

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ATERRO SANITÁRIO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO
CNPJ: 76995448/0001-54
UC: 99566621
Endereço da Obra: Rod BR 158, São Cristovão
Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.30 17:24:03 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 99566621 do local ADM-ATERRO, no endereço Rod BR 158, São Cristovão, município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração ADM-ATERRO apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rod BR 158

Bairro: São Cristovão

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.260766

Longitude: -52.716697

Altitude: 764m

Fonte dos dados climáticos: GeoHack

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local ADM-ATERRO foi implementada através do ramal de ligação aéreo em média tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em rede primária de 13,8kV, com secundário do transformador de 112,5kVA com ligação em estrela, tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz.

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional), instalado na baixa tensão, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversor CC/AC modelo 75kW;
- 1 Autotransformador de 85kVA
- Quadro de proteção da saída AC do inversor;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 75kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 5 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamentoilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 380V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

O inversor fotovoltaico será posicionados e fixado na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 75KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	112,5kW
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	250 ~ 1.100V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	9

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	75kW
Potência aparente máxima	75kVA
Tensão nominal CA	400V

Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	113,7A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,60%
DADOS GERAIS	
Peso	90kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	975 x 630 x 360mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 690V. Tipo: Caixa Moldada

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 400V. Tipo: DIN.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída do inversor até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é ADM ATERRO na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 75kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	9
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	112,5kW
Tensão Nominal CC	1000V
Tensão Máxima CC	1100V
Tensão de partida CC	250V

O arranjo fotovoltaico no inversor de 75kW será composto por 6 MPPT's, utilizando 2 *strings* por MPPT, sendo *strings* com arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas *strings* e arranjo série de 15 módulos, totalizando 190 módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 15 módulos:

$$P_{15 \text{ módulos}} = 550W \cdot 15 = 8.250W$$

String com 16 módulos:

$$P_{16 \text{ módulos}} = 550W \cdot 16 = 8.800W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 15 módulos:

$$V_{m\acute{a}x} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 812,33 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{m\acute{a}x})]\} = 522,28 V$$

Strings com 16 módulos:

$$V_{m\acute{a}x} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 866,48 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{m\acute{a}x})]\} = 557,10 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 150A para o lado de 380V e um de 200A para o lado de 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre o inversor de 75kW até o barramento de geração em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída

do inversor 142,44A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$142,44 < 150A < 175A$$

No trecho entre o autotransformador de 85Kva em 380/220V até o barramento de geração em 220V, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$196,82A < 200A < 269A$$

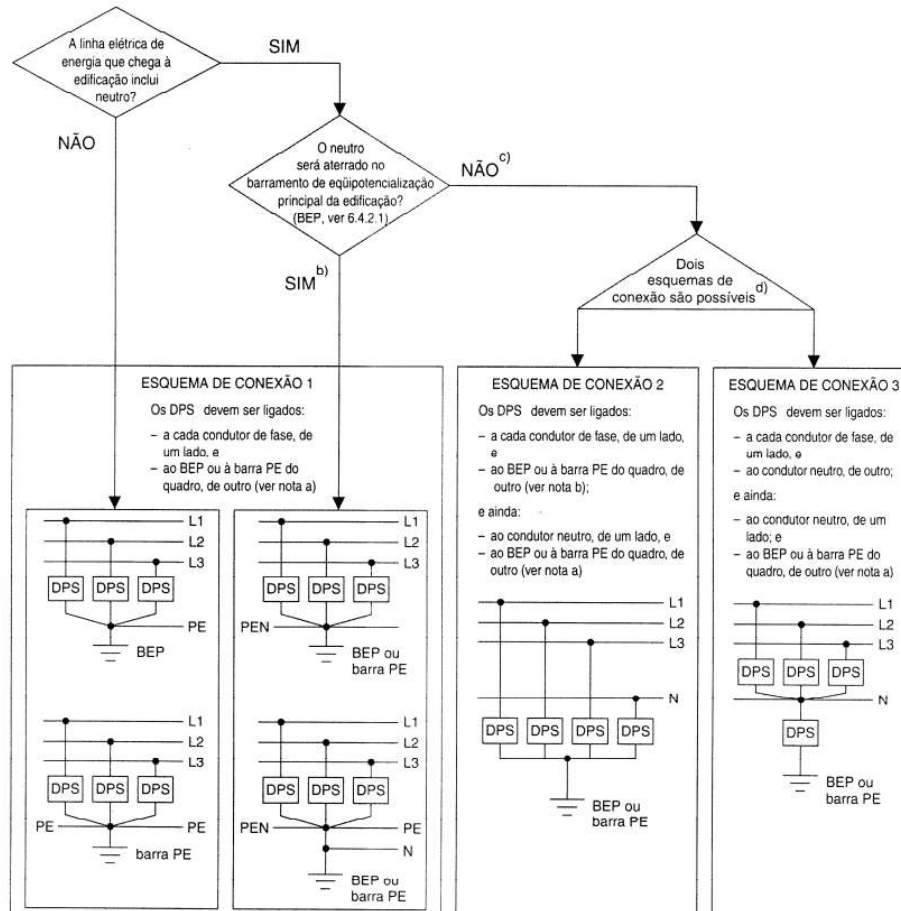
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local ADM-ATERRO. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

