

Memória Técnica de Cabos Baixa Tensão

Documento

Nome	Memória Técnica de Cabos Baixa Tensão	
Revisão e data	0	2024-09-17
Projeto	Central Solar Fotovoltaica Pereiro	
Criado	NM	
Revisto	PM	
Aprovado	PM	
Páginas	19	

Registo de revisões:

Rev.	Data	Modificação	Criado
0	2024-09-17	Primeira emissão	NM

Índice

1. ABREVIATURAS.....	5
2. DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	5
3. INTRODUÇÃO.....	6
4. DIMENSIONAMENTO E REQUISITOS OPERACIONAIS.....	7
5. CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL FOTOVOLTAICA.....	8
6. METODOLOGIA.....	9
7. CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO.....	9
7.1 NÍVEL 1: PV MÓDULOS PARA CAIXA DE JUNÇÃO.....	10
7.2 NÍVEL 2: CAIXA DE JUNÇÃO À MVPS.....	11
8. CÁLCULOS.....	12
8.1 CORRENTES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS.....	12
8.2 CORRENTES DE CURTO CIRCUITO MÁXIMAS.....	12
8.3 DIMENSIONAMENTO DE PROTEÇÕES.....	13
8.4 QUEDA DE TENSÃO (CC).....	13
8.5 PERDAS DE POTÊNCIA (CC).....	14
8.6 CORREÇÃO TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO.....	14
9. CONCLUSÕES.....	15
9.1 CORRENTES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS CORRIGIDAS.....	15
9.2 RESULTADOS PARA O NÍVEL 1.....	16
9.3 RESULTADOS PARA O NÍVEL 2.....	16
9.4 RESULTADOS GERAIS - NÍVEL 1+ 2.....	17
10. CONCLUSÕES.....	18
11. ANEXOS.....	19
11.1 TIPO DE VALA DE BAIXA TENSÃO - EXEMPLO.....	19

Índice de Tabelas

Table 1 - Características do parque fotovoltaico (painel)	8
Table 2 - Características do parque fotovoltaico (Configuração elétrica)	8
Table 3 - Correntes máximas admissíveis para o nível 1	12
Table 4 - Correntes máximas admissíveis para o nível 2	12
Table 5 - Correntes máximas admissíveis - nível 1	15
Table 6 - Correntes máximas admissíveis - nível 2 (1 cabo por polo)	15
Table 7 - Correntes máximas admissíveis - nível 2 - 2 cabos por polo	15
Table 8 - Secção mínima; Nível 1 - PV módulo até à caixa de junção	16
Table 9 - Queda de tensão; Perdas de Potência; Nível 1 - PV módulo até à caixa de junção	16
Table 10 - Secção mínima; Nível 2 - Caixa de junção até MVPS	16
Table 11 - Quedas de tensão; Perdas de Potência; Nível 2 – Caixa de junção até à MVPS.	16
Table 12 - Quedas de tensão; Perdas de Potência; Nível 1 + 2 – PV Módulos até MVPS	17

Índice de figuras

Figure 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica	6
Figure 2 – Vista geral da Central Solar Fotovoltaica, imagem via satélite	Error! Bookmark not defined.
Figure 3 - Módulos fotovoltaicos distribuídos por uma caixa de junção	10
Figure 4 - Esquema elétrico exemplo da MVPS	11
Figure 5 - Exemplo de vala de baixa tensão	19

1. Abreviaturas

(EPC)	Engineering, procurement, and construction
(SI units)	International System of Units
(PV)	Central Fotovoltaica
(MT)	Média Tensão
(BT)	Baixa tensão
(CA)	Corrente Alternada
(CC)	Corrente Contínua
(SLD)	Single Line Diagram – Esquema Unifilar

2. Documentos relacionados

3. Introdução

A central fotovoltaica tem 99 MVA de potência de injeção (CA) na rede através de uma subestação de 33/150 kV.

O objetivo deste documento é descrever o dimensionamento de cabos (CC/CA).

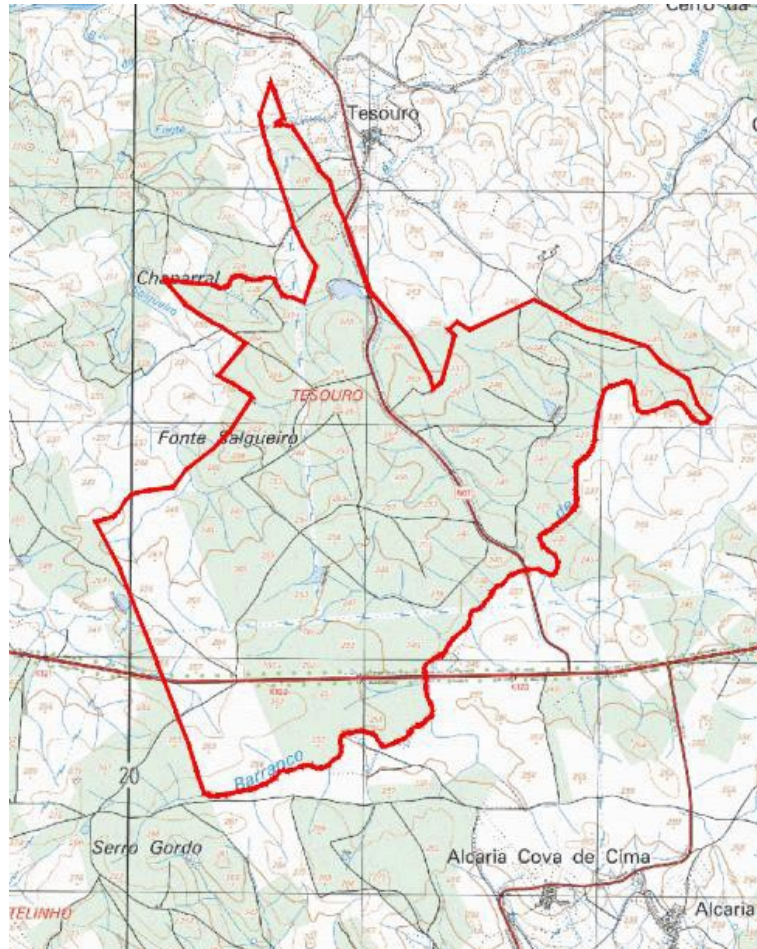


Figure 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica

4. Dimensionamento e requisitos operacionais

O dimensionamento de cabos é baseado nos seguintes regulamentos nacionais e internacionais de referência:

- “RSIUEE R.S.I.U.E.E. – Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Elétrica”;
- IEC 60364-5-52, Low voltage Electrical Installations;
- RTIEBT – “Regras técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão”;
- BT Diretiva 2006/95/EC.

5. Características da central fotovoltaica

Em termos de dimensionamento de cabos, pode dividir-se a Central Solar Fotovoltaica de Pereiro em dois níveis:

- Nível 1: PV módulos até caixa de junção;
- Nível 2: Caixas de junção até Posto de Transformação e Inversor;

As principais características da central fotovoltaica encontram-se descritas nas figuras seguintes:

Table 1 - Características do parque fotovoltaico (painel)

Considerações	
Power (W)	41,70
Vca (V):	18,42
Isc (A):	34,60
Vmpp (V):	17,34
Impp (A):	41,70

Table 2 - Características do parque fotovoltaico (Configuração elétrica)

Considerações	
Número de Módulos em Série	27
Número de Strings em Paralelo na Caixa de Junção	16
Número de Condutores por pólo	1

Nível 1: Módulos até à Caixa de Junção	Cabo solar em cobre
P (W):	16 605,00
U(V):	1 099,17
I (A):	15,11
Nível 2: Caixa de Junção até Inversor	Cabo Alumínio
P (W):	265 680,00
U (V):	1 099,17
I (A):	241,76

6. Metodologia

- Condições de instalação (temperatura do ambiente e do solo, resistividade térmica do solo, fatores de redução de agrupamento de cabos);
- Correntes máximas admissíveis;
- Quedas de tensão;
- Perdas de potência;
- Correção de temperaturas de funcionamento.
- Correntes de curto circuito máximas;

7. Condições de instalação

- Temperatura ambiente máxima: 40°C;
- Temperatura máxima do solo: 30°C;
- Resistividade térmica do solo: 1,5 k.m/W;
- $\cos \phi = 1$;

7.1 Nível 1: PV Módulos para Caixa de junção

Os circuitos que vão desde os módulos fotovoltaicos até às caixas de junção são instalados em dois métodos distintos. A primeira parte do circuito é instalada ao longo da estrutura do seguidor atrás dos módulos enquanto que a segunda parte é entubada ao longo das valas desde o seguidor até à respetiva caixa de junção.

