanseverino and G. Zizzo, "A Review of Health Assessment Techniques for Distribution Transformers in Smart Distribution Grids.," Applied Sciences, vol. 10, no. 22, pp. 8115-8134, 2020.
- [79] Inversor Delta C1000, <https://www.deltaww.com/en-US/products/Photovoltaic-Inverter/4492>, acessado a 14 de outubro de 2021.
- [80] Inorax-11 Outdoor Cabinet, <https://www.canovate.com/En/165/inorax-11-outdoor-cabinet>, acessado a 14 de outubro de 2021.
- [81] Espuma PET como isolamento, <https://www.ecfibreglasssupplies.co.uk/category/armacell-pet-foam-core>, acessado a 14 de outubro de 2021.
- [82] Espuma PET AIREX, <https://www.3accorematerials.com/en/markets-and-products/airex-foam>, acessado a 14 de outubro de 2021.
- [83] Aerogel aplicações, <https://engibim.pt/aerogel-desenvolvimentos-significativos-no-isolamento-termico/>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [84] Inversor modular Siemens 5000kVA, <https://new.siemens.com/ar/es/compania/about1/businesses/smart-infrastructure/mediatension/systems/sinacon-pv.html>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [85] Inversor Sunny CentralUp 4600 kVA, <https://www.sma-america.com/products/solarinverters/sunny-central-up.html>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [86] Inversores skid Power Electronics, <https://power-electronics.com/solar/>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [87] S M Sohel Murshed, "Introductory Chapter: Electronics Cooling — An Overview", 15 de Junho de 2016.
- [88] Mersen – Cooling of power electronics – Disponível em: <https://www.mersen.com/sites/default/files/publications-media/4-spm-cooling-of-power-electronics-mersen.pdf>
- [89] Advanced Cooling for Power Electronics, <https://www.electronics-cooling.com/2017/07/advanced-cooling-power-electronics/>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [90] Kunquan MaJing, LiuJing Liu, "Liquid metal cooling in thermal management of computer chips", October 2007.
- [91] Tipos de tecnologias de arrefecimento, <https://www.1-act.com/enclosure-cooling/>, acessado a 15 de outubro de 2021.
- [92] Passive 2-Phase Liquid Techniques to Control Temperatures in Microelectronics and Power Systems Disponível em: <https://files.vogel.de/vogelonline/vogelonline/files/5928.pdf>.
- [93] Projeto Commute POCI-01-0247-FEDER-003474, <https://www.itecons.uc.pt/services/projects/50>, acessado a 15 de outubro de 2021.

Entregável D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	130/135

- [94] Delaying derating, <https://www.pv-magazine-india.com/2019/01/26/the-long-read-delaying-derating/>,
acedido a 20/10/2021
- [95] ICOOL3 system Disponível em: <http://henryco.net/attachments/Bellflower%20Pre%20Construction%20Sound%20Survey%20Report.pdf>,
acedido a 21 de outubro de 2021.
- [96] Opticool system SMA Disponível em: <http://henryco.net/attachments/Bellflower%20Pre%20Construction%20Sound%20Survey%20Report.pdf>,
acedido a 21 de outubro de 2021.
- [97] ABB central inverters PVS980, postado a 23 de abril de 2018, vídeo do Youtube, 1:20.
- [98] pv magazine Webinar | New inverter technology and O&M insights: service optimization and cost reduction.
- [99] Controlo de condensação DBKUSA, <https://dbkusa.com/blogs/electrical-enclosures/condensation-outdoor-electronic-enclosures>,
acedido a 22 de outubro de 2021.
- [100] Schneider Electric controlo condensação, <https://blog.se.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2013/10/29/electrical-enclosures-warm-dry-keeps-condensation-away/>,
acedido a 22 de outubro de 2021.
- [101] Policase controlo condensação, <https://www.polycase.com/techtalk/waterproof-electronic-enclosures/how-to-prevent-condensation-in-enclosures.html>,
acedido a 22 de outubro de 2021.
- [102] Plataforma Iquord, <https://iquord.eu/electrical-rooms/#>,
acedido a 29 de outubro de 2021.
- [103] Plataforma skid fornecedor SMA e WTC Australia, <https://transformers-magazine.com/tm-news/5651-sma-and-wilson-transformer-launch-a-central-inverter-and-transformer-solution/>,
acedido a 29 de outubro de 2021.
- [104] Power electronics brochure Disponível em: https://www.pwrelectronics.co.nz/assets/brochures/Solar_brochure_20180615_def.pdf
- [105] Regulamento (UE) Nº 548/2014, dá execução `Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, no que diz respeito aos transformadores de pequena, média e grande potência, 2014.
- [106] ABB's technology cuts transformer losses - Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/6754a28ee15c4997b58f96192fd144ce/ABBs%20technology%20cuts%20transformer%20losses.pdf>,
consultado em Novembro 2021.
- [107] Distributes ReStart: Non-conventional Black-Start Resources, Iberdrola Innovation Middle East, 2021, disponível em: <https://www.nationalgrideso.com/document/204666/download>,
consultado em Novembro 2021.
- [108] PV Magasine Special: Special/2020/78538, page 18, disponível em <https://www.pv-magazine.com/issue/huawei-special-2020/>,
consultado em novembro 2021.
- [109] RED Eléctrica de España, Dados de Geração, disponível em <https://www.ree.es/en/datos/generation>,
consultado em novembro de 2021.
- [110] S. Deshpande and N. R. Bhasme, "A Review of Topologies of Inverter for Grid Connected PV Systems," in International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 2017, pp. 1–6.
- [111] E. Kabalci, "Review on novel single-phase grid-connected solar inverters: Circuits and control methods," Solar Energy, vol. 198, no. October 2019, pp. 247–274, 2020.
- [112] G. R. Walker and P. C. Sernia, "Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 4, pp. 1130–1139, 2004.