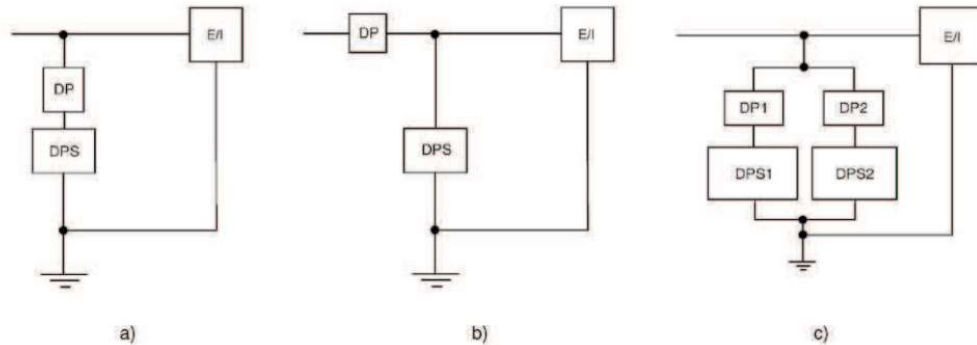
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

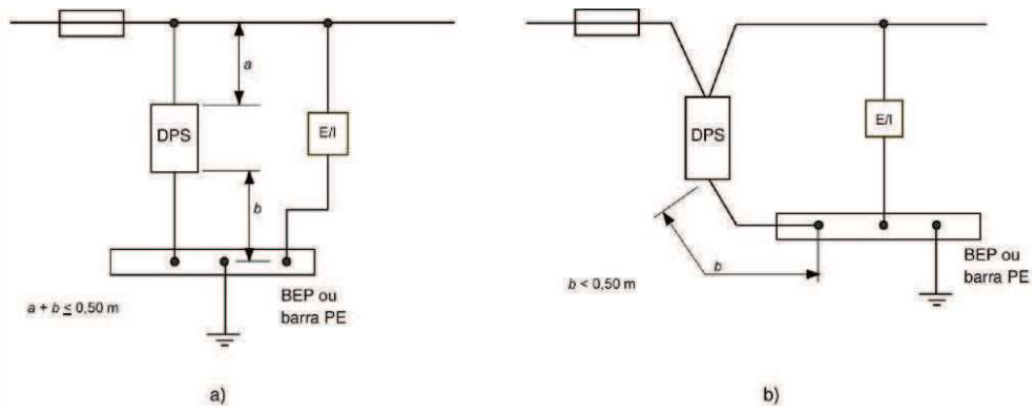


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 72,6KWP
CENTRO AQUÁTICO DE PATO BRANCO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 100830056

Endereço da Obra: Rua Vilson Valdir Amadori, 155, La Salle

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por:IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.30 17:30:26 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 72,6 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 100830056 do local Centro de Convivência La Salle, no endereço rua Vilson Valdir Amadori, 155, bairro La Salle município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração Centro de Convivência La Salle apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Vilson Valdir Amadori, 155

Bairro: La Salle

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.232506

Longitude: 52.661031

Altitude: 843m

Fonte dos dados climáticos: GeoHack

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Centro de Convivência La Salle foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz.

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 100830056, instalada no local Centro de Convivência La Salle.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 132 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 3 Inversores CC/AC modelo 20kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 72,6kWp será constituído por 132 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em três inversores com potencia nominal de 20kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 12 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 11 módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C

Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):

45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20kW
---------------------	------

Potência aparente máxima	22kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	127V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	58A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretensão, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolação adequada

para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 8.950kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Centro de Convivência La Salle na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 72,6 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 132 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 85 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 20kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	40
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	30kW
Tensão Nominal CC	750V
Tensão Máxima CC	750V
Tensão de partida CC	200V

O arranjo fotovoltaico nos inversores de 20kW serão compostos por 12 MPPT's, utilizando 2

strings por MPPT, sendo *strings* com arranjo série de 11 módulos, totalizando 132 módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 11 módulos:

$$P_{11 \text{ módulos}} = 550W \cdot 11 = 6.050W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 11 módulos:

$$V_{m\acute{a}x} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 595,71 V$$

$$V_{m\acute{i}n} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{m\acute{a}x})]\} = 383,00 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por três disjuntores trifásicos de 80A, um para cada inversor mais um de 200A para proteção geral, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 72,17A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$72,17 < 80A < 117A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente

nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$173,2A < 200A < 269A$$

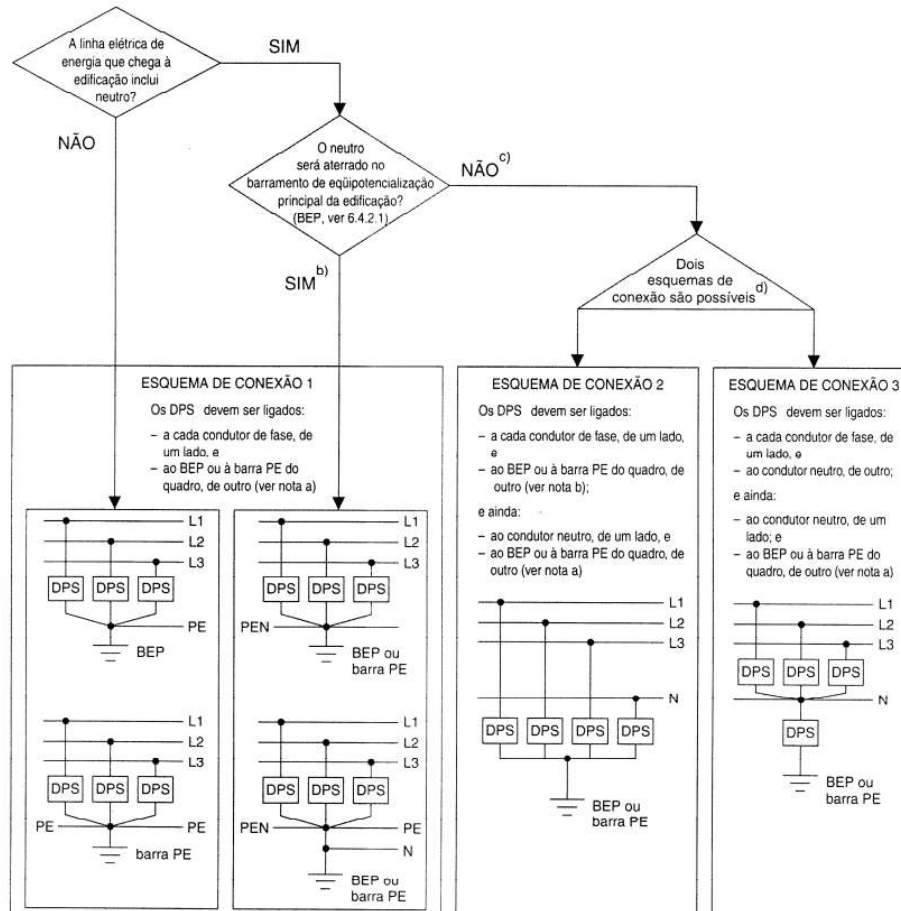
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local Centro de Convivência La Salle. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