Como este seguidor permite a instalação de 2 strings por cada unidade, ao longo de todo o trajeto do cabo solar vão existir circuitos com 2 cabos solares carregados. Devido a tal, é correto considerar para dimensionamento as correntes admissíveis da tabela IEC B52.5, tipo de instalação D1, item 71, cabos monopolares em condutas.

O pior cenário, ou seja, o ponto em que existe o maior número de cabos solares agrupados, é à entrada da caixa de junção (16 strings diferentes, 16 condutores positivos e 16 condutores negativos entram na caixa de junção), como se pode observar na figura seguinte:

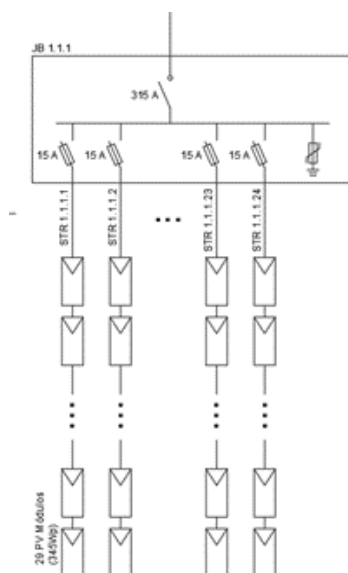


Figure 2 - Módulos fotovoltaicos distribuidos por uma caixa de junção

Nota: A componente DC esta configurada com base num sistema de polo negativo ligado à terra.

7.2 Nível 2: Caixa de junção à MVPS

Este nível diz respeito aos cabos que ligam a caixa de junção ao barramento de entrada DC da MVPS (figura 4).

Todos estes circuitos são enterrados diretamente no solo, pelo que se considera o método de instalação D2, item 72. Como neste caso, serão necessários dois cabos por polo, foram consideradas para dimensionamento as correntes admissíveis da tabela IEC B52.3 para o método referido anteriormente.

Neste nível o pior cenário será a junção dos circuitos de 6 caixas de junção numa mesma vala. Nesses setores existem cerca de 12 condutores positivos e 12 condutores negativos separados entre si.

Perante tal, foi considerado para dimensionamento o fator de agrupamento da tabela B52.18 relativo à instalação de 6 circuitos de dois cabos carregados, separados por um diâmetro entre si. Mais se adianta, que devido a tal, as valas serão dimensionadas de acordo com esses requisitos.

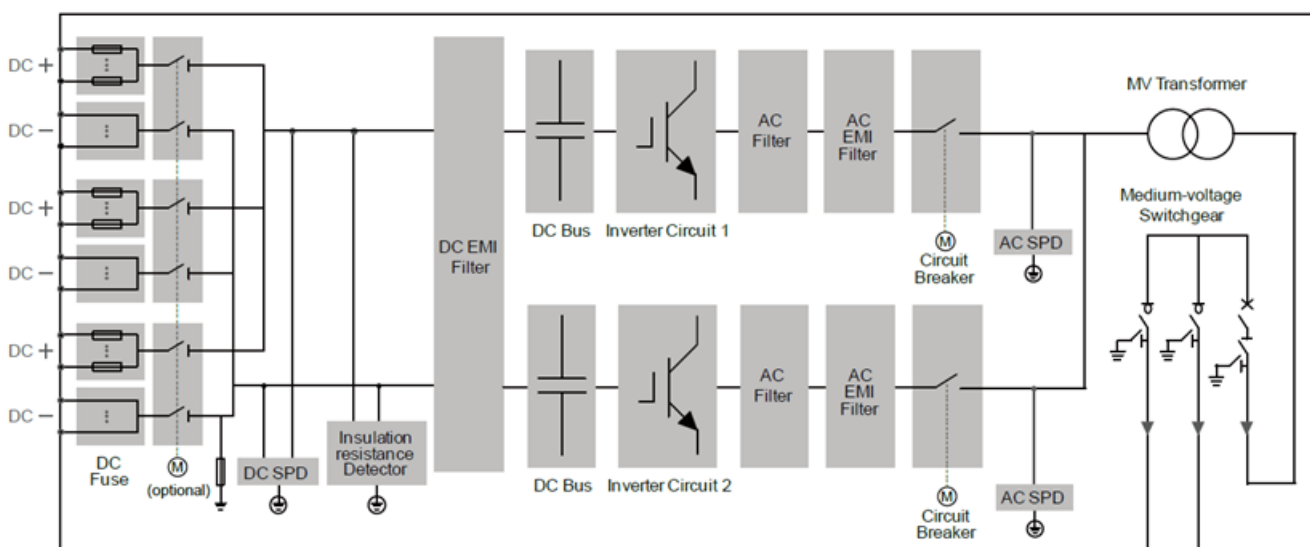


Figure 3 - Esquema elétrico exemplo da MVPS

8. Cálculos

8.1 Correntes máximas admissíveis

Aproveitando da experiência de instalações fotovoltaicas o dimensionamento destes dois níveis considera as seguintes secções de cabo:

Table 3 - Correntes máximas admissíveis para o nível 1

Nível 1: PV Módulos até Caixa de Junção		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D1
		IEC Tabela B52.5 (A)
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x4mm ²)	4	36
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x6mm ²)	6	44
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x10mm ²)	10	58

Table 4 - Correntes máximas admissíveis para o nível 2

Nível 2: Caixa de junção até PVStation		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D2
		IEC table B52.3 (A)
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x150mm ²)	150	261
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x185mm ²)	185	296
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x240mm ²)	240	343

Para informações adicionais dos cálculos realizados bem como da configuração elétrica, por favor consultar documentos em anexo.

8.2 Correntes de curto circuito máximas

As correntes prejudiciais da instalação elétrica geralmente devem-se a sobrecargas e correntes de curto-circuito. Como as centrais fotovoltaicas são projetadas para suportar correntes de produção máximas, o conceito de sobrecarga não se aplica a ela. Além disso, as correntes de curto-circuito não são muito maiores que as correntes nominais de operação e isso significa que uma corrente de curto-circuito na instalação não pode ser detetada por dispositivos de proteção convencionais e, portanto, o projeto de proteção específico não é aplicável.

Para informação adicional considerar os seguintes documentos:

ET7 - Ficha Técnica Cabo Solar

ET8 - Ficha Técnica Cabo CC

8.3 Dimensionamento de proteções

Para informação adicional considerar o seguinte documento:

MD3 - Memória Técnica Dimensionamento Protecções BT

8.4 Queda de Tensão (CC)

A queda de tensão (diferença de tensão entre o início e o final do circuito) para cada um dos circuitos é calculada de acordo com a seguinte expressão.

$$\Delta V = I_b \times \frac{R}{1000} \times (L_p + L_n) \quad (1)$$

Onde:

ΔV Queda de tensão (V);

R Resistência (Ω/km);

L_p Comprimento do cabo, pólo positivo (m);

L_n Comprimento do cabo, pólo negativo (m);

I_b Corrente nominal do circuito (A);

Nota: Assumir como valor máximo da queda de tensão e perdas de potência um valor abaixo dos 2 %.

Para informação adicional considerar o seguinte documento: DC1 - Calculo de Cabos BT.

