

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 1 de 43

ÍNDICE DE REVISÕES										
Rev.	TIPO	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	B	Emissão Inicial								
		REV.0	REV. 1	REV. 2	REV. 3	REV. 4	REV. 5	REV. 6	REV. 7	REV. 8
DATA		20/04/2021								
PROJETO		YIZ								
EXECUÇÃO		YIZ								
VERIFICAÇÃO		DAL								
APROVAÇÃO		DAL								
TIPO DE EMISSÃO										
A - PRELIMINAR			D - PARA COTAÇÃO				G - PARA CONSTRUÇÃO			
B - PARA APROVAÇÃO			E - PARA COMPRA				H - CONFORME CONSTRUÍDO			
C - PARA INF. E USO			F - CONFORME COMPRADO				J - CANCELADO			


	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 2 de 43

Sumário

1	OBJETIVO	4
2	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	4
3	DADOS DA PLANTA MINIGERAÇÃO	5
3.1	Geração do sistema fotovoltaico - PVSOL	6
3.1.1	Dados de configuração da planta	7
3.1.1.1	Módulos	7
3.1.1.2	Inversor	7
3.1.1.3	Energia Gerada	8
3.2	Condutores	9
3.2.1	Séries (<i>string</i>) – Circuito BT1	9
3.2.2	Entre inversor e o quadro geral de baixa tensão (QGBT) – circuito BT2	9
3.2.3	Entre o transformador pedestal e a chave seccionadora da SE – circuito BT3	10
3.3	Malha de aterramento - Minigeração	11
3.3.1	Corrente de Curto-Circuito Monofásico assumida para a Minigeração	11
3.3.2	Características construtivas da malha de aterramento – Fundação	12
3.3.3	Resistividade da camada superior do solo	13
3.3.4	Resistividade do solo	13
3.3.5	Resumo	15
3.3.6	Dimensionamento dos condutores da malha de aterramento	15
3.3.7	Cálculo da resistência de aterramento, tensão de toque e tensão de passo	16
3.3.8	Conclusão	20
3.4	Projeto Luminotécnico	21
4	DADOS DA PLANTA MICROGERAÇÃO	23
4.1	Geração do sistema fotovoltaico - PVSOL	24
4.1.1	Dados de configuração da planta	24
4.1.1.1	Módulos fotovoltaicos	24
4.1.1.2	Inversor	25
4.1.1.3	Energia Gerada	25
4.2	Condutores	27
4.2.1	Séries (<i>string</i>) – circuito BT1	27

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 3 de 43

4.2.2	Entre inversor e o transformador abrigado – circuito BT2	27
4.2.3	Entre transformador e QGBT – circuito BT3	28
4.3	Malha de aterramento	29
4.3.1	Corrente de Curto-Circuito Monofásico assumida para a Minigeração	29
4.3.2	Características construtivas da malha de aterramento – Fundação	29
4.3.3	Resistividade da camada superior do solo	30
4.3.4	Resistividade do solo	31
4.3.5	Resumo	33
4.3.6	Dimensionamento dos condutores da malha de aterramento	33
4.3.7	Cálculo da resistência de aterramento, tensão de toque e tensão de passo	34
4.3.8	Conclusão	37
1.	ANEXO I – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CANADIAN CS3W 400P	38
2.	ANEXO II – DATASHEET DO INVERSOR GROWATT 75 KW 7 MPPT	39
3.	ANEXO III – CIRCUITO ENTRE INVERSOR E TRANSFORMADOR PEDESTAL – MINIGERAÇÃO	40
4.	ANEXO IV – CIRCUITO ENTRE TRANSFORMADOR PEDESTAL	41
5.	ANEXO V – CIRCUITO ENTRE INVERSOR E TRAFO REBAIXADOR DA MICROGERAÇÃO	42
6.	ANEXO VI – CIRCUITO ENTRE TRANSFORMADOR E PADRÃO DE ENTRADA - MICROGERAÇÃO	43

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 4 de 43

1 OBJETIVO


O presente memorial de cálculo tem por objetivo apresentar o dimensionamento dos componentes envolvidos nos projetos de microgeração e minigeração da Polícia Federal.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Todas as instalações foram projetadas e deverão ser executadas em estrita concordância com as Normas Técnicas:

- NBR-5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão
- NBR-5419 – Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas
- NBR 5471 - Condutores Elétricos
- NBR-6146 – Graus de Proteção Promovidos por Invólucros
- NBR-6509 – Eletrotécnica e Eletrônica – Instrumentos de Medição
- NBR-6808 – Conjunto de Manobra e Controle de Baixa Tensão
- NBR-6979 – Conjunto de Manobra e Controle de Alta Tensão em Invólucro Metálico
- NBR-16150 – Sistemas fotovoltaicos (FV)
- NBR-16274 – Sistemas fotovoltaicos conectados à Rede
- NR-10 – Normas de Segurança em Equipamentos Elétricos
- NBR IEC 50 (Nomenclatura)
- 6855 (Transformadores de Potencial)
- 6856 (Transformadores de corrente)

Observamos que quaisquer alterações feitas no projeto e/ou execução sem prévio aviso e consentimento dos autores e/ou co-autores do presente, isentar-se-ão os mesmos das responsabilidades legais e técnicas do referido empreendimento.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 5 de 43

3 DADOS DA PLANTA MINIGERAÇÃO

Nome do Cliente: MINISTÉRIO DA JUSTIÇA MJU DEP POL FED-FOZ

CNPJ: 00.394.494/0077-34

Endereço: Avenida José Maria de Brito, 3471, Centro Cívico, Foz do Iguaçu – PR, CEP: 85863-730

Número da UC: 56035500

Modelo dos módulos: Canadian HiKu CS3W-400P

Potência dos módulos: 400W (STC)

Quantidade de módulos: 738

Potência CC (kWp) total: 295,2 kWp

Modelo dos inversores: Growatt MAX 75KTL3 LV

Potência dos Inversores (kW): 75

Quantidade de inversores: 3

Potência CA total (kW): 225


Tipo de Estrutura: Carport

Quantidade de Carport: 48 estruturas de duas vagas, resultando em 96 vagas.

Consumo atual do cliente:

Mês/Ano	Valor da Fatura	Data de Vencimento	Data de Pagamento	Consumo Ponta	Consumo Fora Pta.	Demanda Ponta	Demanda Fora Pta.	Dem.Cont. Ponta	Dem.Cont. Fora Pta.	Dem.Tol. Ponta	Dem.Tol. Fora Pta.
10/2020	36.376,66	25/11/2020		5052	48827	169.34	240.19	0	230	0	241.5
09/2020	32.504,78	25/10/2020	16/10/2020	4203	44033	128.73	228.09	0	230	0	241.5
08/2020	23.275,26	25/09/2020	22/09/2020	3031	29485	124.41	168.48	0	230	0	241.5
07/2020	28.121,99	25/08/2020	11/08/2020	3795	35466	115.77	142.56	0	230	0	241.5
06/2020	28.533,81	25/07/2020	15/07/2020	3815	35037	119.23	216	0	230	0	241.5
05/2020	31.003,78	25/06/2020	09/06/2020	3384	39399	129.6	191.8	0	230	0	241.5
04/2020	48.193,90	25/05/2020	15/05/2020	5037	60479	219.45	311.04	0	230	0	241.5
03/2020	46.678,44	25/04/2020	06/05/2020	5160	60183	214.27	281.66	0	230	0	241.5
02/2020	50.809,20	25/03/2020	18/03/2020	5473	65998	225.5	270.43	0	230	0	241.5
01/2020	49.690,02	25/02/2020	17/02/2020	5257	60470	200.44	301.53	0	230	0	241.5
12/2019	51.671,92	25/01/2020	14/01/2020	5967	62651	213.4	265.24	0	230	0	241.5
11/2019	53.163,38	25/12/2019	06/12/2019	5671	62607	214.27	313.63	0	230	0	241.5

Tabela 1- Consumo de energia elétrica UC n°56035500

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 6 de 43

A expectativa é que a geração do sistema (indicado na seção 3.1.1.3) corresponda a aproximadamente 67,50% do consumo atual.


3.1 Geração do sistema fotovoltaico - PVSOL

O cálculo da geração da planta consistiu em utilizar o software PVSOL, ano 2019, versão 8.2, o qual permite a alocação do sistema da polícia federal em 3D.

O software de georreferenciamento utiliza os dados de irradiação (Meteonorm 7.2) para os cálculos de geração. Além disso, leva-se em conta os possíveis sombreamentos causados por objetos próximos. A figura abaixo indica a localização dos carports no software:



Figura 1 - Localização dos Carports

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 7 de 43

3.1.1 Dados de configuração da planta

3.1.1.1 Módulos

Segue abaixo os dados dos módulos utilizados na simulação:

Tabela 2 – Dados do módulo

Fabricante	Canadian
Modelo	CS3W-400P
Número de módulos	738
Potência total das placas	295,2
Inclinação	10
Orientação	5

Detalhes do módulo podem ser conferidos no ANEXO I do presente documento.