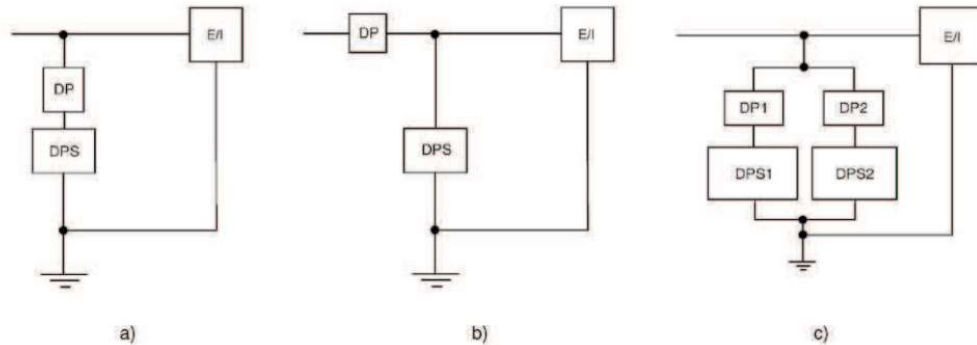
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

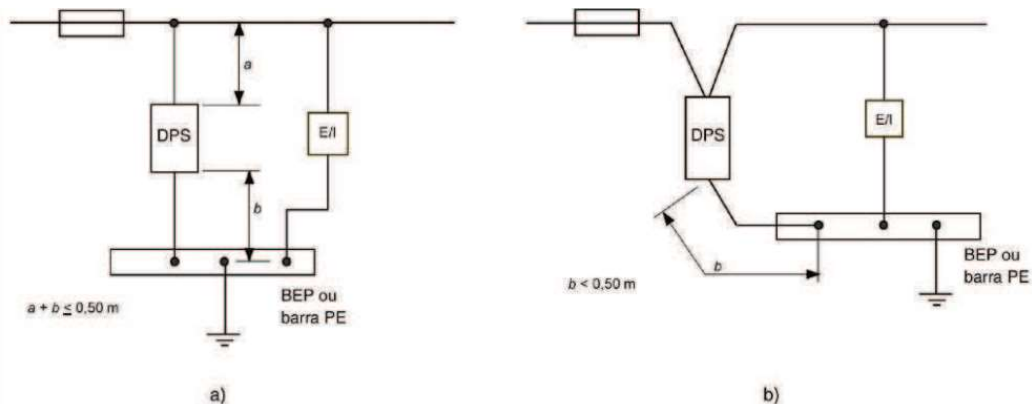


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 70,4KWP
CMEI ELIZA R. C. PADOAN

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 100122752

Endereço da Obra: Rua Luiz Xavier, São Cristóvão

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.30 17:36:07 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 25 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 OBJETIVO.....	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica.....	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	5
7.1 Características Gerais.....	5
7.2 Módulo Fotovoltaico.....	6
7.3 Inversor Solar.....	7
7.4 Dispositivos de Proteção.....	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema.....	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição.....	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	10
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	10
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada.....	11
9 ATERRAMENTO.....	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 70,40 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 100122752 do local CMEI Eliza R. C. Padoan, no endereço Rua Luiz Xavier, bairro São Cristóvão município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração CMEI Eliza R. C. Padoan apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Luiz Xavier

Bairro: São Cristóvão

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.265361

Longitude: -52.6896048

Altitude: 849m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local CMEI Eliza R. C. Padoan foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 128 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversores CC/AC modelo 25kW;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 55kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 70,40kWp será constituído por 128 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em dois inversores com potencia nominal de 25kW.

O arranjo fotovoltaico nos inversores de 25kW será composto por duas MPPT's, duas strings em cada MPPT e arranjo série de 16 módulos. totalizando 64 módulos por inversor.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%

Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 25KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	37,5kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	140 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	28A
Corrente de Curto-Circuito máxima	36,4A
Tensão de partida	140V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	25kW
---------------------	------

Potência aparente máxima	25kVA
Tensão nominal CA	380V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	37,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%
DADOS GERAIS	
Peso	21kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	370 x 480 x 183,5mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretensão, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolação adequada

para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 8.350kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é CMEI Eliza R. C. Padoan na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 70,40 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 128 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 25kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	2
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	37,5kW
Tensão Nominal CC	1.000V
Tensão Máxima CC	1.100V
Tensão de partida CC	140V

O arranjo fotovoltaico nos inversores de 25kW será composto por duas MPPT's, duas strings em cada MPPT e arranjo série de 16 módulos. totalizando 64 módulos por inversor.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a

NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por dois disjuntores trifásicos de 63A, um para cada inversor, um de 100A para proteção geral em 380V e um de 150A em 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre cada inversor de 25kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 47,48A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$47,48A < 63A < 88A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 380V e o autotransformador rebaixador de 55kVA, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 100A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$94,96A < 100A < 144A$$