8.5 Perdas de potência (CC)

A perda de potência (diferença entre a potência no início e o final do circuito) para cada um dos circuitos é calculada de acordo com a seguinte expressão.

$$P (W) = \frac{R}{1000} \times Ib^2 \times (Lp + Ln) \quad (3)$$

Onde:

- P Perdas de potência (W);
- R Resistência (Ω/km);
- Ib Corrente nominal do circuito (A);
- Lp Comprimento do cabo, pólo positivo (m);
- Ln Comprimento do cabo, pólo negativo (m);

Para informação adicional considerar o seguinte documento: DC1 - Cálculo de Cabos BT.

8.6 Correção temperatura de funcionamento

Normalmente a resistência fornecida pelo fabricante dos cabos é relativa aos 20° e necessita ser corrigida para a temperatura de funcionamento dos cabos de acordo com a seguinte expressão.

$$R_{\theta} (\Omega/\text{km}) = R_{20^{\circ}\text{C}} \times [1 + \alpha_{20^{\circ}\text{C}} \times (\theta - 20)] \quad (4)$$

Onde:

- R_{θ} – Resistência do cabo para a temperatura de funcionamento (Ω/km);
- $R_{20^{\circ}\text{C}}$ – Resistência do cabo para a temperatura de referência de 20°C (Ω/km);
- $\alpha_{20^{\circ}\text{C}}$ – Resistividade do cabo para a temperatura de referência de 20°C;
- θ – Temperatura de funcionamento do cabo.

9. Conclusões

9.1 Correntes máximas admissíveis corrigidas

Na tabela seguinte são apresentadas as correntes máximas suportadas pelos cabos anteriormente referidos, para os respetivos níveis e tendo em consideração o fator de correção global descrito ao longo do documento.

Table 5 - Correntes máximas admiseveis - nível 1

Nível 1: PV Módulos até Caixa de Junção		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D1 IEC table B52.5
		(A)
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x4mm ²)	4	20,57
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x6mm ²)	6	25,14
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x10mm ²)	10	33,14

Table 6 - Correntes máximas admiseveis - nível 2 (1 cabo por polo)

Nível 2: Caixa de junção até PVStation		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D2 IEC table B52.3
		(A)
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x150mm ²)	150	171
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x185mm ²)	185	194
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x240mm ²)	240	225

Table 7 - Correntes máximas admiseveis - nível 2 - 2 cabos por polo

Nível 2: Caixa de junção até PVStation		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D2 IEC table B52.3
		(A)
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x150mm ²)	150	342
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x185mm ²)	185	388
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x240mm ²)	240	449

9.2 Resultados para o nível 1

As tabelas seguintes apresentam as secções consideradas bem como os valores das perdas para o nível 1.

Table 8 - Secção mínima; Nível 1 - PV módulo até à caixa de junção

S(mm ²)	Iz (one circuit only)	Cable Temp. (°C)	IEC 60364-4-43						IEC60269					
			Resistance @ cable temp. (Ω/km)	Ib (circuit)	In protection device (A); *corrected	I2 (current ensuring effective protection) (A) I2=1,45xIn	Iz_corrected (A) (total circuits)	1,45xIz	STATUS	Isc	Isc/(A1xA2)	In(fuse)	STATUS	Cable load
150	15	lb>Iz_corr	lb>Iz_corr	15,11	18,96	27,49	15,00	21,75	NOT OK	18,00	25,32	30	OK	101%
250	20	61,2122	9,27	15,11	18,96	27,49	20,00	29,00	NOT OK	18,00	25,32	30	OK	76%
4,00	25,71	48,04	5,65	15,11	18,96	27,49	25,71	37,28	NOT OK	18,00	25,32	30	OK	53%
6,00	31,43	41,81	3,58	15,11	18,96	27,49	31,43	45,57	OK	18,00	25,32	30	OK	48%
10,00	41,43	36,67	2,04	15,11	18,96	27,49	41,43	60,07	OK	18,00	25,32	30	OK	36%

Table 9 - Queda de tensão; Perdas de Potência; Nível 1 - PV módulo até à caixa de junção

To	AV Máx values (V/%)		AV Average values (V/%)		AP SUM Values (kW/%)	
Máx values	20,15	1,83%	0,01	0,53%	x	x
Average values	12,13	1,10%	0,01	0,52%	x	x
Sum values	x	x	x	x	505716	0,43%

9.3 Resultados para o nível 2

As tabelas seguintes apresentam as secções consideradas bem como os valores das perdas para o nível 2.

Table 10 - Secção mínima; Nível 2 - Caixa de junção até MVPS

S(mm ²)	Iz (one circuit only)	Cable Temp. (°C)	IEC 60364-4-43						IEC60269					
			Resistance @ cable temp. (Ω/km)	Ib (circuit)	In protection device (A); *corrected	I2 (current ensuring effective protection) (A) I2=1,35xIn	Iz_corrected (A) (total circuits)	1,45xIz	STATUS	Isc	Isc/(A1xA2)	In(fuse)	STATUS	Cable load
120	152,55	58	0,2923	221,52	238,00	321,30	305,10	442,39	NOT OK	232,08	341,29	350,00	OK	73%
150	170,88	52	0,2327	221,52	238,00	321,30	341,76	495,56	OK	232,08	341,29	350,00	OK	65%
185	193,80	47	0,1818	221,52	238,00	321,30	387,59	562,01	OK	232,08	341,29	350,00	OK	57%
240	224,57	42	0,1363	221,52	238,00	321,30	449,14	651,25	OK	232,08	341,29	350,00	OK	49%
300	252,72	40	0,1079	221,52	238,00	321,30	505,44	732,89	OK	232,08	341,29	350,00	OK	44%

Table 11 - Quedas de tensão; Perdas de Potência; Nível 2 – Caixa de junção até à MVPS.

To	AV Máx values (V/%)		AV Average values (V/%)		AP SUM Values (W/%)	
Máx values	18,19	1,65%	15,37	1,40%	x	x
Average values	15,85	1,44%	13,48	1,23%	x	x
Sum values					1195	0,00%

9.4 Resultados Gerais – Nível 1+ 2

A tabela seguinte apresenta os resultados gerais de queda de tensão e das perdas de potência para o nível 2.

Table 12 - Quedas de tensão; Perdas de Potência; Nível 1 + 2 – PV Módulos até MVPS

To	AV Máx values (V/%)		AV Average values (V/%)		AP SUM Values (kW/%)	
	Average values	27,98	2,55%	13,48	1,743%	x
Sum values	x	x	x	x	506,91	0,43%

10. Conclusões

As conclusões mais relevantes do projeto são as seguintes:

Para o nível 1:

- O cabo selecionado é do tipo 1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x6mm²);
- O valor máximo do fator de utilização do mesmo é de 44%;
- O valor médio das quedas de tensão é de 0,52%;
- O valor das perdas de potência para o nível 1 é de 0,52%

Para o nível 2:

- O cabo selecionado é do tipo 1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x185mm²)
- O valor máximo do fator de utilização do mesmo é de 57%;
- O valor médio das quedas de tensão é de 0,73%;
- O valor das perdas de potência para o nível 2 é de 1,03%

Para o nível 1 + 2 (totalidade da parte da corrente contínua)

- O valor médio das quedas de tensão, resultante de valores médios é de 1,55%
- O valor das perdas de potência totais é de 1,24%