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	131/135

- [113] N. Foureaux, A. Machado, E. Silva, I. Pires, J. Brito, and F. B. Cardoso, "Central inverter topology issues in large-scale photovoltaic power plants: Shading and system losses," 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015, pp. 4–9, 2015.
- [114] P. Somani and D. J. Vaghela, "Design of HERIC configuration based grid connected single phase transformer less photovoltaic inverter," International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016, pp. 892–896, 2016.
- [115] M. A. Khan, A. Haque, and K. V. S. Bharath, "Control and stability analysis of H5 transformerless inverter topology," 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018, pp. 310–315, 2019.
- [116] L. Zhang, K. Sun, Y. Xing, and M. Xing, "H6 transformerless full-bridge PV grid-tied inverters," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 3, pp. 1229–1238, 2014.
- [117] G. Rizzoli, M. Mengoni, L. Zarri, A. Tani, G. Serra, and D. Casadei, "Comparison of Single-Phase H4, H5, H6 Inverters for Transformerless Photovoltaic Applications," pp. 0–7, 2016.
- [118] V. Monteiro, N. Tashakor, T. J. C. Sousa, T. Kacetl, S. Götz, and J. L. Afonso, "Review of Five-Level Front-End Converters for Renewable-Energy Applications," Frontiers in Energy Research, vol. 8, no. October, pp. 1–17, 2020.
- [119] K. C. Oliveira, J. L. Afonso, and M. C. Cavalcanti, "Multilevel inverter for grid-connected photovoltaic systems with active filtering function," IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 394, pp. 289–298, 2013.
- [120] J. Korhonen, A. Sankala, J. P. Ström, P. Silventoinen, and A. Doktor, "Five-level inverter with a neutral point connection and a flying capacitor," 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE-ECCE Europe 2014, vol. 1, 2014.
- [121] X. Yuan, "A new five-level converter for low-voltage motor drive applications," 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2014, pp. 2969–2974, 2014.
- [122] D. A. Ruiz-Caballero, R. M. Ramos-Astudillo, S. A. Mussa, and M. L. Heldwein, "Symmetrical hybrid multilevel DCAC converters with reduced number of insulated DC supplies," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2307–2314, 2010.
- [123] H. Wang, L. Kou, Y. F. Liu, and P. C. Sen, "A seven-switch five-level active-neutral-point-clamped converter and its optimal modulation strategy," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 7, pp. 5146–5161, 2017.
- [124] R. Naderi, A. K. Sadigh, and K. M. Smedley, "Dual Flying Capacitor Active-Neutral-Point-Clamped Multilevel Converter," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 9, pp. 6476–6484, 2016.
- [125] A. Masaoud, H. W. Ping, S. Mekhilef, and A. Taallah, "Novel configuration for multilevel DC-link three-phase five-level inverter," IET Power Electronics, vol. 7, no. 12, pp. 3052–3061, 2014.
- [126] H. Vahedi, P. A. Labbé, and K. Al-Haddad, "Sensor-Less Five-Level Packed U-Cell (PUC5) Inverter Operating in Stand-Alone and Grid-Connected Modes," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 361–370, 2016.
- [127] M. Saedian, S. M. Hosseini, and J. Adabi, "A five-level step-up module for multilevel inverters: Topology, modulation strategy, and implementation," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 6, no. 4, pp. 2215–2226, 2018.
- [128] M. R. A and K. Sivakumar, "A Fault-Tolerant Single-Phase Five-Level Inverter for Grid-Independent PV Systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 12, pp. 7569–7577, 2015.