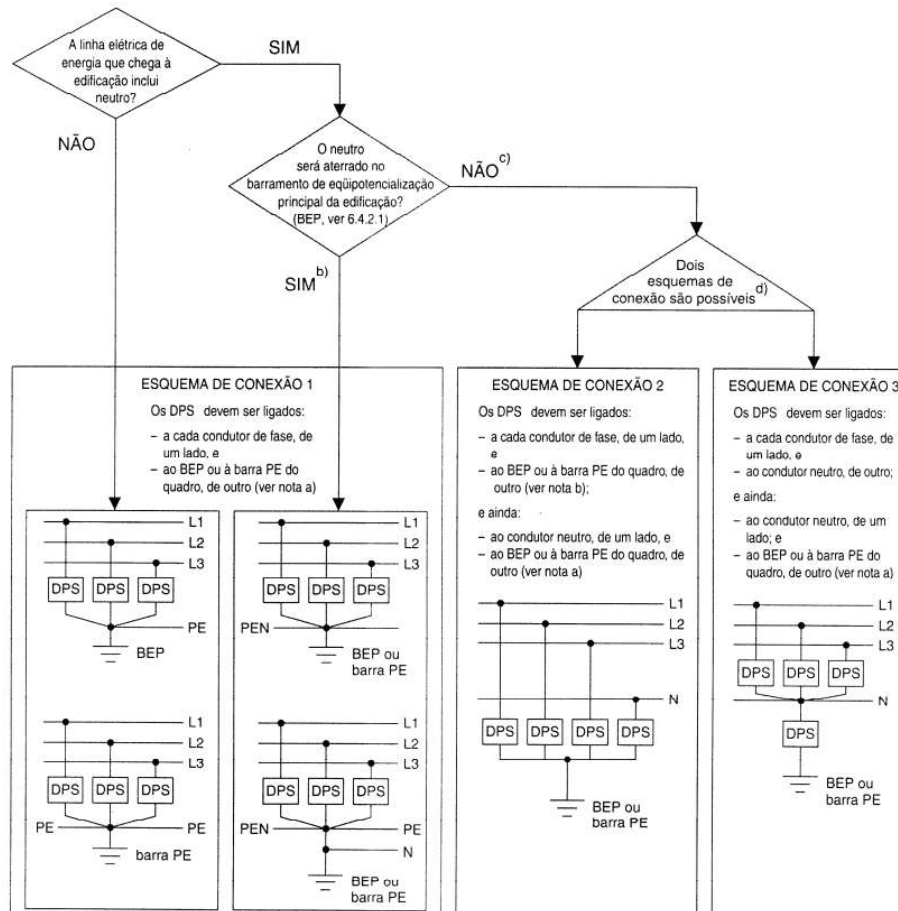
Para proteção do barramento de geração, do trecho entre o autotransformador até o ponto de conexão em 220V, foi escolhido um disjuntor de 150A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do CMEI Eliza R. C. Padoan. Foi colocado como sugestão, a conexão deste gerador no quadro denominado no projeto elétrico como QD3, cuja a proteção é de 200A. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

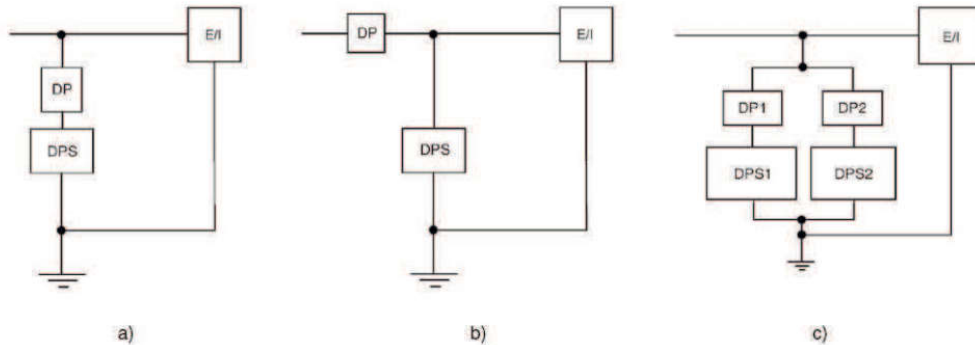
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

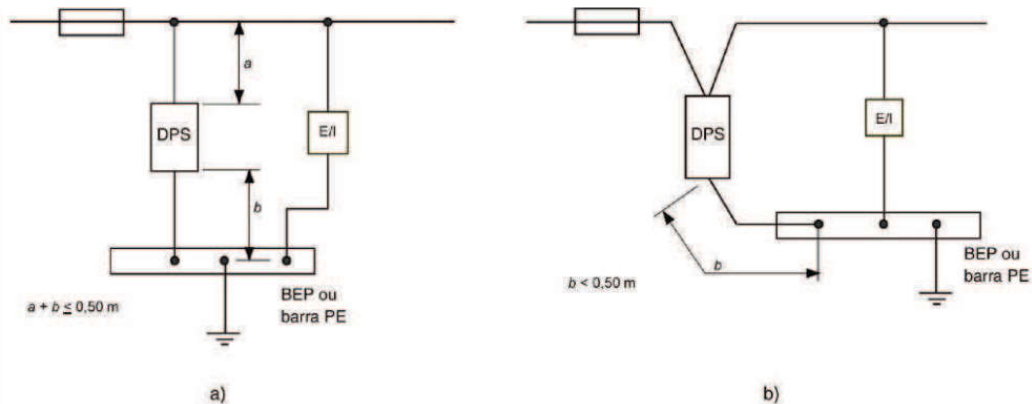


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 102,3KWP
CMEI ENEDINA COLLA

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 94352038

Endereço da Obra: Rua Osvaldo Cruz, 497, São Cristóvão

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.30 17:41:19 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 102,3 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 94352038 do local CMEI Enedina Colla, no endereço Rua Osvaldo Cruz, 497, São Cristóvão, município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração CMEI Enedina Colla apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Osvaldo Cruz, 497

Bairro: São Cristóvão

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2675905

Longitude: -52.682722

Altitude: 756 m

Fonte dos dados climáticos: Meteonorm

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local CMEI Enedina Colla foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão secundária de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Disjuntor de proteção de 200A.