3.1.1.2 Inversor

Segue abaixo a configuração do inversor:

Tabela 3 – Dados do inversor


Fabricante	GROWATT ENERGY
Modelo	MAX 75KTL3 LV
Quantidade de Inversores	3
Potência total C.A	225
MPPT	7

Detalhes do inversor podem ser conferidos no ANEXO II do presente documento.

As ligações das MPPTs são iguais para cada um dos inversores e foram feitas desta forma para uma melhor otimização elétrica:

Tabela 4 – Configuração das ligações das strings

Configuração das MPPT	
MPPT1	2x20
MPPT2	2x21
MPPT3	2x20
MPPT4	2x21
MPPT5	2x20
MPPT6	2x21
MPPT7	-

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 8 de 43

3.1.1.3 Energia Gerada

A partir dos dados inseridos no modelo 3D, o software calcula a geração estimada e compara com o consumo para criar uma linha de balanço do sistema. O resultado da simulação é apresentado abaixo:

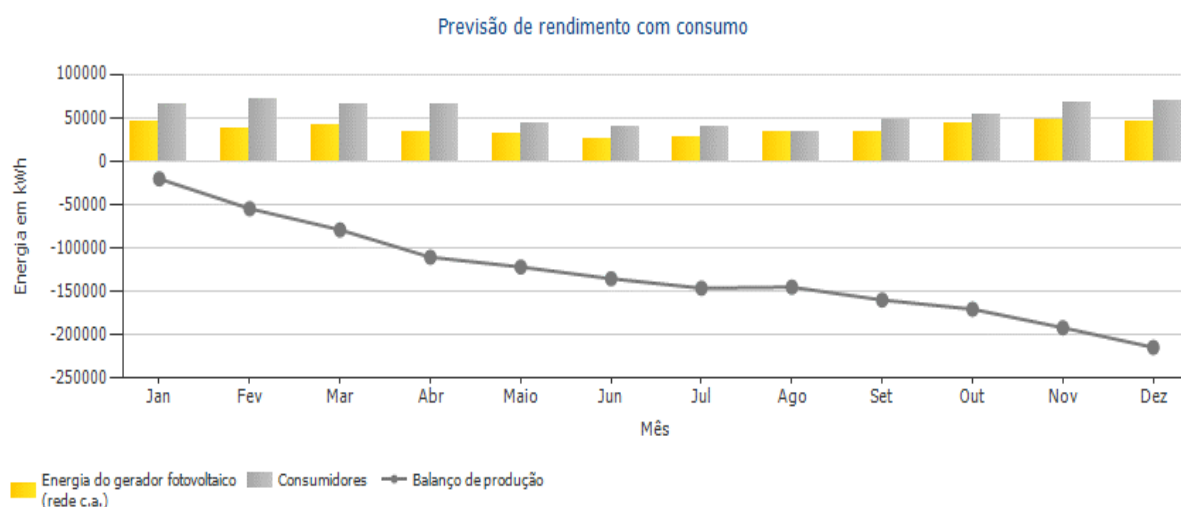



Figura 2 – Resultado da geração do sistema da minigeração

Outra forma de visualizar a geração x consumo se dá pela tabela abaixo:

Tabela 5 - Resultado da geração do sistema da minigeração

Mês	Geração	Consumo	Balanço de produção
Jan	15171,2	3368	11802,9
Fev	12374,9	3183	20994,5
Mar	13479,8	3101	31372,9
Abr	11193	3410	39155,5
Maio	10408,2	3671	45892,3
Jun	8357,6	4533	49716,5
Jul	9319,6	4157	54878,8
Ago	11135,8	4082	61932,2
Set	10894,8	4707	68119,7
Out	14360,4	4821	77658,7
Nov	15615,9	3926	89348,4
Dez	15287,8	4079	100556,9

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 9 de 43

A expectativa é que a geração do sistema corresponda a aproximadamente 67,50% do consumo atual. Além disso, o software fornece a geração total do sistema e o PR (performance ratio) do sistema.

Qualidade técnica do sistema fotovoltaico	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	446.153 kWh/Ano
Rendimento anual específico	1.511,36 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	85,1 %

Figura 3 – Performance Ratio do sistema da minigeração

O relatório do software PVsol para o sistema será enviado em anexo para consulta.

3.2 Condutores

3.2.1 Séries (*string*) – Circuito BT1

A capacidade de condução de corrente mínima para os condutores dos arranjos fotovoltaicos é dada pela ABNT NBR 16.690.

Para as séries, essa corrente mínima é calculada pela seguinte equação:

$$I_b = 1,5 \times I_{sc @ stc}$$

$$I_b \Rightarrow I_{fus}$$


Os cabos devem atender a ABNT NBR 16612 ("cabo solar") e a capacidade de condução de corrente é obtida nos métodos de instalações descritos no Anexo C da respectiva norma.

Os condutores são de cobre estanhado e têmpera mole, classe 5 de encordoamento.

As seções dos condutores estão dimensionadas nos esquemas unifilares constantes dos projetos.

3.2.2 Entre inversor e o quadro geral de baixa tensão (QGBT) – circuito BT2

O circuito BT2 corresponde ao circuito que interliga os inversores ao QGBT que será instalado em campo. Para o dimensionamento foi considerado o pior caso, ou seja, para o inversor mais afastado do QGBT, que corresponde a uma distância de aproximadamente 60 metros. Ainda, foram considerados no dimensionamento que a potência individual de cada circuito é de 75kW, tensão de

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 10 de 43

380V, serão utilizados cabos de cobre com isolamento EPR, temperatura ambiente de 40°C e que os cabos serão instalados diretamente enterrados no solo.

A corrente nominal de cada circuito individual, calculada com base nas premissas indicadas, será:

$$I_N = \frac{P(kW)}{\sqrt{3} \times 0,38kV} = \frac{75}{\sqrt{3} \times 0,38kV} = 113,9507 A$$

$$I_N = 113,95 A$$


O dimensionamento da seção dos cabos foi feito através do software da Prysmian cabos. O resumo detalhado das premissas adotadas no dimensionamento está indicado no relatório gerado pelo software, indicado no Anexo III. Abaixo é indicado um resumo dos condutores que serão utilizados para este circuito:

• TIPO DE MATERIAL CONDUTOR:		Cobre
• NÚMERO DE CONDUTORES DO CABO:		1
• TIPO:		Isolado
• TIPO DE ISOLAÇÃO:		EPR
• TENSÃO NOMINAL DA ISOLAÇÃO:		0,6/1kV
• Nº DE FASES:	3	
• CABOS POR FASE	1	
• TEMPERATURA DO CONDUTOR:	90°C	
• TEMPERATURA AMBIENTE		40°C

Segundo o resultado obtido através da simulação realizada no software, para atender todos os critérios e dimensionamento a seção mínima dos condutores deste circuito deverão ser de 50mm², entretanto por fatores conservativos e visando a redução das perdas elétricas será utilizado um cabo de 70mm² para este trecho.

3.2.3 Entre o transformador pedestal e a chave seccionadora da SE – circuito BT3

O circuito BT3 corresponde ao trecho que interliga o quadro do transformador pedestal ao quadro novo a ser construído, denominado QGDS. Para o dimensionamento foi considerado a distância de 240 metros, que corresponde a distância aproximada entre o local proposto para o novo quadro e o quadro QGDS. Ainda, foram considerados no dimensionamento que a potência do conjunto de

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 11 de 43

inversores é igual a 75kW, tensão de 13,8 kV, serão utilizados cabos de cobre ou alumínio com isolação EPR, temperatura ambiente de 40°C e que os cabos serão instalados diretamente enterrados no solo.

A corrente nominal de cada circuito individual, calculada com base nas premissas indicadas, será:

$$I_N = \frac{P(kW)}{\sqrt{3} \times 13,8kV} = \frac{225}{\sqrt{3} \times 13,8kV} = 9,4133A$$

$$I_N = 9,41 A$$

O dimensionamento da seção dos cabos foi feito através do software da Prysmian cabos. O resumo detalhado das premissas adotadas no dimensionamento está indicado no relatório gerado pelo software, indicado no Anexo IV. Abaixo é indicado um resumo dos condutores que serão utilizados para este circuito:


- TIPO DE MATERIAL CONDUTOR:
Alumínio
- NÚMERO DE CONDUTORES DO CABO **1**
- TIPO: **Isolado**
- TIPO DE ISOLAÇÃO: **EPR**
- TENSÃO NOMINAL DA ISOLAÇÃO: **8,7/15 kV**
- Nº DE FASES: **3**
- CABOS POR FASE **1**
- TEMPERATURA DO CONDUTOR: **90°C**
- TEMPERATURA AMBIENTE **40°C**

Segundo o resultado obtido através da simulação realizada no software, para atender todos os critérios e dimensionamento a seção mínima dos condutores deste circuito deverão ser de 50mm².