Entregave D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	132/135

- [129] S. P. Gautam, L. Kumar, S. Gupta, and N. Agrawal, "A Single-Phase Five-Level Inverter Topology with Switch Fault-Tolerance Capabilities," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 3, pp. 2004–2014, 2017.
- [130] L. He and C. Cheng, "A Flying-Capacitor-Clamped Five-Level Inverter Based on Bridge Modular Switched-Capacitor Topology," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 12, pp. 7814–7822, 2016.
- [131] V. Monteiro, J. C. Ferreira, A. A. Nogueiras Melendez, and J. L. Afonso, "Model Predictive Control Applied to an Improved Five-Level Bidirectional Converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 9, pp. 5879–5890, 2016.
- [132] R. S. Leite, J. L. Afonso, and V. Monteiro, "A novel multilevel bidirectional topology for on-board EV battery chargers in smart grids," *Energies*, vol. 11, no. 12, 2018.
- [133] A. El-Hosainy, H. A. Hamed, H. Z. Azazi, and E. E. El-Kholy, "A review of multilevel inverter topologies, control techniques, and applications," *2017 19th International Middle-East Power Systems Conference, MEPCON 2017 - Proceedings*, vol. 2018-Febru, no. December, pp. 1265–1275, 2018.
- [134] N. Prabakaran and K. Palanisamy, "A comprehensive review on reduced switch multilevel inverter topologies, modulation techniques and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, no. March, pp. 1248–1282, 2017.
- [135] K. K. Gupta, A. Ranjan, P. Bhatnagar, L. K. Sahu, and S. Jain, "Multilevel inverter topologies with reduced device count: A review," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 135–151, 2016.
- [136] J. Venkataramanaiah, Y. Suresh, and A. K. Panda, "A review on symmetric, asymmetric, hybrid and single DC sources based multilevel inverter topologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, no. July 2016, pp. 788–812, 2017.
- [137] M. Aly, E. M. Ahmed, and M. Shoyama, "A New Single-Phase Five-Level Inverter Topology for Single and Multiple Switches Fault Tolerance," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 11, pp. 9198–9208, 2018.
- [138] G. S. Shehu, A. B. Kunya, I. H. Shanono, and T. Yalcinoz, "A Review of Multilevel Inverter Topology and Control Techniques," *Journal of Automation and Control Engineering*, no. December 2015, pp. 233–241, 2016.
- [139] A. K. Koshti and M. N. Rao, "A brief review on multilevel inverter topologies," *2017 International Conference on Data Management, Analytics and Innovation, ICDMAI 2017*, pp. 187–193, 2017.
- [140] I. Colak, E. Kabalci, and R. Bayindir, "Review of multilevel voltage source inverter topologies and control schemes," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 1114–1128, 2011.
- [141] V. R. Vakacharla et al., "State-of-the-art power electronics systems for solar-to-grid integration," *Solar Energy*, vol. 210, no. June, pp. 128–148, 2020.
- [142] F. Rong, X. Gong, and S. Huang, "A Novel Grid-Connected PV System Based on MMC to Get the Maximum Power under Partial Shading Conditions," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 6, pp. 4320–4333, 2017.
- [143] D. Zhou, S. Yang, and Y. Tang, "Model-Predictive Current Control of Modular Multilevel Converters With Phase-Shifted Pulsewidth Modulation," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 6, pp. 4368–4378, 2019.
- [144] J. Hu, M. Xiang, L. Lin, M. Lu, J. Zhu, and Z. He, "Improved design and control of FBSM MMC with boosted AC voltage and reduced DC capacitance," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 3, pp. 1919–1930, 2018.