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional), instalado na baixa tensão, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 186 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversor CC/AC modelo 75kW;

- Autotransformador de 85kW rebaixador de 380V/220V
- Quadro de proteção da saída AC do inversor;
- Quadro de proteção da saída AC do autotransformador;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 102,3kWp será constituído por 186 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 75kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 3 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 3 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos. Total de 186 Módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%

Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 380V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

O inversor fotovoltaico será posicionados e fixado na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 75KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	112,5kW
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	250 ~ 1.100V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	2

Número máximo de entradas por MPPT	9
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	75kW
Potência aparente máxima	75kVA
Tensão nominal CA	400V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	113,7A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,60%
DADOS GERAIS	
Peso	90kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	975 x 630 x 360mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 690V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 400V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída do inversor até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 11.200kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é CMEI Enedina Colla na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 102,3 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 186 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 75kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	9
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	112,5kW
Tensão Nominal CC	1000V
Tensão Máxima CC	1100V
Tensão de partida CC	250V

O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 3 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 3 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos. Total de 186 Módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 15 módulos:

$$P_{15 \text{ módulos}} = 550W \cdot 15 = 8.250W$$

String com 16 módulos:

$$P_{16 \text{ módulos}} = 550W \cdot 16 = 8.800W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 15 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 812,33 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 522,28 V$$

Strings com 16 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 866,48 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 557,10 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 9 a 11 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,50.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 26,5A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 150A para o lado de 380V e um de 200A para o lado de 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger o barramento do gerador fotovoltaico.

No trecho entre o inversor de 75kW até o barramento de geração em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 142,44A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$142,44 < 150A < 175A$$

No trecho entre o autotransformador de 85Kva em 380/220V até o barramento de geração em 220V, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$196,82A < 200A < 269A$$

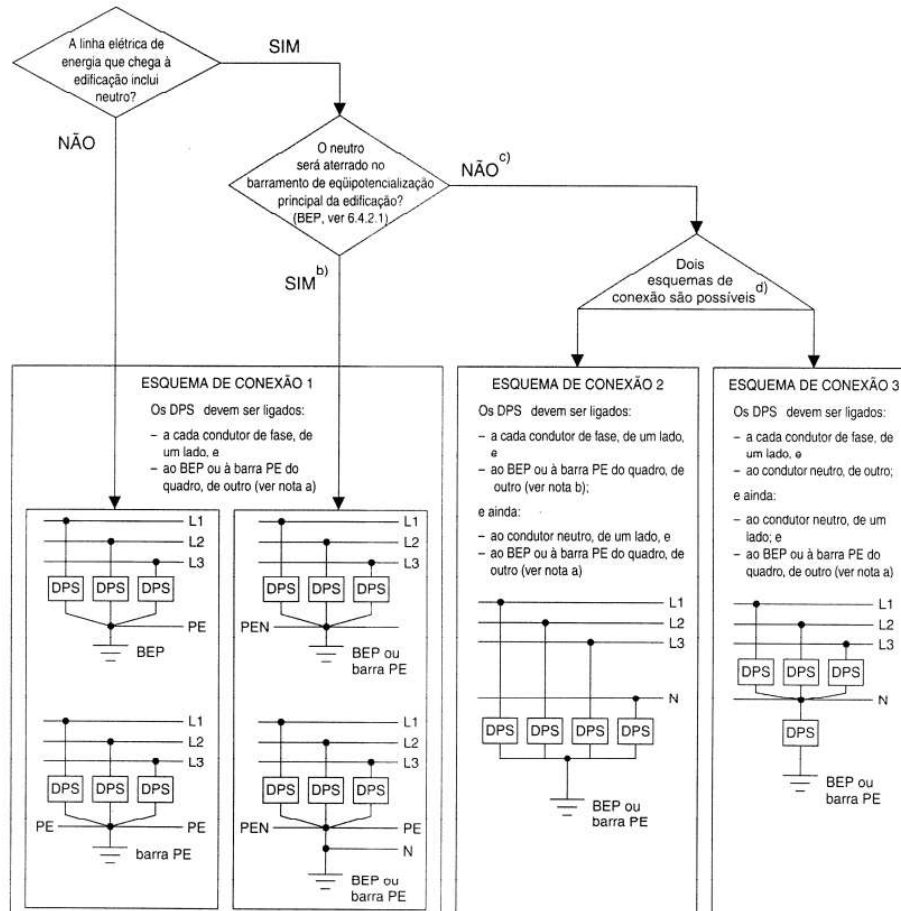
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local da CMEI Enedina Colla. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