11. Anexos

11.1 Tipo de vala de Baixa tensão - exemplo

LOW VOLTAGE TRENCH

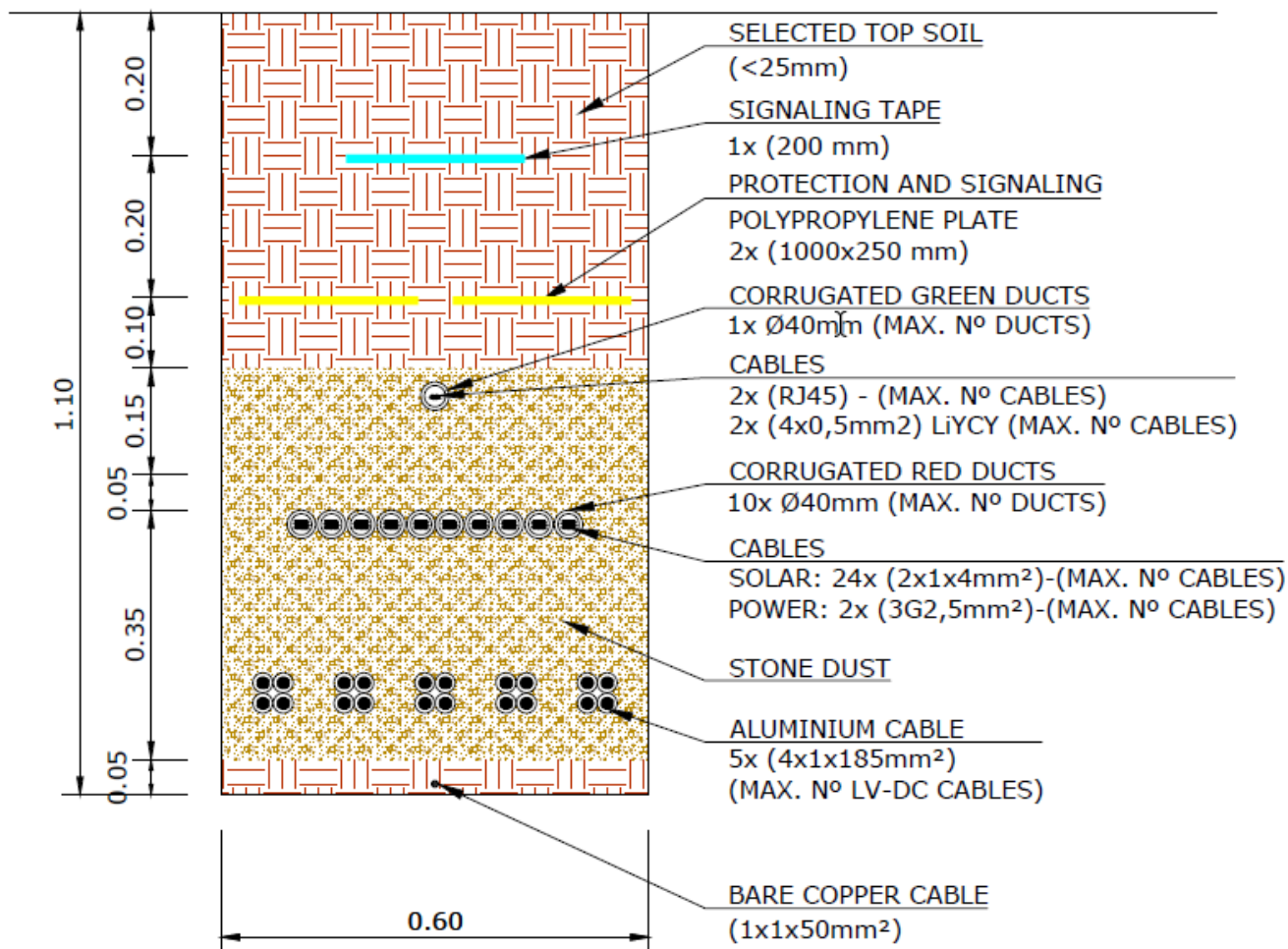


Figure 4 - Exemplo de vala de baixa tensão

Memória Técnica Cabos Média Tensão

Documento

Nome	Memória Técnica Cabos Média Tensão	
Revisão e data	1	2024-09-17
Projeto	Central Solar Fotovoltaica de Pereiro	
Criado	NM	
Revisto	JC	
Aprovado	PM	
Páginas	13	

Registo de revisões:

Rev.	Data	Modificação	Criado
0	2022-12-03	Primeira emissão	NM
1	2024-09-17	Alterações de secções de cabo	NM

Índice

1. ABREVIATURAS.....	5
2. DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	5
3. INTRODUÇÃO.....	6
4. DIMENSIONAMENTO E REQUISITOS OPERACIONAIS.....	6
5. METODOLOGIA.....	7
5.1 CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO	7
6. CÁLCULOS	8
6.1 CORRENTES MÁXIMAS EM REGIME ESTACIONÁRIO	8
6.2 CORRENTES MÁXIMAS DE CURTO-CIRCUITO	9
6.3 QUEDA DE TENSÃO (CA)	9
6.3.1 Resultados (queda de tensão)	10
6.4 PERDAS DE POTÊNCIA (AC)	10
6.5 CORREÇÃO TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO (AC)	11
6.5.1 Resultados (perdas de potência)	11
7. CONCLUSÕES	13

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Correntes máximas admissíveis corrigidas, em estado estacionário.....	8
Tabela 2 – Resultados de queda de tensão.....	10
Tabela 3 – resultados de perdas de potência.....	11

Índice de figuras

Figura 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica	6
Figura 2 – Condições de instalação (um ou dois circuitos MT por vala).....	7
Figura 3 – Valores de referência das correntes máximas de curto-circuito.....	9

1. Abreviaturas

(EPC)	Engineering, procurement, and construction
(SI units)	International System of Units
(PV)	Central Fotovoltaica
(MT)	Média Tensão
(BT)	Baixa tensão
(CA)	Corrente Alternada
(CC)	Corrente Contínua
(SLD)	Single Line Diagram – Esquema Unifilar

2. Documentos relacionados

3. Introdução

A central fotovoltaica tem 99 MVA de potência de injeção (CA) na rede através de uma subestação de 33/150 kV.

O objetivo deste documento é descrever o dimensionamento dos cabos de Média Tensão.

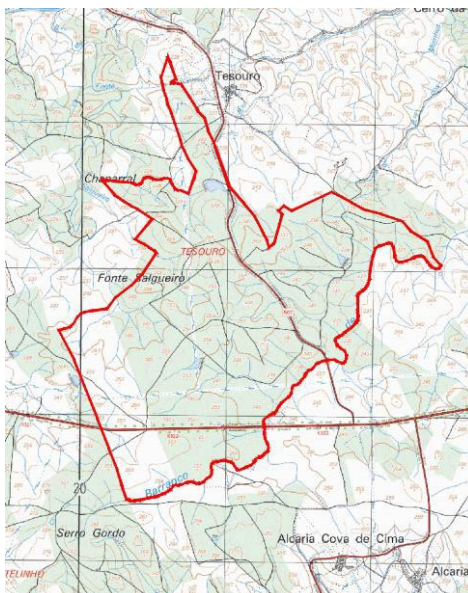


Figura 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica

4. Dimensionamento e requisitos operacionais

O dimensionamento de cabos é baseado nos seguintes regulamentos nacionais e internacionais de referência:

- “RSIUEE R.S.I.U.E.E. – Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica”;
- “Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas da Alta Tensão (Decreto Regulamentar n.º 1/92, de 18/02)”;
- “Condutores Isolados e seus acessórios para redes de Distribuição DMA-C33-251/N MAI 2017”;
- IEC 60287;
- IEC 60502-2.

5. Metodologia

- Condições de instalação (temperatura do ambiente e do solo, resistividade térmica do solo, fatores de redução de agrupamento de cabos);
- Correntes máximas admissíveis;
- Quedas de tensão;
- Perdas de potência;
- Correção de temperaturas de funcionamento.
- Correntes de curto circuito máximas;

5.1 Condições de instalação

- Temperatura ambiente máxima: 40°C;
- Temperatura máxima do solo: 30°C;
- Resistividade térmica do solo: 1,5 k.m/W;
- $\cos \phi = 1$.

Installation characteristics	
Conductor Material	Aluminium
Conductor type	single-core
Conductor maximum temperature (°C)	90
Soil maximum temperature (°C)	30
Cable depth (cm)	100
Maximum working temperature (°C)	90
Soil type	Very dry terrain
Distance between circuits (cm)	20
Number of circuits	1 or 2

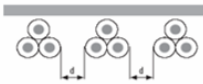


Figura 2 – Condições de instalação (um ou dois circuitos MT por vala)

6. Cálculos

6.1 Correntes máximas em regime estacionário

As correntes máximas, em regime estacionário, resultantes das condições de instalação escolhidas e dos fatores de redução (IEC 60502) são apresentadas na tabela seguinte.