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	133/135

- [145] S. M. Goetz, A. v. Peterchev, and T. Weyh, "Modular multilevel converter with series and parallel module connectivity: Topology and control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 1, pp. 203–215, 2015.
- [146] V. Singh and A. N. Tiwari, "Study and Comparison of various types of Converters used for Solar PV: A Review," 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control, PEEIC 2018, pp. 658–664, 2019.
- [147] W. Li and X. He, "Review of nonisolated high-step-up DC/DC converters in photovoltaic grid-connected applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 4, pp. 1239–1250, 2011.
- [148] A. Amir, A. Amir, H. S. Che, A. Elkhateb, and N. A. Rahim, "Comparative analysis of high voltage gain DC-DC converter topologies for photovoltaic systems," *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 1147–1163, 2019.
- [149] M. Z. Hossain, N. A. Rahim, and J. a/I Selvaraj, "Recent progress and development on power DC-DC converter topology, control, design and applications: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. January 2017, pp. 205–230, 2018.
- [150] Y. Kado, S. Okutani, K. Katagiri, and P. Y. Huang, "Autonomous DC Microgrid Consisting of Triple Active Bridge Converters," 2019 IEEE 3rd International Conference on DC Microgrids, ICDCM 2019, 2019.
- [151] A. Chandrasekharan Nair, M. J. Vishal, and B. G. Fernandes, "A Quad Active Bridge Based on-Board Power Electronic Interface for an Electric Vehicle," 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2018, vol. 1, pp. 5941–5947, 2018.
- [152] J. Y. Lee, H. J. Choi, and J. H. Jung, "Three level NPC dual active bridge capacitor voltage balancing switching modulation," *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, vol. 2017-Octob, pp. 438–443, 2017.
- [153] J. Liu, W. Chen, X. Ma, R. Zhang, and R. Yan, "A zero voltage switching range optimization strategy for NPC Dual-Active-Bridge Converter," 2020 4th International Conference on HVDC, HVDC 2020, pp. 966–970, 2020.
- [154] J. C. Crebier et al., "Impact of component dispersion in DC to DC low- power low-voltage power converter array," *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, no. 9, pp. 1–20, 2019.
- [155] B. Zhao, Q. Song, J. Li, and W. Liu, "A Modular Multilevel DC-Link Front-to-Front DC Solid-State Transformer Based on High-Frequency Dual Active Phase Shift for HVDC Grid Integration," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 11, pp. 8919–8927, 2017.
- [156] T. Luth, M. M. C. Merlin, T. C. Green, F. Hassan, and C. D. Barker, "High-frequency operation of a DC/AC/DC system for HVDC applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 8, pp. 4107–4115, 2014.
- [157] F. H. Khan and L. M. Tolbert, "A multilevel modular capacitor-clamped DC-DC converter," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 43, no. 6, pp. 1628–1638, 2007.
- [158] Power Electronics (disponível online: 30 de outubro de 2021): <https://www.powerselectronics.com/technologies/power-management/article/21864289/the-great-semi-debate-sic-or-gan>
- [159] Infineon (disponível online: 30 de outubro de 2021): <https://www.infineon.com/cms/en/product/technology/wide-bandgap-semiconductors-sic-gan/>
- [160] Infineon (disponível online: 30 de outubro de 2021): <https://www.infineon.com/>
- [161] Datasheet Wolfspeed, CAS300M17BM2.
- [162] Datasheet SEMIKRON, SKM260MB170SCH17.
- [163] Datasheet ROHM, BSM600D12P3G001.

Entregáve D1.1							
Atividade	A1	Tarefas	T1.1 & T1.2	Aprov.	Consórcio	Data	05/11/21
Título	Rel. do estado da arte e requisitos técnicos por subsistema			Doc. Nº	AS21007259		
Template	teams.microsoft.com/MegaSolarP2020Project/Templates			Rev.	0.0	Pag.	134/135