3.3 Malha de aterramento - Minigeração

3.3.1 Corrente de Curto-Circuito Monofásico assumida para a Minigeração

A corrente de curto-circuito monofásico assumida para o projeto foi de 2,5 kA e X/R de 1,5. Já o tempo de remoção de curto dimensionando foi de 0,3 segundos.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 12 de 43

3.3.2 Características construtivas da malha de aterramento – Fundação

A malha de aterramento do sistema fotovoltaico da Polícia Federal da minigeração e da microgeração será feita a partir da fundação dos carports instalados. Cada fundação do carport será um vértice da malha de aterramento na qual contará com hastes de 3/8” e comprimento de 3 metros, totalizando assim, 54 hastes de aterramento com para esta simulação. Os condutores que interligam as fileiras de carports serão do tipo cobre nu de 35 mm² enterrados a 0,7 m de profundidade.

Pela disposição da fundação da minigeração, a malha de aterramento ficará com o comprimento de 60 metros na horizontal e 40 metros na vertical, espaçados conforme a própria conforme as distâncias das próprias fundações (12 metros na horizontal e 5 metros na vertical). A malha de aterramento estará instalada a uma profundidade de 0,7 metros.

A Figura 4 ilustra a malha de aterramento a ser construída. As dimensões na figura estão indicadas em metros.

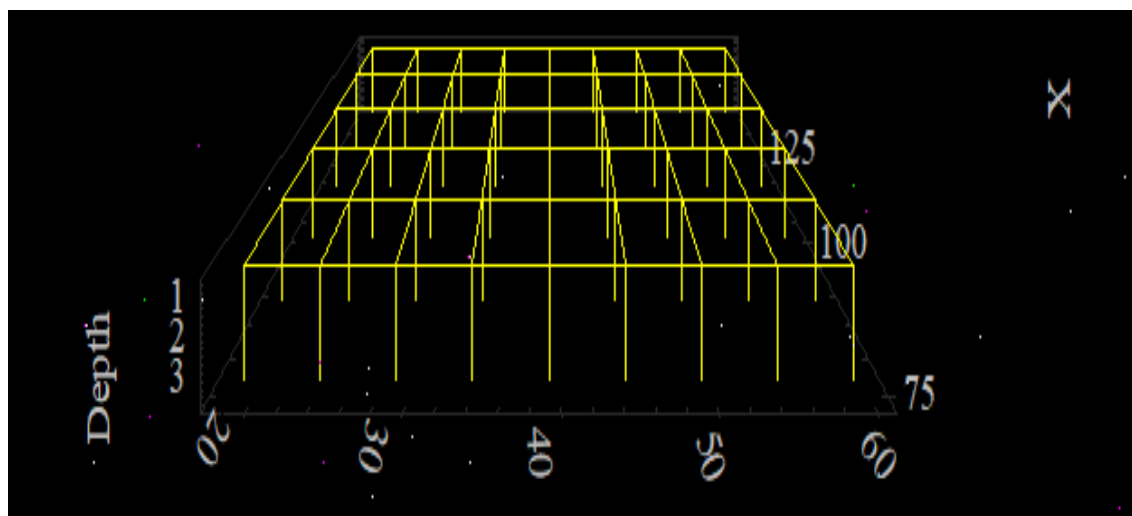



Figura 4 - Ilustração da malha de aterramento a ser instalada

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 13 de 43

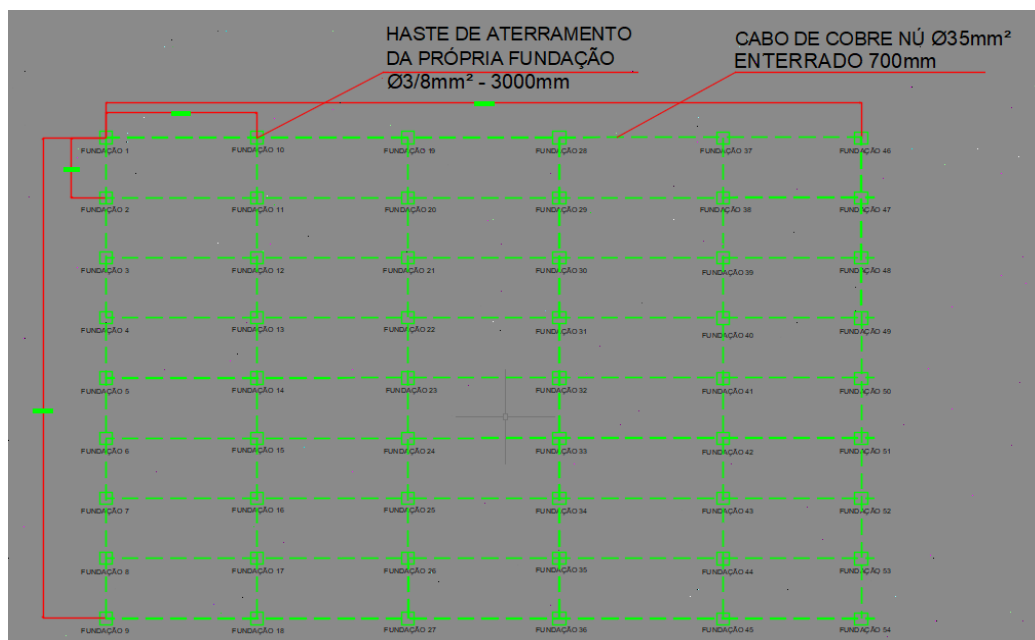


Figura 5 – Representação da fundação da malha de aterramento

Percebe-se que as hastes de fixação da fundação servirão como hastes de aterramento e deverão ser interconectadas com cabos de 35 mm² nu enterradas a 0,7 m.

3.3.3 Resistividade da camada superior do solo

A camada superior do solo será coberta por aproximadamente 20 centímetros de paver. Este material possui uma resistividade de aproximadamente 3000Ω metro.

3.3.4 Resistividade do solo

Com o intuito de determinar a resistividade do solo na região de instalação da malha de aterramento, o primeiro passo foi definir qual o tipo de solo na região que a usina será construída. Para isso, foi consultado o mapa de solos do Estado do Paraná a fim de determinar o tipo de solo para a região de Foz do Iguaçu-PR.

A partir daí foi verificado que a malha de aterramento estaria posicionada em uma região de ocorrência de solos do tipo latossolo vermelho distroférrico, que segundo o EMBRAPA possui as seguintes características: Solos de baixa fertilidade e altos teores de ferro e possui camada superficial rica em húmus.


	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 15 de 43

Tabela 6 - Resistividade dos solos

Natureza dos Solos	Resistividade (Ohm x m)	
	Mínima	Máxima
Solos alagadiços e pantanosos	0	30
Lodo	20	100
Húmus	10	150
Argilas plásticas	0	50
Argilas compactas	100	200
Areia argilosa	50	500
Areia silicosa	200	3.000
Solo pedregoso nu	1.500	3.000
Solo pedregoso coberto com relva	200	500
Calcários moles	100	400
Calcários compactos	100	5.000
Calcários fissurados	500	1.000
Xisto	50	300
Micaxisto	0	800
Granito e arenito	100	1.000

3.3.5 Resumo


Com o objetivo de facilitar a visualização, é mostrado na tabela abaixo um breve resumo das características construtivas da malha de aterramento do sistema, citadas acima.

Tabela 7 – Resumo da malha de aterramento

L_H	Comprimento Horizontal	60	m
L_v	Comprimento vertical	40	m
L_{HASTES}	Comprimento das hastes	3	m
	Profundidade da malha	0,7	m
I_{CC-1F}	Corrente de cc-fase-terra	2,5	kA
$T_{ELI-DEF}$	Tempo de eliminação do defeito	0,3	s
ρ_s	Resistividade do solo	250	$\Omega.m$
ρ_{sup}	Resistividade da camada superior do solo	3000	$\Omega.m$

3.3.6 Dimensionamento dos condutores da malha de aterramento

Conforme a NBR-5410, a seção transversal do condutor de proteção pode ser determinada por:

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 16 de 43

$$S_p = \frac{\sqrt{I_{ft}^2 \cdot T_e}}{K}$$

Em que,

- I_{ft} – Valor eficaz da corrente de falta fase e terra que pode atravessar o dispositivo de proteção para uma falta de impedância desprezível, em A. Para efeito de dimensionamento, foi considerada a corrente de curto circuito de 2,5 kA;
- T_e – Tempo de eliminação do defeito pelo dispositivo de proteção, em s. Assumiremos esse valor em 0,3s, onde acima deste tempo todo o sistema poderá sofrer danos;
- K – Fator que depende da natureza do metal do condutor de proteção, das isolações e outras coberturas e da temperatura inicial e final. Para um condutor de cobre nu, K assume-se um valor de 228. Portanto,

$$S_p = \frac{\sqrt{2500^2 \cdot 0,3}}{228} = 6,00 \text{ mm}^2$$

O valor de 6,0 mm² é a seção mínima do condutor de aterramento para suportar uma corrente de curto-circuito de 2,5 kA por um tempo máximo de 0,3 segundos.