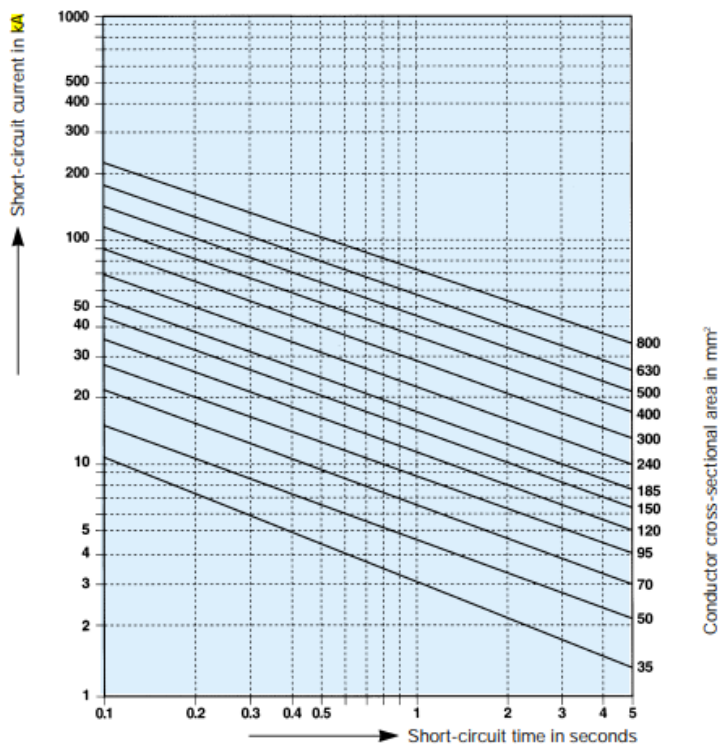
Circuito		S (kVA)	Troço (m)	Número de Circuitos	Número de cabos por fase	$I_{B \max}(A)$	Secção (mm ²)	I_z Corrected (A)
SS	PT 1	17 600	146	2	1	338,71	630	575
PT 1	PT 2	13 200	700	2	1	254,03	300	414
PT 2	PT 3	8 800	627	2	1	169,36	185	317
PT3	PT 4	4 400	1135	1	1	84,68	185	317
SS	PT 5	17 600	838	2	1	338,71	630	575
PT 5	PT 6	13 200	255	2	1	254,03	300	414
PT 6	PT 7	8 800	263	2	1	169,36	185	317
PT 7	PT 8	4 400	438	1	1	84,68	185	317
SS	PT 9	17 600	1399	2	2	338,71	630	575
PT 9	PT 10	13 200	322	2	1	254,03	300	414
PT 10	PT 11	8 800	242	2	1	169,36	185	317
PT 11	PT 12	4 400	540	1	1	84,68	185	317
SS	PT 13	17 600	1059	2	2	338,71	630	575
PT 13	PT 14	13 200	491	2	1	254,03	300	414
PT 14	PT 15	8 800	398	2	1	169,36	185	317
PT 15	PT 16	4 400	249	1	1	84,68	185	317
SS	PT 17	17 600	1618	2	2	338,71	630	575
PT 17	PT 18	13 200	480	2	1	254,03	300	414
PT 18	PT 19	8 800	451	2	1	169,36	185	317
PT 19	PT 20	4 400	406	1	1	84,68	185	317
SS	PT 21	17 600	2902	2	2	338,71	630	575
PT 21	PT 22	13 200	386	2	1	254,03	300	414
PT 22	PT 23	8 800	527	1	1	169,36	185	317
PT 23	PT 24	4 400	934	1	1	84,68	185	317

Tabela 1 - Correntes máximas admissíveis corrigidas, em estado estacionário

6.2 Correntes máximas de curto-circuito

Os valores de referência das correntes máximas de curto-circuito dos cabos considerados são os do DMA-C33-251/ N MAI 2017” são apresentados na figura seguinte.

Figura 3 – Valores de referência das correntes máximas de curto-circuito



6.3 Queda de Tensão (CA)

A queda de tensão (diferença de tensão entre o início e o final do circuito) para cada um dos circuitos é calculada de acordo com a seguinte expressão.

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_b \times \left(\frac{R \cos \varphi + X \sin \varphi}{1000} \right) \times L \quad (1)$$

Onde:

ΔV Queda de tensão (V);

L Comprimento do cabo (m),

$\cos \varphi$ Fator de potência

I_b Corrente nominal do circuito (A);

R Resistência (Ω/km);

X Reactância (Ω/km).

6.3.1 Resultados (queda de tensão)

Os resultados de queda de tensão dos cabos são mostrados na tabela seguinte.

Circuito		ΔV (V)	ΔV (%)
SS	PT 1	10,73	0,036
PT 1	PT 2	77,88	0,260
PT 2	PT 3	46,53	0,155
PT3	PT 4	20,81	0,069
SS	PT 5	124,41	0,415
PT 5	PT 6	28,41	0,095
PT 6	PT 7	9,64	0,032
PT 7	PT 8	16,25	0,054
SS	PT 9	103,84	0,346
PT 9	PT 10	17,73	0,059
PT 10	PT 11	17,96	0,060
PT 11	PT 12	20,04	0,067
SS	PT 13	38,84	0,129
PT 13	PT 14	54,61	0,182
PT 14	PT 15	29,55	0,099
PT 15	PT 16	4,56	0,015
SS	PT 17	120,08	0,400
PT 17	PT 18	53,39	0,178
PT 18	PT 19	16,54	0,055
PT 19	PT 20	15,06	0,050
SS	PT 21	215,35	0,718
PT 21	PT 22	21,24	0,071
PT 22	PT 23	39,10	0,130
PT 23	PT 24	34,65	0,116

Tabela 2 – Resultados de queda de tensão

6.4 Perdas de potência (AC)

A perda de potência (diferença entre a potência no início e o final do circuito) para cada um dos circuitos é calculada de acordo com a seguinte expressão.

$$P (W) = \sqrt{3} \times \frac{R}{1000} \times Ib^2 \times L \quad (4)$$

Onde:

P Perdas de potência (W);

R Resistência (Ω /km);

Ib Corrente nominal do circuito (A);

L Comprimento do cabo (m).

6.5 Correção temperatura de funcionamento (AC)

Normalmente a resistência fornecida pelo fabricante dos cabos é relativa aos 20° e necessita ser corrigida para a temperatura de funcionamento dos cabos de acordo com a seguinte expressão.

$$R_{\theta} (\Omega/km) = R_{20^{\circ}C} \times [1 + \alpha_{20^{\circ}C} \times (\theta - 20)] \quad (4)$$

Onde:

R_{θ} – Resistência do cabo para a temperatura de funcionamento (Ω/km);

$R_{20^{\circ}C}$ – Resistência do cabo para a temperatura de referência de 20°C (Ω/km);

$\alpha_{20^{\circ}C}$ – Resistividade do cabo para a temperatura de referência de 20°C;

θ – Temperatura de funcionamento do cabo.

6.5.1 Resultados (perdas de potência)

Os resultados de perdas de potência dos cabos são mostrados na tabela seguinte.

Circuito		Power Losses (kW)	Power Losses (%)
SS	PT 1	6,29	0,006
PT 1	PT 2	34,27	0,032
PT 2	PT 3	13,65	0,013
PT3	PT 4	3,05	0,003
SS	PT 5	72,99	0,069
PT 5	PT 6	12,50	0,012
PT 6	PT 7	2,83	0,003
PT 7	PT 8	2,38	0,002
SS	PT 9	121,84	0,115
PT 9	PT 10	7,80	0,007
PT 10	PT 11	5,27	0,005
PT 11	PT 12	2,94	0,003
SS	PT 13	45,57	0,043
PT 13	PT 14	24,03	0,023
PT 14	PT 15	8,67	0,008
PT 15	PT 16	0,67	0,001
SS	PT 17	140,90	0,133
PT 17	PT 18	23,49	0,022
PT 18	PT 19	4,85	0,005
PT 19	PT 20	2,21	0,002
SS	PT 21	252,68	0,239
PT 21	PT 22	9,34	0,009
PT 22	PT 23	11,47	0,011
PT 23	PT 24	5,08	0,005

Tabela 3 – resultados de perdas de potência

7. Conclusões

As conclusões mais relevantes são as seguintes:

O tipo de cabo selecionado é o LXHIOZ1 (ser) com seções transversais de 300,240 e 185 mm².