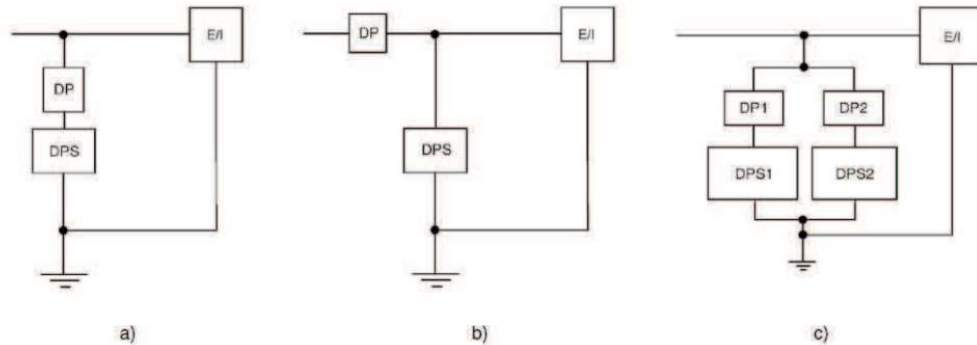
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

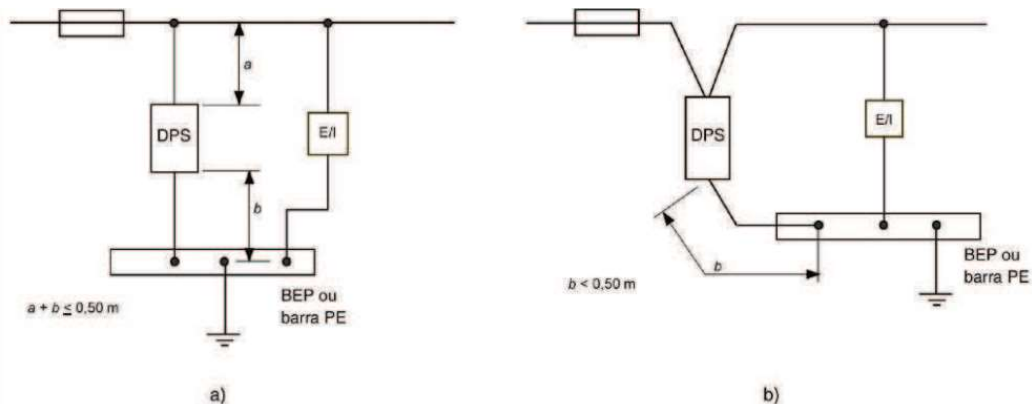


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 66,00KWP
CMEI SÃO FRANCISCO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 95630066

Endereço da Obra: Rua Gelmino Martignone, 651, São Francisco

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:43:19 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	10
7.5 Condutores.....	10
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	11
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	11
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	12
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	12
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	12
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	13
9 ATERRAMENTO	16

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima CA de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 66,00 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 95630066 do local CMEI São Francisco, no endereço Rua Gelmino Martignone, 651, bairro São Francisco município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da CMEI São Francisco apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Gelmino Martignone, 651

Bairro: São Francisco

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.1945029

Longitude: -52.6635669

Altitude: 780 m

Fonte dos dados climáticos: GeoHack

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local CMEI São Francisco foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 95630066, instalada no local CMEI - São Francisco.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 120 Módulos fotovoltaicos de 550W;

- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 2 Inversores CC/AC modelo 10,5kW;
- 2 Inversores CC/AC modelo 5kW;
- 2 Inversores CC/AC modelo 6kW;
- 1 Inversores CC/AC modelo 7kW
- Quadro de proteção da saída CA dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 66,00kWp será constituído por 120 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em sete inversores.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Pannel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão monofásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A

Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%
DADOS GERAIS	
Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 7KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	10,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	7 kW
Potência aparente máxima	7,7 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	35 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%
DADOS GERAIS	
Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 6KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	9 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	6 kW
Potência aparente máxima	6 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	26,1 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8

THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	
Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 50 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 8.150 kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é CMEI São Francisco na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 66,00 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 120 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 85 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 10kW com 3 MPPT's, 2 MPPT's com uma *string* e arranjo série de 9 módulos e 1 MPPT com uma strings e arranjo série de 8 modulos;
- 1 inversor de 5kW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 6 módulos;
- 1 inversor de 6kW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 8 módulos e outra MPPT e arranjo série de 7 módulos;
- 1 inversor de 6kW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 8 módulos e outra

MPPT e arranjo série de 7 módulos;

- 1 inversor de 10kW com 3 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 8 módulos;
- 1 inversor de 7kW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 9 módulos;
- 1 inversor de 5kW com 1 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 10 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo

método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 10,5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66 < 80A < 100A$$

O Inversor Fotovoltaico 1 de 10,5kW monofásico será conectado no barramento trifásico de 100A do BLOCO A.

No trecho entre cada inversor de 5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

O Inversor Fotovoltaico 2 de 5kW monofásico será conectado no barramento trifásico de 63A do BLOCO B.

O Inversor Fotovoltaico 3 de 5kW monofásico será conectado no barramento trifásico de 80A do BLOCO C.

No trecho entre cada inversor de 6kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 34,09 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$34,09 < 40A < 54A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 5 e 6 de 6kW monofásico serão instalados juntamente com o Inversor Fotovoltaico 4 de 10,5Kw, (esse com proteção de 80A e cabeamento de 16mm² HEPR) e conectados no barramento trifásico de 100A do BLOCO E.