Entretanto, de forma conservativa, será utilizado condutor de cobre nu de seção transversal de 35 mm² em todo o Sistema de Aterramento, garantindo assim a resistência mecânica aos esforços aplicados na malha.

Para esta seção transversal e considerando um tempo de atuação da proteção de 0,3 segundos. A corrente de curto-circuito fase terra suportada pela barra é de:

$$35 = \frac{\sqrt{I_{ft}^2 \cdot 0,3}}{228} \rightarrow I_{ft} = 14.569,42 \text{ A}$$

3.3.7 Cálculo da resistência de aterramento, tensão de toque e tensão de passo

Para o cálculo da resistência de aterramento e cálculo do potencial da malha de aterramento foi utilizado o software Electrical Power System Analysis Software (Etap). Inicialmente foram parametrizadas no software as informações mostradas nos tópicos anteriores, como é possível observar nas figuras abaixo.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 17 de 43

GRD Study Case Editor

Study Case

Study Case ID

GRD1

Reports & Plots

☒ Auto Display Summary & Alert
☐ Report Details

Options

Weight ☒ 50 kg
☐ 70 kg
 Ambient Temperature °C

Method

☐ Finite Element
☒ IEEE 80 - 2000/2013
☐ IEEE 80 - 1986
☐ IEEE 665 - 1995

Update

☒ # of Conductors and Rods (Optimization)

Fault Durations

tf Sec tc Sec ts Sec

Ground Short-Circuit Current

☒ User Specified Ifg kA X/R
☐ Short-Circuit Study

Grid Current Factors

Sf %
 Cp %

Remarks 2nd line

< GRD1 >

Help

OK

Cancel

Soil Editor

Soil Editor

	Resistivity ohm-m	Material	Depth m
Surface Material	<input type="text" value="3000"/>	<input type="text" value="Clean limestone"/>	<input type="text" value="0.2"/>
Top Layer	<input type="text" value="250"/>	<input type="text" value="Moist soil"/>	<input type="text" value="5"/>
Lower Layer	<input type="text" value="250"/>	<input type="text" value="Moist soil"/>	

Help


OK

Cancel

IEEE Group Editor



Conductors		Rods
Grid Size Lx <input type="text" value="60"/> m Ly <input type="text" value="40"/> m		# of Conductors X Direction <input type="text" value="9"/> Y Direction <input type="text" value="6"/>
Conductors Depth <input type="text" value="0,7"/> m Size <input type="text" value="35"/> sq.mm Type <input type="text" value="Copper, commercial hard-drawn"/> Cost <input type="text" value="10"/> \$/m		Material Constants Conductivity <input type="text" value="97,0"/> Alpha Factor <input type="text" value="0,00381"/> Ko Factor <input type="text" value="242"/> Fusing Temperature <input type="text" value="1084"/> Resistivity @ 20 C <input type="text" value="1,78"/> Thermal Capacity <input type="text" value="3,42"/>
<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>		

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 19 de 43

IEEE Group Editor ✕

Conductors **Rods**

Rods

of Rods

Diameter cm

Length m

Arrangement

Type

Cost \$/Rod

Material Constants

Conductivity

Alpha Factor

Ko Factor


Fusing Temperature

Resistivity @ 20 C

Thermal Capacity

Help OK Cancel

Em seguida o software foi executado, gerando como saída os resultados da simulação. Nele é possível verificar o valor da resistência da malha de aterramento, tensão de toque e tensão de passo. A figura abaixo indica tais resultados.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 20 de 43

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	995	1004,4
Step	470,8	3382,1

GPR 6238,5 Volts
Rg 2,479 Ohm

Alarm & Warnings


Close

Help

A partir dos resultados mostrados acima, pode-se notar que os valores da resistência da malha de aterramento, da tensão de toque e tensão de passo são de 2,479 Ohms, 995 V e 470,8 V, respectivamente. Enquanto que os limites toleráveis para a tensão de toque e de passo são de 1004,4 V e 3382,1 V, respectivamente. Ou seja, os níveis máximos para tensão de passo e toque são respeitados.

3.3.8 Conclusão

A partir dos resultados mostrados ao longo do relatório pode-se concluir que: os níveis da tensão de passo e toque são inferiores aos níveis máximos toleráveis permitidos; os condutores dimensionados para a malha estão aptos a suportar esforços mecânicos e térmicos a que estarão sujeitos ao longo da sua vida útil; O valor da resistência de terra da malha de aterramento está compatível para sensibilizar as proteções de neutro, no nível de corrente no final do trecho protegido.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 21 de 43

3.4 Projeto Luminotécnico

A iluminação do carport será feita por meio de luminárias do tipo tartaruga. Serão previstas 48 luminárias de 15 W para se obter o nível mínimo de luminescência e o grau de ofuscamento máximo para a aplicação em um estacionamento de veículos. As normas utilizadas como referência foram as: EN12464-1:2011, EN12464-2:2014, EN15193:2008, DIN V 18599:2007, CIE 97:2005, CIE 154:2003. O Software utilizado para as simulações de cálculos luminotécnico foi o Dialux. A figura abaixo apresenta a localização das luminárias nas fileiras de Carports.