- A queda de tensão máxima do circuito é de 310 V, que corresponde a 1%;
- As perdas de potência máximas são 814,77 kW, o que corresponde a 0,82%.

Para informação adicional considerar os documentos relacionados.

Central Solar Fotovoltaica Pereiro

Documento

Nome	Memória Técnica Dimensionamento Proteções Baixa Tensão	
Revisão e data	0	2024-09-17
Projeto	Central Solar Fotovoltaica de Pereiro	
Criado	NM	
Revisto	PM	
Aprovado	PM	
Páginas	15	

Registo de revisões:

Rev.	Data	Modificação	Criado
0	2024-09-17	Primeira emissão	NM

Índice

1. ABREVIATURAS.....	5
2. DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	5
3. INTRODUÇÃO.....	6
4. DIMENSIONAMENTO E REQUISITOS OPERACIONAIS.....	7
5. CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL FOTOVOLTAICA.....	8
6. METODOLOGIA.....	9
6.1 PÓLO NEGATIVO À TERRA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6.2 PROTECÇÃO DE SOBRECORRENTE.....	9
6.3 CONDIÇÕES DE DIMENSIONAMENTO.....	9
6.3.1 Nível 1.....	10
6.3.2 Nível 2.....	10
6.4 PROTEÇÕES EM BAIXA TENSÃO, CORRENTE CONTÍNUA.....	11
7. CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO.....	13
7.1 CONSIDERAÇÕES.....	13
8. CÁLCULOS.....	13
8.1 CORRENTES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS CORRIGIDAS.....	13
8.2 CORRENTES DE CURTO CIRCUITO MÁXIMAS.....	14
8.3 DIMENSIONAMENTO DE PROTEÇÕES (NÍVEL 1; FUSÍVEL 16 A).....	14
8.4 DIMENSIONAMENTO DE PROTEÇÕES (NÍVEL 2; FUSÍVEL 400 A).....	15
9. RESULTADOS.....	15
9.1 PROTEÇÕES (NÍVEL 1; FUSÍVEL 16 A).....	15
9.2 PROTEÇÕES (NÍVEL 2; FUSÍVEL 400 A).....	15

Índice de Tabelas

Table 1 - Características do parque fotovoltaico (painel)	8
Table 2 - Características do parque fotovoltaico (Configuração elétrica)	8
Table 3 - Correntes máximas admisíveis - nível 1	13
Table 4 - Correntes máximas admisíveis - nível 2 (1 cabo por polo)	13
Table 5 - Correntes máximas admisíveis - nível 2 - 2 cabos por polo	14
Table 6 - Dimensionamento de proteções, considerações (nível 1; fusível 16 A)	14
Table 7 - Dimensionamento de proteções, considerações (nível 2; fusível 400 A).....	15

Índice de figuras

Figure 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica	6
Figure 2 – Vista geral da Central Solar Fotovoltaica, imagem via satélite	Error! Bookmark not defined.
Figure 3 - Sistema de pólo negativo à terra e sistema de monitorização de resistência de isolamento.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 4 – nível 1, curva de correção de temperatura ambiente para fusíveis.	10
Figure 5 – valores de protecção de sobrecorrentes	11
Figure 6 – nível 2, curva de correção de temperatura ambiente para fusíveis.	11
Figure 7 – Nível 1, esquema de ligação dos módulos à caixa de junção.	12
Figure 8 – Nível 1+2, esquema de ligação dos módulos à caixa de junção e da caixa de junção ao inversor.....	12
Figure 9 – Dimensionamento de proteções, resultados (nível 1; fusível 16 A).....	14
Figure 10 – Dimensionamento de proteções, resultados (nível 2; fusível 400 A).....	15

1. Abreviaturas

(EPC)	Engineering, procurement, and construction
(SI units)	International System of Units
(PV)	Central Fotovoltaica
(MT)	Média Tensão
(BT)	Baixa tensão
(CA)	Corrente Alternada
(CC)	Corrente Contínua
(SLD)	Single Line Diagram – Esquema Unifilar

2. Documentos relacionados

3. Introdução

A central fotovoltaica tem 99 MVA de potência de injeção (CA) na rede através de uma subestação de 33/150 kV.

O objetivo deste documento é descrever o dimensionamento das proteções de baixa tensão, mais especificamente da componente CC.

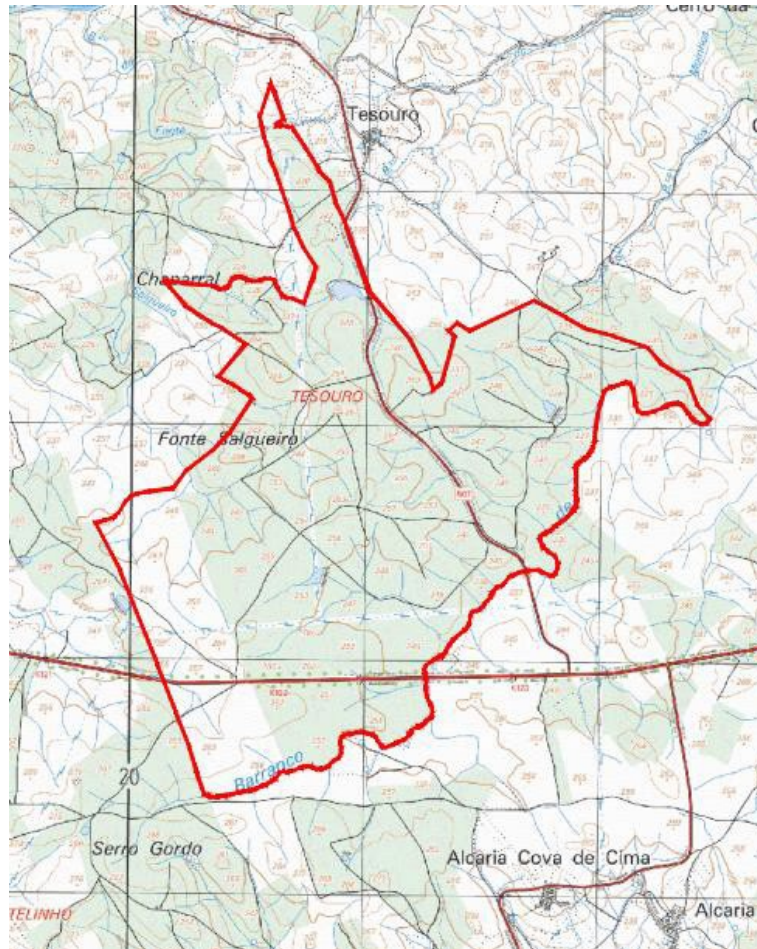


Figure 1 - Vista geral da Central Solar Fotovoltaica

4. Dimensionamento e requisitos operacionais

O dimensionamento de cabos é baseado nos seguintes regulamentos nacionais e internacionais de referência:

- “RSIUEE R.S.I.U.E.E. – Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica”;
- RTIEBT – “Regras técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”;
- EC 60364-4; Electrical installation of buildings, part 4, protection for safety;
- IEC 60364-4-43; Protection for safety – Protection against overcurrent;
- IEC 62109-1; Low-voltage fuses – General Requirements;
- IEC 60269-6:2010; Low-voltage fuses – Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems;

5. Características da central fotovoltaica

A arquitetura da central solar fotovoltaica é baseada em diversos conjuntos de módulos fotovoltaicos conectados em série, neste caso 34 painéis. Estes conjuntos serão conectados às caixas de junção, até um máximo de 16 séries de painéis em paralelo. Todas as caixas de junção são por sua vez conectadas ao respetivo Posto de Transformação.