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 43,75 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$43,75 < 50A < 75A$$

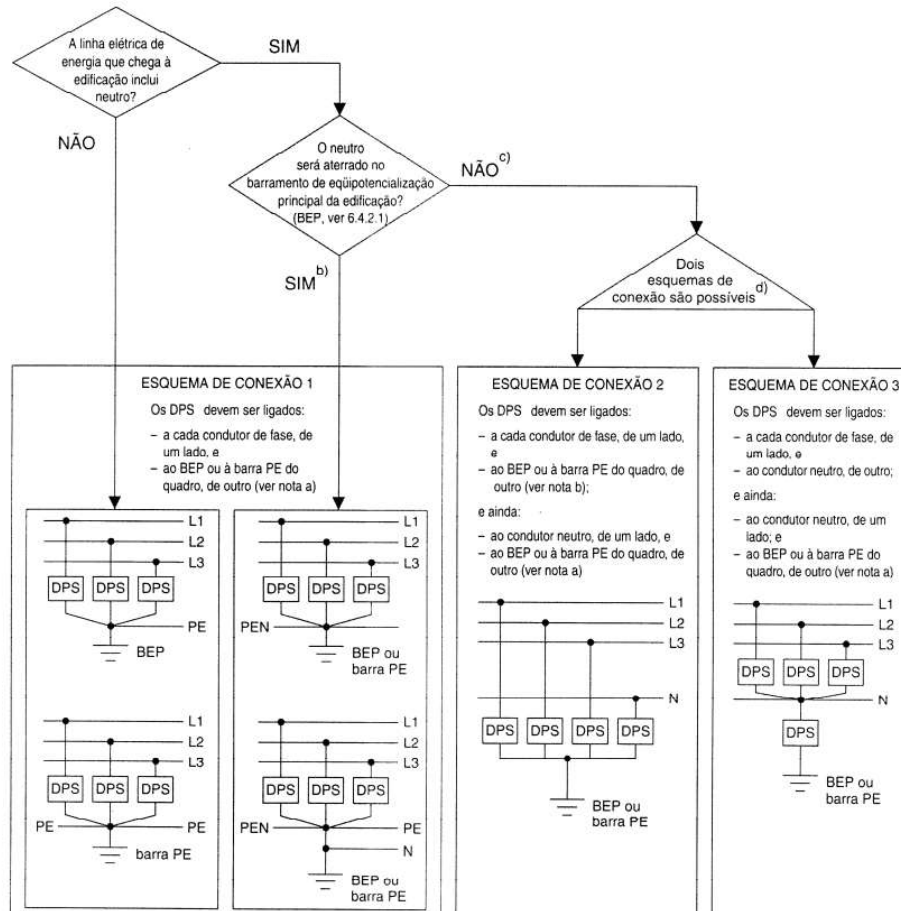
O Inversor Fotovoltaico 7 de 7kW monofásico será conectado no barramento trifásico de 175A do QDG da edificação.

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

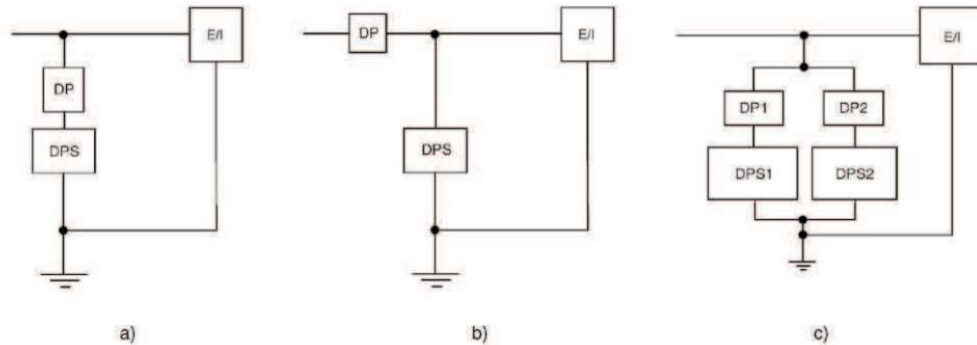
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

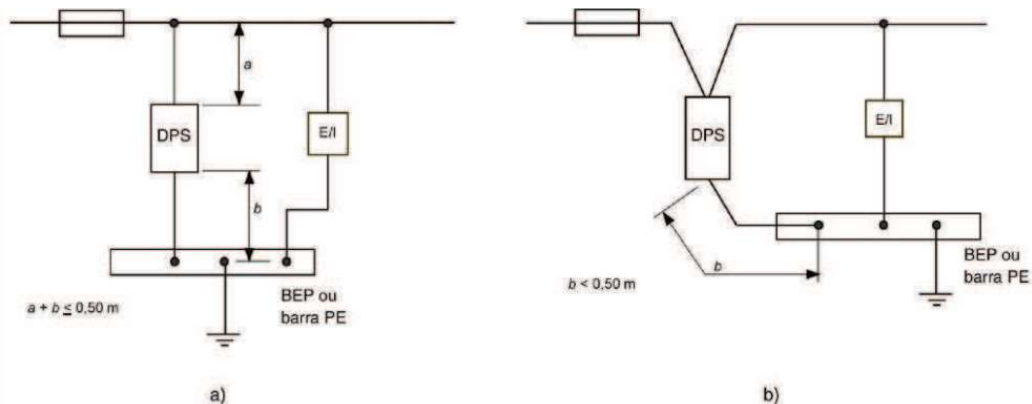


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESPAÇO EDUCATIVO URBANO – SÃO JOÃO

Ciente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO **CNPJ:**
76995448/0001-54

UC: 94845328

Endereço da Obra: Rua Setembrino Tomazzi, São João

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.08.15 14:27:26 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	10
7.5 Condutores.....	11
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	12
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	12
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	13
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	13
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	13
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	14
9 ATERRAMENTO	17

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 94845328 do local Espaço Educativo Urbano - São João, no endereço Rua Setembrino Tomazzi, bairro São João Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Espaço Educativo Urbano - São João apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Setembrino Tomazzi

Bairro: São João

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2337138

Longitude: -52.7130985

Altitude: 799 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Espaço Educativo Urbano - São João foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 1 Inversor CC/AC modelo 30kW trifásico em 380V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;
- 1 Inversores CC/AC modelo 9kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 8kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 8kW monofásico em 220V;
- Autotransformador rebaixador de 380V/220V de 35kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 5 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A

Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 30KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	45 kWp
Tensão máxima CC	1.100 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000 V
Máxima corrente de entrada	26 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40 A
Tensão de partida	200 V
Número de MPPT	4