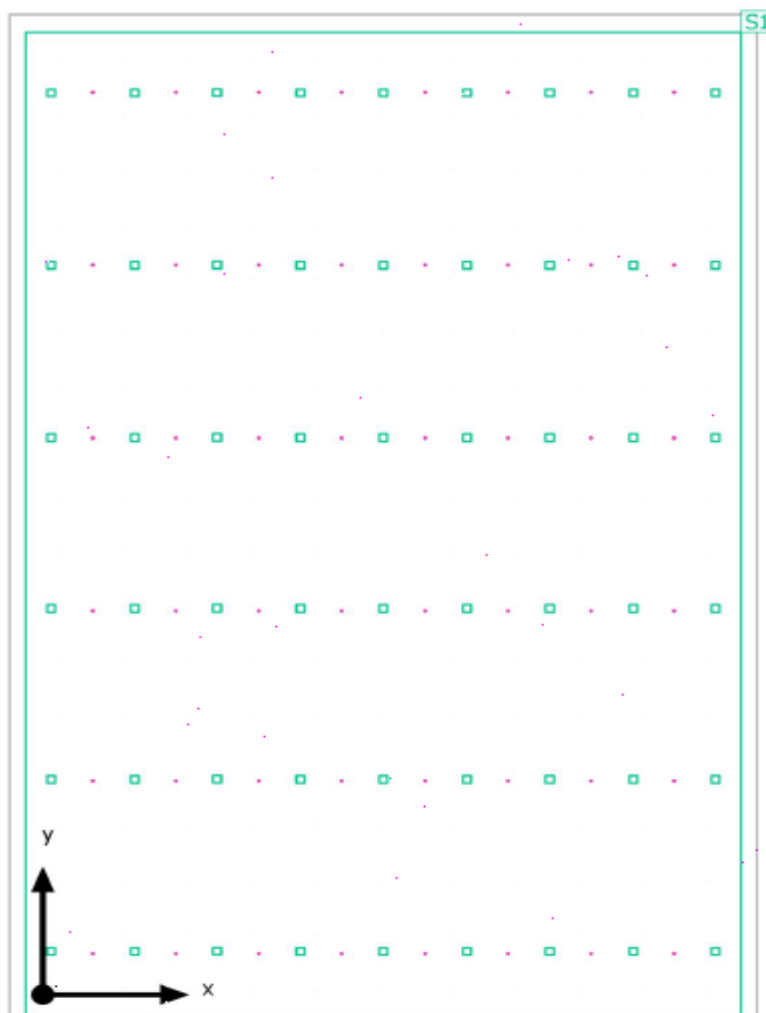

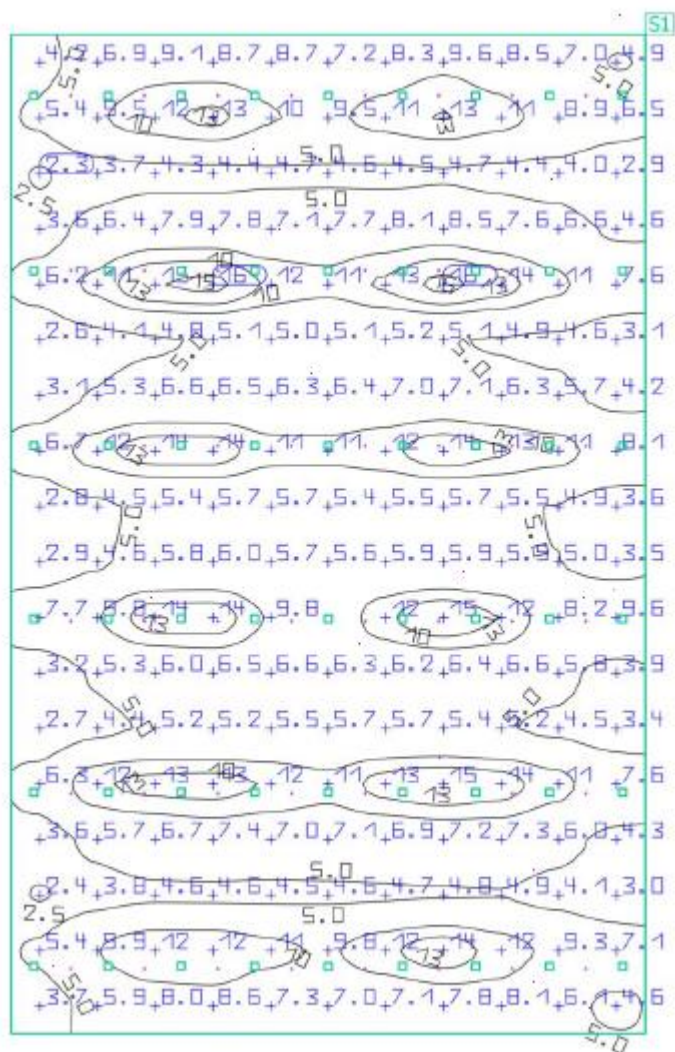



Figura 8 - Localização das luminárias dos carports

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 22 de 43

Perceba que para cada fileira serão previstas 9 luminárias nas quais serão posicionados entre duas vagas de estacionamento, ou seja, em cada estrutura de carport. Por fim, abaixo o resultado da quantidade de lux gerada na área dos carports



A quantidade de lux mínimo, máxima e médio resultante da simulação foram de 2,35 lx, 15,6lx e 7,38lx, respectivamente. O relatório gerado pelo software Dialux será enviado em anexo para consulta.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 23 de 43

4 DADOS DA PLANTA MICROGERAÇÃO

Nome do Cliente: MINISTÉRIO DA JUSTIÇA MJU DEP POL FED-FOZ

CNPJ: 00.394.494/0014-50

Endereço: Avenida José Maria de Brito, 2291, Centro Cívico, Foz do Iguaçu – PR, CEP: 85863-730

Número da UC: 93059914

Modelo dos módulos: Canadian HiKu CS3W-400P

Potência dos módulos: 400W (STC)

Quantidade de módulos: 246

Potência CC (kWp) total: 98,4 kWp

Modelo dos inversores: Growatt MAX 75KTL3 LV

Potência dos Inversores (kW): 75

Quantidade de inversores: 1

Potência CA total (kW): 75

Tipo de Estrutura: Carport


Quantidade de Carport: 16 estruturas com duas vagas 2 por estrutura, resultando em 32 vagas

Consumo atual do cliente:

Tabela 8 - Consumo de energia elétrica UC nº56035500

Mês	kWh	Dt.Pgto.	Valor
09/2020	4707	16/10/2020	3.448,07
08/2020	4082	22/09/2020	2.998,49
07/2020	4157	11/08/2020	3.132,69
06/2020	4533	15/07/2020	3.463,86
05/2020	3671	09/06/2020	2.891,21
04/2020	3410	15/05/2020	2.646,48
03/2020	3101	06/05/2020	2.420,66
02/2020	3183	18/03/2020	2.520,96
01/2020	3368	17/02/2020	2.686,17
12/2019	4079	14/01/2020	3.297,21
11/2019	3926	06/12/2019	3.185,17
10/2019	4821	12/11/2019	3.894,88

A expectativa é que a geração do sistema (indicado na seção 4.1.1.3) corresponde por aproximadamente 100% do consumo atual.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 24 de 43

4.1 Geração do sistema fotovoltaico - PVSOL

O cálculo da geração da planta consistiu em utilizar o software PVSOL, ano 2019, versão 8.2 no qual permite a alocação do sistema da polícia federal em 3D.

O software georreferência utiliza os dados de irradiação (Meteonorm 7.2) para os cálculos de geração. Além disso, leva-se em conta os possíveis sombreamentos causados por objetos próximos. A figura abaixo indica a localização dos carports no software:



Figura 9 - Localização dos Carports

4.1.1 Dados de configuração da planta


4.1.1.1 Módulos fotovoltaicos

Segue abaixo os dados dos módulos fotovoltaicos utilizados na simulação:

Tabela 9 – Dados do módulo fotovoltaico

Fabricante	Canadian
Modelo	CS3W-400P
Número de módulos	246
Potência total das placas	98,4
Inclinação	10
Orientação	10

Detalhes do módulo podem ser conferidos no ANEXO I do presente documento.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 25 de 43

4.1.1.2 Inversor

Segue abaixo a configuração do inversor:

Tabela 10 – Dados do inversor

Fabricante	GROWATT ENERGY
Modelo	MAX 75KTL3 LV
Quantidade de Inversores	3
Potência total C.A	225
MPPT	7

Detalhes do inversor podem ser conferidos no ANEXO II do presente documento.

As ligações das MPPTs são iguais para cada um dos inversores e foram feitas desta forma para uma melhor otimização elétrica:

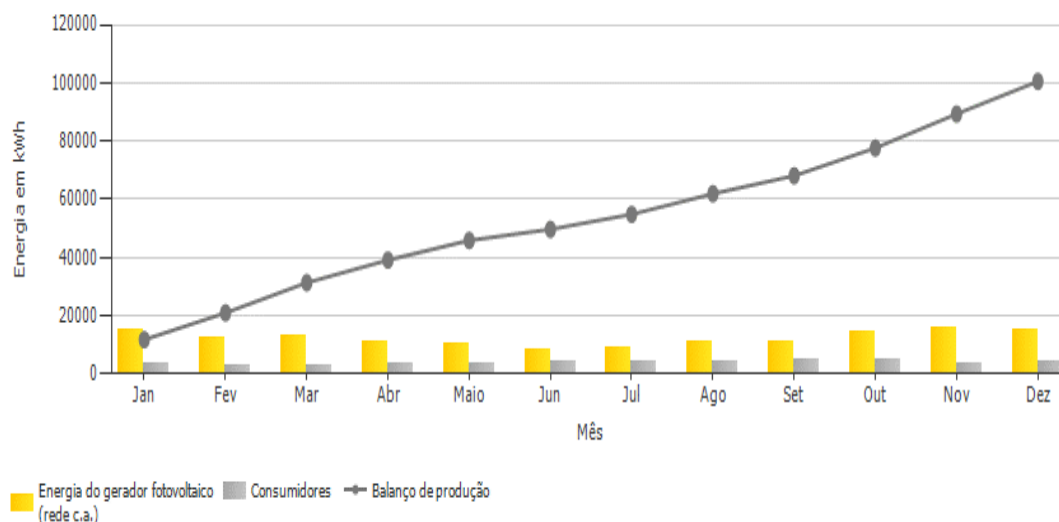
Tabela 11 – Configuração das ligações das strings

Configuração das MPPT	
MPPT1	2x20
MPPT2	2x21
MPPT3	2x20
MPPT4	2x21
MPPT5	2x20
MPPT6	2x21
MPPT7	-

4.1.1.3 Energia Gerada

A partir dos dados inseridos no modelo 3D, o software calcula a geração estimada e compara com o consumo para criar uma linha de balanço do sistema. O resultado da simulação é apresentado abaixo:

Previsão de rendimento com consumo



Outra forma de visualizar a geração x consumo se dá pela tabela abaixo:

Mês	Geração	Consumo	Balanço de produção
Jan	15171,2	3368	11802,9
Fev	12374,9	3183	20994,5
Mar	13479,8	3101	31372,9
Abr	11193	3410	39155,5
Mai	10408,2	3671	45892,3
Jun	8357,6	4533	49716,5
Jul	9319,6	4157	54878,8
Ago	11135,8	4082	61932,2
Set	10894,8	4707	68119,7
Out	14360,4	4821	77658,7
Nov	15615,9	3926	89348,4
Dez	15287,8	4079	100556,9

A expectativa é que a geração do sistema corresponde a 100% do consumo atual.

Além disso, o software fornece a geração total do sistema e o PR (performance ratio) do sistema.