Posto isto, em termos de dimensionamento das proteções, pode-se dividir a Central Solar Fotovoltaica de Pereiro em dois níveis:

- Nível 1: PV módulos até caixa de junção;
- Nível 2: Caixas de junção até à PVStation;

As principais características da central fotovoltaica encontram-se descritas nas figuras seguintes:

Table 1 - Características do parque fotovoltaico (painel)

Considerações	
Power (W)	615
Vca (V):	48,58
Isc (A):	16,00
Vmpp (V):	40,71
Impp (A):	15,11

Table 2 - Características do parque fotovoltaico (Configuração elétrica)

Considerações	
Número de Módulos em Série	27
Número de Strings em Paralelo na Caixa de Junção	16
Número de Condutores por pólo	1

Nível 1: Módulos até à Caixa de Junção	Cabo solar em cobre
P (W):	16 605,00
U(V):	1 099,17
I (A):	15,11
Nível 2: Caixa de Junção até Inversor	Cabo Alumínio
P (W):	265 680,00
U (V):	1 099,17
I (A):	241,76

6. Metodologia

6.1 Protecção de sobrecorrente

As proteções de sobrecorrente, mais especificamente os fusíveis, são dimensionados de acordo com as normas IEC 60364-4-3 e IEC 60269-6.

Para este caso foram testados os seguintes cenários:

- Nivel 1: PV módulos até às caixas de junção: cabo solar 1.5/1.5 kV DC (Cu) 1x(2x1x6mm²). Fusível a ser colocado $I_n = 30$ A.
- Nivel 2: Caixas de junção até ao lado CC do Posto de Transformação: cabo CC monopolar 1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x185mm²). Fusíveis a ser colocado: $I_n = 350$ A.
-

6.2 Condições de dimensionamento

As fórmulas a utilizar para o dimensionamento são:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1.45 \times I_z \quad (2)$$

Sendo que:

I_b : Corrente nominal do circuito (A);

I_n : Corrente nominal do fusível (A);

I_z : Corrente admissível do cabo (A);

I_2 : Corrente que garante o funcionamento efetivo das proteções durante um certo tempo

Adicionalmente para dimensionamento de fusíveis a aplicar em plantas fotovoltaicas, devemos ter em consideração à corrente de curto circuito para temperaturas ambiente e o fator de redução para o ciclo de carga

Por exemplo para uma temperatura de 45 graus e um pico de radiação de 1200 w/m², o dimensionamento do fusível deve ter em consideração o seguinte:

$$I_{n(fuse)} \geq 1,4 \times I_{sc} \quad (3)$$

Do fabricante de fusíveis e para as condições referidas anteriormente podemos retirar o valor do A1 e do A2.

$$1,4 = \frac{1}{A1 \times A2} \quad (4)$$

Onde:

I_n : Corrente nominal dos fusíveis (A);

I_{sc} : Corrente de curto circuito dos painéis (A);

A1: Fator de redução devido à temperatura ambiente (Figure 7);

A2: Fator de redução devido ao ciclo de carga, aplicado a instalações fotovoltaicas

6.2.1 Nível 1

Considerando a temperatura do ar ambiente: 40°C e o número de fusíveis instalados juntos na mesma caixa de junção, espera-se que a temperatura máxima dos fusíveis esteja no máximo 65°C e, portanto, a corrente nominal I_n : Fusível (A) seja reduzida de acordo. na figura seguinte ($A_1 = 0,79$) e o fator de redução da carga de ciclo correspondente calculado a partir da fórmula 4 ($A_2 = 0,80$). $I_2 = 1,40 \times I_n$ (fusível) de acordo com a norma IEC 60269-6: 2010.

t_a (°C)	A_1
25	1
30	0,98
35	0,95
40	0,92
45	0,90
50	0,87
55	0,85
60	0,82
65	0,79
70	0,76
75	0,72
80	0,69

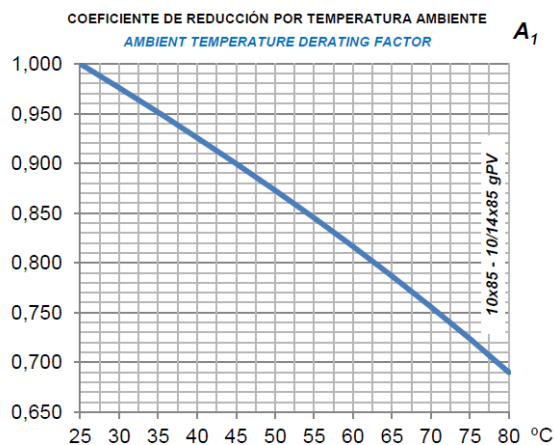


Figure 2 – nível 1, curva de correção de temperatura ambiente para fusíveis.

6.2.2 Nível 2

Considerando a temperatura do ar ambiente: 40°C e o número de fusíveis instalados juntos na mesma caixa de junção, espera-se que a temperatura máxima dos fusíveis esteja no máximo a 60°C e, portanto, a corrente nominal I_n : Fusível (A) deve ser reduzida de acordo na figura seguinte ($A_1 = 0,85$) e o fator de redução da carga de ciclo correspondente calculado a partir da fórmula 4 ($A_2 = 0,80$).

O fabricante da PVStation definiu $I_2 = 1,35 \times I_n$ (fusível), conforme descrito na figura seguinte:

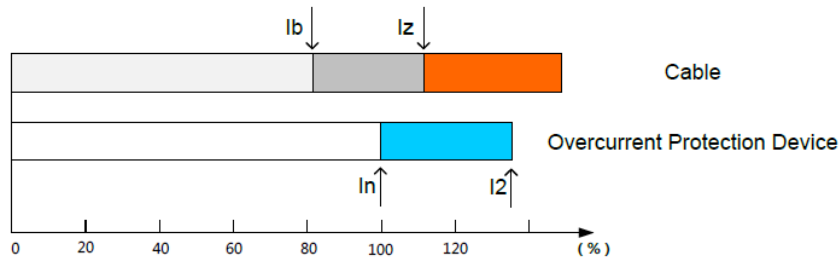


Figure 3 – valores de protecção de sobrecorrentes

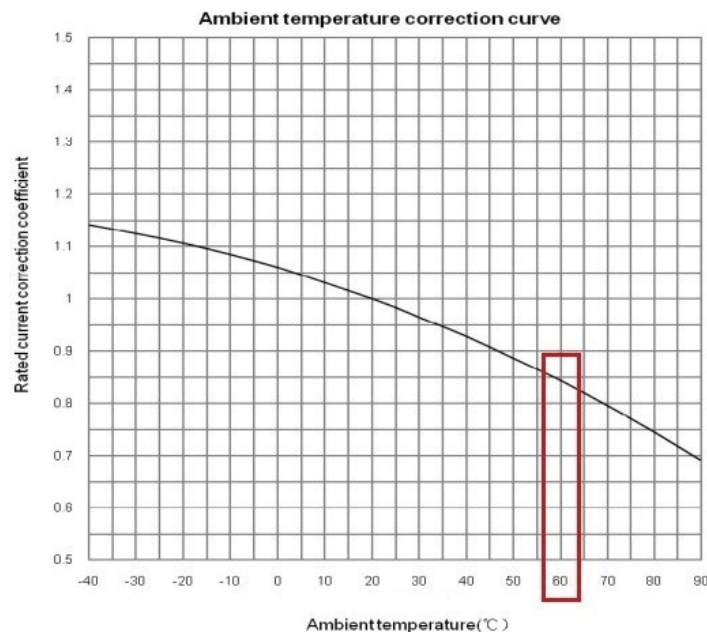


Figure 4 – nível 2, curva de correção de temperatura ambiente para fusíveis.