Qualidade técnica do sistema fotovoltaico

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)


147.599 kWh/Ano

Rendimento anual específico

1.499,99 kWh/kWp

Desempenho do sistema (PR)

84,9 %

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 27 de 43

O relatório do software PVsol para o sistema será enviado em anexo para consulta.

4.2 Condutores

4.2.1 Séries (*string*) – circuito BT1

A capacidade de condução de corrente mínima para os condutores dos arranjos fotovoltaicos é dada pela ABNT NBR 16.690.

Para as séries, essa corrente mínima é calculada pela seguinte equação:

$$I_b = 1,5 \times I_{sc @stc}$$

$$I_b \Rightarrow I_{fus}$$

Os cabos devem atender a ABNT NBR 16612 ("cabo solar") e a capacidade de condução de corrente é obtida nos métodos de instalações descritos no Anexo C da respectiva norma.

Os condutores são de cobre estanhado e têmpera mole, classe 5 de encordoamento.

As seções dos condutores estão dimensionadas nos esquemas unifilares dos projetos.

4.2.2 Entre inversor e o transformador abrigado – circuito BT2


O circuito BT2 corresponde ao circuito que interliga os inversores ao transformador que será instalado em campo, portanto sua tensão será do lado de alta de 380V. Para o dimensionamento foi considerado o pior caso, ou seja, para o inversor mais afastado da entrada de serviço, que corresponde a uma distância de aproximadamente 50 metros. Ainda, foram considerados no dimensionamento que a potência individual do circuito é de 75kW, tensão de 380V, serão utilizados cabos de cobre com isolamento EPR, temperatura ambiente de 40°C e que os cabos serão instalados diretamente enterrados no solo.

A corrente nominal de cada circuito individual, calculada com base nas premissas indicadas, será:

$$I_N = \frac{P(kW)}{\sqrt{3} \times 0,38kV} = \frac{75}{\sqrt{3} \times 0,38kV} = 113,95A$$

$$I_N = 113,95 A$$

O dimensionamento da seção dos cabos foi feito através do software da Prysmian cabos. O resumo detalhado das premissas adotadas no dimensionamento está indicado no relatório gerado pelo

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 28 de 43

software, indicado no Anexo V. Abaixo é indicado um resumo dos condutores que serão utilizados para este circuito:

- TIPO DE MATERIAL CONDUTOR: **Cobre**
- NÚMERO DE CONDUTORES DO CABO: **1**
- TIPO: **Isolado**
- TIPO DE ISOLAÇÃO: **EPR**
- TENSÃO NOMINAL DA ISOLAÇÃO: **0,6/1kV**
- Nº DE FASES: **3**
- CABOS POR FASE **1**
- TEMPERATURA DO CONDUTOR: **90°C**
- TEMPERATURA AMBIENTE **40°C**

Segundo o resultado obtido através da simulação realizada no software, para atender todos os critérios e dimensionamento a seção mínima dos condutores deste circuito deverão ser de 50mm², entretanto por fatores conservativos e visando a redução das perdas elétricas será utilizado um cabo de 70mm² para este trecho.


4.2.3 Entre transformador e QGBT – circuito BT3

O circuito BT3 corresponde ao trecho que interliga o transformador a ser construído ao quadro de geração distribuída. Para o dimensionamento foi considerado a distância de 10 metros, que corresponde a distância aproximada entre o local do quadro e a entrada existente. Ainda, foram considerados no dimensionamento que a potência do conjunto de inversores é igual a 75kW, tensão de 220V, serão utilizados cabos de cobre com isolação EPR, temperatura ambiente de 40°C e que os cabos serão instalados diretamente enterrados no solo.

A corrente nominal de cada circuito individual, calculada com base nas premissas indicadas, será:

$$I_N = \frac{P(kW)}{\sqrt{3} \times 0,22kV} = \frac{75}{\sqrt{3} \times 0,22kV} = 196,82A$$

$$I_N = 196,82 A$$

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 29 de 43

O dimensionamento da seção dos cabos foi feito através do software da Prysmian cabos. O resumo detalhado das premissas adotadas no dimensionamento está indicado no relatório gerado pelo software, indicado no Anexo VI. Abaixo é indicado um resumo dos condutores que serão utilizados para este circuito:

- TIPO DE MATERIAL CONDUTOR: **Cobre**
- NÚMERO DE CONDUTORES DO CABO: **1**
- TIPO: **Isolado**
- TIPO DE ISOLAÇÃO: **EPR**
- TENSÃO NOMINAL DA ISOLAÇÃO: **0,6/1kV**
- Nº DE FASES: **3**
- CABOS POR FASE **1**
- TEMPERATURA DO CONDUTOR: **90°C**
- TEMPERATURA AMBIENTE **40°C**

Segundo o resultado obtido através da simulação realizada no software, para atender todos os critérios e dimensionamento a seção mínima dos condutores deste circuito deverá ser de 120mm².


4.3 Malha de aterramento

4.3.1 Corrente de Curto-Circuito Monofásico assumida para a Minigeração

A corrente de curto-circuito monofásico assumida para o projeto foi de 0,85 kA e X/R de 1,5. Já o tempo de remoção de curto dimensionando foi de 0,3 segundos.

4.3.2 Características construtivas da malha de aterramento – Fundação

A malha de aterramento do sistema fotovoltaico da Polícia Federal da minigeração e da microgeração será feita a partir da fundação dos carports instalados. Cada fundação do carport será um vértice da malha de aterramento na qual contará com hastes de 3/8” e comprimento de 3 metros, totalizando assim, 18 hastes de aterramento com para esta simulação. Os condutores que interligam as fileiras de carports serão do tipo cobre nu de 35 mm² enterrados a 0,7 m de profundidade. Pela disposição da fundação da microgeração, a malha de aterramento ficará com o comprimento de 40

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 30 de 43

metros na horizontal e 12 metros na vertical, espaçados conforme a própria conforme as distâncias das próprias. A malha de aterramento estará instalada a uma profundidade de 0,7 metros.

A figura abaixo ilustra a malha de aterramento a ser construída. As dimensões na figura estão indicadas em metros.

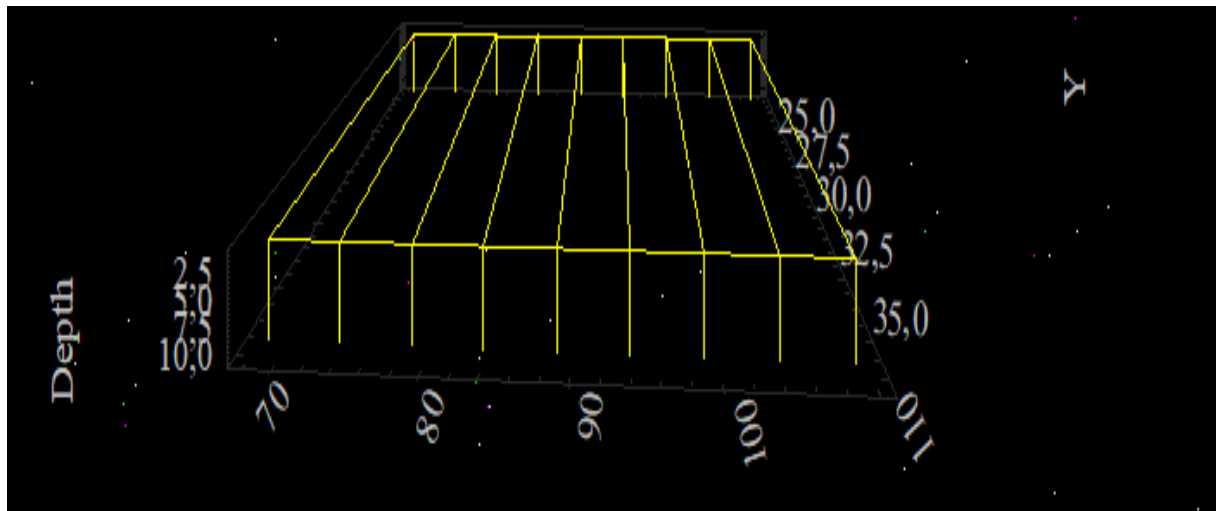


Figura 10 – Ilustração da malha de aterramento a ser instalada



Figura 11 – Representação da fundação da malha de aterramento

Percebe-se que as hastes de fixação da fundação servirão como hastes de aterramento e deverão ser interconectadas com cabos de 35 mm² nu enterradas a 0,7 m.

4.3.3 Resistividade da camada superior do solo

A camada superior do solo será coberta por aproximadamente 20 centímetros de paver. Este material possui uma resistividade de aproximadamente 3000 Ω.metro.



	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 32 de 43

Figura 13 – Solo da cidade de Foz do Iguaçu - PR

Já para definir o valor da resistividade do solo foi consultado a tabela 1 mostrada abaixo, como é possível verificar, o solo da cidade de Foz do Iguaçu possui textura argilosa e por definição uma leve camada de húmus na superfície. A partir disso, definiu-se para o projeto a resistência de 250 Ω .m

Tabela 12 – Resistividade dos solos

Natureza dos Solos	Resistividade (Ohm x m)	
	Mínima	Máxima
Solos alagadiços e pantanosos	0	30
Lodo	20	100
Húmus	10	150
Argilas plásticas	0	50
Argilas compactas	100	200
Areia argilosa	50	500
Areia silicosa	200	3.000
Solo pedregoso nu	1.500	3.000
Solo pedregoso coberto com relva	200	500
Calcários moles	100	400
Calcários compactos	100	5.000
Calcários fissurados	500	1.000
Xisto	50	300
Micaxisto	0	800
Granito e arenito	100	1.000

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 33 de 43

4.3.5 Resumo

Com o objetivo de facilitar a visualização, é mostrado na tabela abaixo um breve resumo das características construtivas da malha de aterramento do sistema, citadas acima.

Tabela 13 – Resumo da malha de aterramento da microgeração

L_H	Comprimento Horizontal	40	m
L_v	Comprimento vertical	12	m
L_{HASTES}	Comprimento das hastes	3	m
	Profundidade da malha	0,7	m
I_{CC-1F}	Corrente de cc-fase-terra	1,0	kA
$T_{ELI-DEF}$	Tempo de eliminação do defeito	0,3	s
ρ_s	Resistividade do solo	250	$\Omega.m$
ρ_{sup}	Resistividade da camada superior do solo	3000	$\Omega.m$

4.3.6 Dimensionamento dos condutores da malha de aterramento

Conforme a NBR-5410, a seção transversal do condutor de proteção pode ser determinada por:


$$S_P = \frac{\sqrt{I_{ft}^2 \cdot T_e}}{K}$$

Em que,

- I_{ft} – Valor eficaz da corrente de falta fase e terra que pode atravessar o dispositivo de proteção para uma falta de impedância desprezível, em A. Para efeito de dimensionamento, foi considerada a corrente de curto circuito de 0,85 kA;
- T_e – Tempo de eliminação do defeito pelo dispositivo de proteção, em s. Assumiremos esse valor em 0,3s, onde acima deste tempo todo o sistema poderá sofrer danos;
- K – Fator que depende da natureza do metal do condutor de proteção, das isolações e outras coberturas e da temperatura inicial e final. Para um condutor de cobre nu, K assume-se um valor de 228. Portanto,

$$S_P = \frac{\sqrt{850^2 \cdot 0,3}}{228} = 2,04 \text{ mm}^2$$

O valor de 3,96 mm² é a seção mínima do condutor de aterramento para suportar uma corrente de curto-circuito de 0,85 kA por um tempo máximo de 0,3 segundos.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 34 de 43

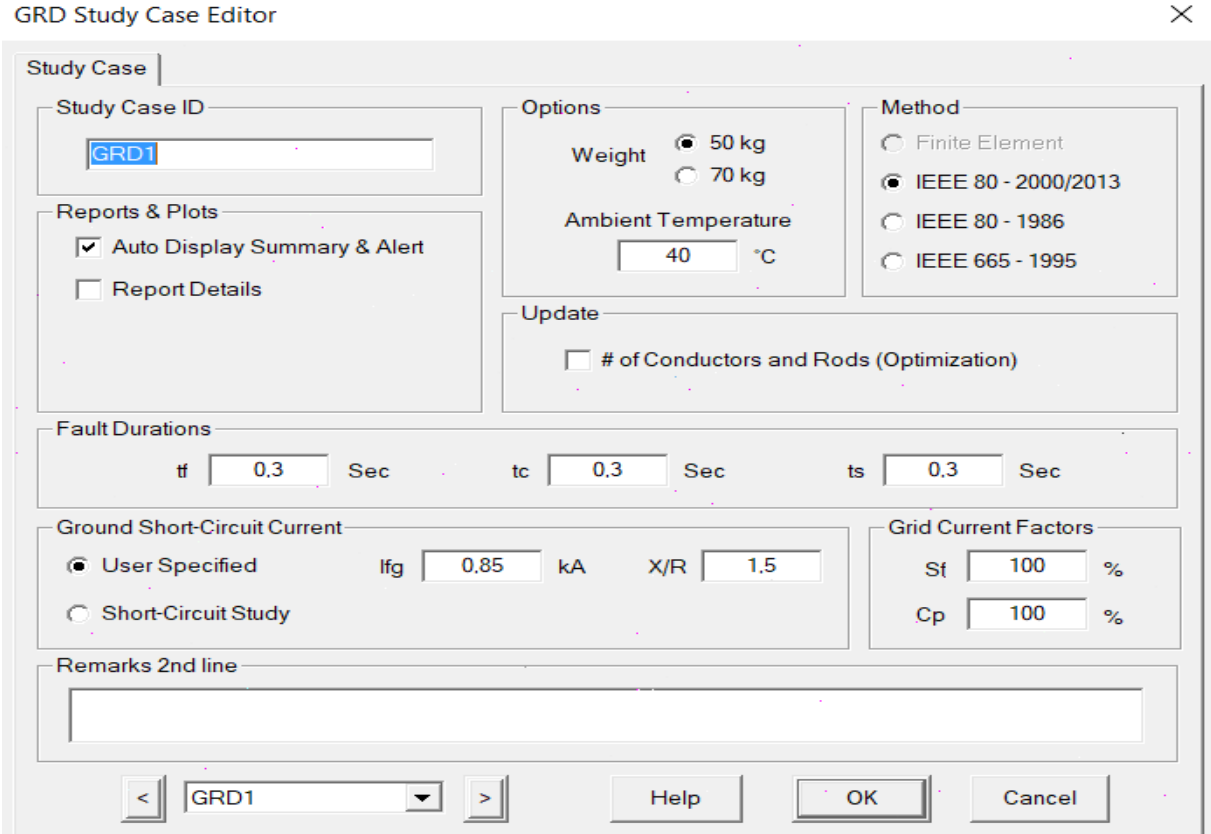
Entretanto, de forma conservativa, será utilizado condutor de cobre nu de seção transversal de 35 mm² em todo o Sistema de Aterramento, garantindo assim a resistência mecânica aos esforços aplicados na malha.

Para esta seção transversal e considerando um tempo de atuação da proteção de 0,3 segundos. A corrente de curto-circuito fase terra suportada pela barra é de:

$$35 = \frac{\sqrt{I_{ft}^2 \cdot 0,3}}{228} \rightarrow I_{ft} = 14.569,42 \text{ A}$$

4.3.7 Cálculo da resistência de aterramento, tensão de toque e tensão de passo

Para o cálculo da resistência de aterramento e cálculo do potencial da malha de aterramento foi utilizado o software Electrical Power System Analysis Software (Etap). Inicialmente foram parametrizadas no software as informações mostradas nos tópicos anteriores, como é possível observar nas figuras abaixo.



The screenshot shows the 'GRD Study Case Editor' window. The 'Study Case ID' is 'GRD1'. Under 'Reports & Plots', 'Auto Display Summary & Alert' is checked. In the 'Options' section, 'Weight' is set to 50 kg and 'Ambient Temperature' is 40 °C. The 'Method' section has 'IEEE 80 - 2000/2013' selected. Under 'Update', the option for '# of Conductors and Rods (Optimization)' is unchecked. The 'Fault Durations' section shows 'tf' as 0.3 Sec, 'tc' as 0.3 Sec, and 'ts' as 0.3 Sec. In the 'Ground Short-Circuit Current' section, 'User Specified' is selected with 'Ifg' at 0.85 kA and 'X/R' at 1.5. The 'Grid Current Factors' section shows 'St' and 'Cp' both at 100 %. There is a 'Remarks 2nd line' text area at the bottom. Navigation buttons and 'Help', 'OK', and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Soil Editor

Soil Editor

	Resistivity ohm-m	Material	Depth m
Surface Material	3000	Clean limestone	0,2
Top Layer	250	Moist soil	5
Lower Layer	250	Moist soil	

Help

OK

Cancel

IEEE Group Editor

Conductors

Rods

Grid Size

Lx 40 m

Ly 12 m

of Conductors

X Direction

2

Y Direction

9

Material Constants

Conductivity

100,0

Alpha Factor

0,00393

Ko Factor

234

Fusing Temperature

1083

Resistivity @ 20 C

1,72

Thermal Capacity

3,42

Conductors

Depth

0,7 m

Size

35 sq.mm

Type

Copper, annealed soft-drawn

Cost


10

\$/m

Help

OK

Cancel

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 36 de 43

IEEE Group Editor

Conductors | Rods

Rods

of Rods

Diameter cm

Length m

Arrangement

Type

Cost \$/Rod

Material Constants

Conductivity

Alpha Factor

Ko Factor

Fusing Temperature

Resistivity @ 20 C

Thermal Capacity

Help OK Cancel

Em seguida o software foi executado, gerando como saída os resultados da simulação. Nele é possível verificar o valor da resistência da malha de aterramento, tensão de toque e tensão de passo. A figura abaixo indica tais resultados.