6.3 Proteções em Baixa Tensão, corrente contínua

As proteções em Baixa Tensão, corrente contínua, mais frequentes, são as seguintes:

- Módulo fotovoltaico: 3 díodos de derivação;
- Caixa de junção: fusível para cada cabo / "string" solar (somente pólo positivo), Figura 8;
- Inversor: fusível para cada cabo CC (somente pólo positivo), função de monitoramento da resistência de isolamento de acordo com as figuras seguintes:

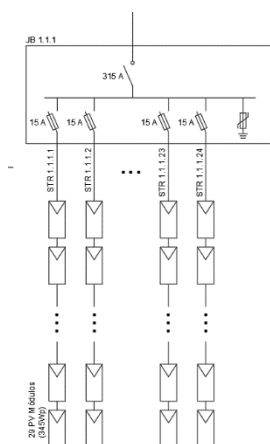


Figure 5 – Nível 1, esquema de ligação dos módulos à caixa de junção.

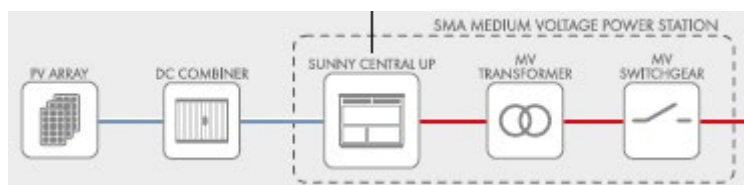


Figure 6 – Nível 1+2, esquema de ligação dos módulos à caixa de junção e da caixa de junção ao inversor.

7. Condições de instalação

7.1 Considerações

- Temperatura ambiente máxima: 40°C;
- Temperatura máxima do solo: 30°C;
- Resistividade térmica do solo: 1,5 k.m/W;
- $\cos \phi = 1$;

8. Cálculos

8.1 Correntes máximas admissíveis corrigidas

Na tabela seguinte são apresentadas as correntes máximas suportadas pelos cabos anteriormente referidos, para os respetivos níveis e tendo em consideração o fator de redução global descrito ao longo do documento.

Para informação adicional considerar os seguinte documentos: DC1 - Calculo de Cabos BT.

Table 3 - Correntes máximas admiseveis - nível 1

Nível 1: PV Módulos até Caixa de Junção		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D1 IEC table B52.5
		(A)
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x4mm ²)	4	20,57
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x6mm ²)	6	25,14
1.5/1.5 kV (Cu) 1x(2x1x10mm ²)	10	33,14

Table 4 - Correntes máximas admiseveis - nível 2 (1 cabo por polo)

Nível 2: Caixa de junção até PVStation		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D2 IEC table B52.3
		(A)
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x150mm ²)	150	171
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x185mm ²)	185	194
1.8/3.0 kV (Al) 1x(2x1x240mm ²)	240	225

Table 5 - Correntes máximas admiseveis - nível 2 - 2 cabos por polo

Nível 2: Caixa de junção até PVStation		
Tipo de Cabo	Secção de cabo (mm ²)	Tipo D2 IEC table B52.3
		(A)
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x150mm ²)	150	342
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x185mm ²)	185	388
1.8/3.0 kV (Al) 2x(2x1x240mm ²)	240	449

8.2 Correntes de curto circuito máximas

As correntes prejudiciais da instalação elétrica geralmente devem-se a sobrecargas e correntes de curto-circuito. Como as centrais fotovoltaicas são projetadas para suportar correntes de produção máximas, o conceito de sobrecarga não se aplica a ela. Além disso, as correntes de curto-circuito não são muito maiores que as correntes nominais de operação e isso significa que uma corrente de curto-circuito na instalação não pode ser detetada por dispositivos de proteção convencionais e, portanto, o projeto de proteção específico não é aplicável.

Para informação adicional considerar os seguintes documentos:

ET7 - Ficha Técnica Cabo Solar

ET8 - Ficha Técnica Cabo CC

8.3 Dimensionamento de proteções (nível 1; fusível 16 A)

Table 6 - Dimensionamento de proteções, considerações (nível 1; fusível 16 A)

Corrente do circuito I _b (por cabo ou por fase)	15,11
I _n : Corrente equipamento de proteção (A);	30
I _n : Corrente equipamento de proteção (A) corrigido	18,96
I _{sc} : Corrente curto circuito módulo (A);	18,42
A1: Fator de redução devido à temperatura ambiente	0,79
A2: Fator de redução devido ao ciclo de carga, aplicado a instalações fotovoltaicas	0,8

S(mm ²)	I _z (one circuit only)	Cable Temp. (°C)	IEC 60364-4-43				IEC 60269				Cable load			
			Resistanc e @ cable temp. (n/km)	I _b (circuit)	I _n protection device (A); *corrected	I _z (current ensuring effective protection) (A) I _z =1,45I _n	I _z _corrected (A) (total circuits)	1,45I _z	STATUS	I _{sc}		I _{sc} /(A1xA2)	I _n (fuse)	STATUS
1,50	15	I _b >I _z _corr	I _b >I _z _corr	15,11	18,96	27,49	15,00	21,75	NOT OK	16,00	25,32	30	OK	101%
2,50	20	61,2122	3,27	15,11	18,96	27,49	20,00	29,00	NOT OK	16,00	25,32	30	OK	76%
4,00	25,71	48,04	5,65	15,11	18,96	27,49	25,71	37,28	NOT OK	16,00	25,32	30	OK	59%
6,00	31,43	41,81	3,58	15,11	18,96	27,49	31,43	45,57	OK	16,00	25,32	30	OK	48%
10,00	41,43	36,67	2,04	15,11	18,96	27,49	41,43	60,07	OK	16,00	25,32	30	OK	36%

Figure 7 – Dimensionamento de proteções, resultados (nível 1; fusível 16 A)

8.4 Dimensionamento de proteções (nível 2; fusível 400 A)

Table 7 - Dimensionamento de proteções, considerações (nível 2; fusível 400 A)

Corrente do circuito I_b (por cabo ou por fase)	110,76
I_n : Corrente equipamento de proteção (A);	350
I_n : Corrente equipamento de proteção (A) corrigido	238
I_{sc} : Corrente curto circuito módulo (A);	232,08
A1: Fator de redução devido à temperatura ambiente	0,85
A2: Fator de redução devido ao ciclo de carga, aplicado a instalações fotovoltaicas	0,8

Figure 8 – Dimensionamento de proteções, resultados (nível 2; fusível 400 A)

S(mm ²)	I _z (one circuit only)	Cable Temp. (°C)	Resistance @ cable temp. (Ω/km)	IEC 60364-4-43						IEC60269				
				I _b (circuit)	I _n protection device (A)*corrected	I ₂ (current ensuring effective protection) (A) I ₂ =1,35xI _n	I _z corrected (A) (total circuits)	1,45xI _z	STATUS	I _{sc}	I _{sc} /(A1xA2)	I _n (fuse)	STATUS	Cable load
120	152,55	58	0,2923	221,52	238,00	321,30	305,10	442,39	NOT OK	232,08	341,29	350,00	OK	73%
150	170,88	52	0,2327	221,52	238,00	321,30	341,76	495,56	OK	232,08	341,29	350,00	OK	65%
185	193,80	47	0,1818	221,52	238,00	321,30	387,59	562,01	OK	232,08	341,29	350,00	OK	57%
240	224,57	42	0,1363	221,52	238,00	321,30	449,14	651,25	OK	232,08	341,29	350,00	OK	49%
300	252,72	40	0,1079	221,52	238,00	321,30	505,44	732,89	OK	232,08	341,29	350,00	OK	44%

9. Resultados

9.1 Proteções (nível 1; fusível 30 A)

Os cálculos mostram que o fusível de 30 A protege todos os cabos solares testados: 1,5 / 1,5kV DC (Cu) 1x (2x1x6mm²).

9.2 Proteções (nível 2; fusível 350 A)

Os cálculos mostram que o fusível 350 A protege os cabos DC 1,8 / 3,0 kV (Al) 2x2x1x185 mm².