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert


Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	<input type="text" value="951.8"/>	<input type="text" value="1004.4"/>
Step	<input type="text" value="407.2"/>	<input type="text" value="3382.1"/>

GPR Volts Rg Ohm

Alarm & Warnings


Close Help

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 37 de 43

A partir dos resultados mostrados acima, pode-se notar que os valores da resistência da malha de aterramento, da tensão de toque e tensão de passo são de 2,479 Ohms, 951,8 V e 407,2 V, respectivamente. Enquanto que os limites toleráveis para a tensão de toque e de passo são de 1004,4 V e 3382,1 V, respectivamente. Ou seja, os níveis máximos para tensão de passo e toque são respeitados.

4.3.8 Conclusão

A partir dos resultados mostrados ao longo do relatório pode-se concluir que: os níveis da tensão de passo e toque são inferiores aos níveis máximos toleráveis permitidos; os condutores dimensionados para a malha estão aptos a suportar esforços mecânicos e térmicos a que estarão sujeitos ao longo da sua vida útil; O valor da resistência de terra da malha de aterramento está compatível para sensibilizar as proteções de neutro, no nível de corrente no final do trecho protegido.

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 38 de 43

1. ANEXO I – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CANADIAN CS3W 400P

ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	294 W	297 W	301 W	305 W	308 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.8 V	36.0 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.21 A	8.27 A	8.33 A	8.39 A	8.45 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.1 V	44.3 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.73 A	8.79 A	8.86 A	8.92 A	8.99 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.


MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.


TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 39 de 43

2. ANEXO II – DATASHEET DO INVERSOR GROWATT 75 KW 7 MPPT

Ficha de dados	MAX 50KTL3 LV	MAX 60KTL3 LV	MAX 70KTL3 LV	MAX 75KTL3 LV	MAX 80KTL3 LV
Dados de entrada					
Máxima potência CC	75000W	90000W	105000W	112500W	120000W
Máxima tensão de CC	1100V				
Tensão de partida	250V				
Faixa de tensão MPPT	200V-1000V				
Tensão nominal	585V	585V	600V	600V	600V
Máxima corrente de entrada por string	25A				
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	6/2	6/2	7/2	7/2	7/2
Saída (CA)					
Potência nominal de saída CA	50000W	60000W	70000W	75000W	80000W
Máxima Potência aparente de CA	55500VA	66600VA	77700VA	83300VA	88800VA
Máxima corrente de saída	80.5A	96.6A	112.7A	112.7A	128.8A
Tensão nominal CA	230V/400V	230V/400V	230V/400V	220V/380V	230V/400V
Frequência de grade CA	50Hz/60Hz				
Factor de potência			0.8i-0.8c		
THDi	<3%				
Tipo de conexão de rede CA	3W+N+PE				
Eficiência					
Máxima eficiência	98.8%	98.8%	99%	98.8%	98.8%
Eficiência europeia	98.3%	98.3%	98.4%	98.3%	98.3%
Eficiência MPPT	99.9%				
Dispositivos de proteção					
Proteção de polaridade reversa CC	sim				
Interruptor CC	sim				
Proteção contra surtos CC	Tipo II				
Monitoramento de falta à terra	sim				
Proteção contra curto-circuito de saída	sim				
Proteção contra surtos de CA	Tipo II				
Monitoramento de falta de string	sim				
Proteção anti-PID	opcional				
Dados Gerais					
Dimensões (L/A/P)	860/600/300mm				
Peso	82kg				
Faixa de temperatura operacional	-25°C ... +60°C				
Emissão de ruído (típico)	≤60dB(A)				
Auto-consumo à noite	< 1W*				
Topologia	Sem transformador				
Forma de refrigeração	Resfriamento inteligente				
Grado de proteção ambiental	IP65				
Altitude	4000m				
Humidade relativa	0-100%				
Caractrísticas					
Exibição	LED/WIFI+APP				
Interfaces:USB/R485/GPRS	Sim/sim/opcional				
Garantia: 5 anos / 10 anos	Sim/opcional				
IEC61000-6/3,IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116					

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 40 de 43


3. ANEXO III – CIRCUITO ENTRE INVERSOR E TRANSFORMADOR PEDESTAL – MINIGERAÇÃO

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Eletroduto enterrado
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo EPROTENAX 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	30 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	60.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Resistividade térmica do solo:	2.50 ohm/m
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	1.0 kA
Espaçamento entre eletrodutos	Nulo
Número de circuitos	1
Corrente do circuito :	113.9 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 50 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 133.9 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.93
Resistência em CA de cada condutor :	0.4941 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1095 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.54 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	2.71e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	8.52e+007 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	5.98e+007 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	8.52e+001 s

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 41 de 43

4. ANEXO IV – CIRCUITO ENTRE TRANSFORMADOR PEDESTAL

Circuito : BT3


Dados de entrada

Maneira de instalar:	Em eletrodutos enterrados
Tensão de serviço:	13,8 kV
Classe de tensão:	8.7/15
Cabo:	CABO EPROTENAX CU
Material Condutor:	Cobre
Temperatura de Regime do Condutor :	90 °C
Temperatura ambiente:	30 °C
Queda de tensão máxima:	2,00 %
Corrente de projeto:	9,4 A
Fator de potência:	1,00
Resistividade térmica do solo:	2,5
Circuito comprimento:	240 m
Corrente curto circuito no condutor:	10,00 kA
Tempo corrente curto circuito no condutor:	0,5000 s
Tipo de conexão:	Prensada
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Número de condutores por fase imposto :	1
Seção nominal do condutor :	Automática
Tipo de Cabo Selecionado	Cabo Unipolar
Disposição dos Cabos	Trifólio
Numero de Ternas ou Cabos	1
Disposição dos Circuitos	Instalação Horizontal

Valores calculados

Seção nominal dos condutores:	1 x 50 mm ²
Critério de dimensionamento:	Curto circuito
Fator correção de resistividade térmica do Solo:	1,00
Método de Referencia da Instalação (Tabela 25 NBR 14039):	F
Capacidade de condução de corrente:	1 x 118 A
Fator de correção de agrupamento:	1,00
Fator de correção da temperatura:	0,93
Reatância capacitiva:	12099 ohm.km
Resistência máxima em corrente alternada:	0,4950 ohm/km
Reatância indutiva:	0,1550 ohm/km
Queda de tensão efetiva:	0,0140 %
Integ. de Joule condutor (regime adiabático):	5,04E+007 A²s
Terminal modular (TM) da PRYSMIAN recomendado:	TM - 20-C-50

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian e NBR 14039:2005 - Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 42 de 43

5. ANEXO V – CIRCUITO ENTRE INVERSOR E TRAFÓ REBAIXADOR DA MICROGERAÇÃO



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

10/12/2020

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome


Circuito : BT2

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Diretamente enterrado
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo EPROTENAX 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	40 °C
Dispositivo de proteção :	gG Tipo NH
Comprimento do circuito	50.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Resistividade térmica do solo:	2.50 ohm/m
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	1.0 kA
Distância entre cabos	Nula
Número de circuitos	1
Disposição dos cabos	Trifólio
Corrente do circuito :	113.0 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 50 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 122.4 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.85
Resistência em CA de cada condutor :	0.4941 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1095 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.27 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	3.25e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	8.52e+007 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	5.81e+007 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	8.52e+001 s
Seção nominal do condutor de proteção :	25 mm ²

	PROJETO: UFV POLICIA FEDERAL FOZ DO IGUAÇU – MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO		
	GRUPO: P001 – MEMORIAL DE CÁLCULO SFCR		
	TÍTULO: MEMORIAL DE CÁLCULO		
	Nº DO DOCUMENTO: PF-EL-P001-002	REVISÃO:1	PÁGINA 43 de 43

6. ANEXO VI – CIRCUITO ENTRE TRANSFORMADOR E PADRÃO DE ENTRADA - MICROGERAÇÃO



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

10/12/2020

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito : BT3

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Diretamente enterrado
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo EPROTENAX 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	40 °C
Dispositivo de proteção :	gG Tipo NH
Comprimento do circuito	50.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	220 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Resistividade térmica do solo:	2.50 ohm/m
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	1.0 kA
Distância entre cabos	Nula
Número de circuitos	1
Disposição dos cabos	Trifólio
Corrente do circuito :	196.0 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 120 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 204.0 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.85
Resistência em CA de cada condutor :	0.1970 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1001 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.52 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	4.52e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	7.64e+008 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	3.40e+008 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	7.64e+002 s
Seção nominal do condutor de proteção :	70 mm ²