Número máximo de entradas por MPPT	2
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	30 kW
Potência aparente máxima	33 kVA
Tensão nominal CA	380 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	50,4 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,7%
DADOS GERAIS	
Peso	43 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 9KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	13,5kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	9 kW
Potência aparente máxima	9,9 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	45 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 8KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	12kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	8 kW
Potência aparente máxima	8,8 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	40 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8

THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%
DADOS GERAIS	
Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 7KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	10,5kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	7 kW
Potência aparente máxima	7,7 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	35 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

Os inversores também devem possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.
- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.
- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.
- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 50 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.
- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.
- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.
- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:
Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de **5kA** e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN. **Uso específico da proteção do DPS.**

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 11.450kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Espaço Educativo Urbano - São João na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 30KW com 4 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 20 módulos;
- 1 inversor de 20KW com 4 MPPT's, sendo 2 MPPT's com uma string por MPPT e arranjo série de 13 módulos e 2 MPPT's com uma string e arranjo série de 12 módulos;
- 1 inversor de 9KW com 3 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 8 módulos;
- 1 inversor de 8KW com 2 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 10 módulos;
- 1 inversor de 7KW com 2 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 8 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre o inversor de 30kW até o autotransformador em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 62,67 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$62,67 < 80A < 117A$$

No trecho entre o autotransformador de 35kVA até o ponto de conexão no barramento principal, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de 108,25A. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$108,25A < 125A < 144A$$

No trecho entre o inversor de 20kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,61 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 9kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 56,25 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$56,25A < 80A < 100A$$

No trecho entre o inversor de 8kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 50 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$50A < 63A < 75A$$

No trecho entre o inversor de 7kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 43,75 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$43,75A < 50A < 75A$$

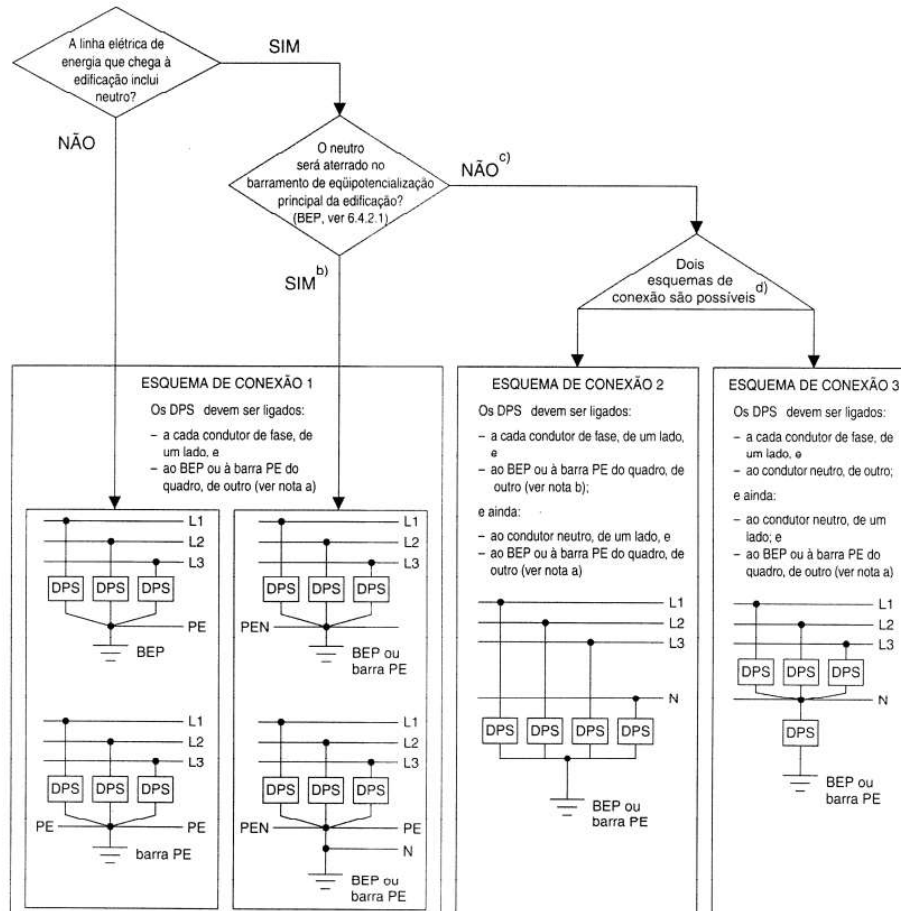
No trecho entre o QFV1 e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 50mm² e um disjuntor caixa moldada de 150A.

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

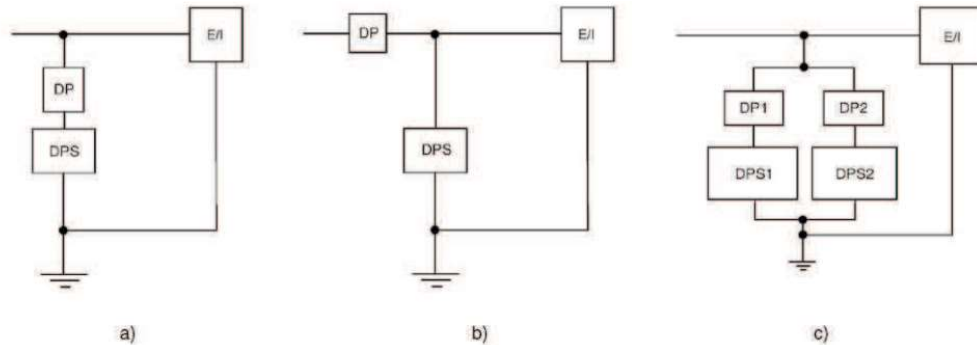
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

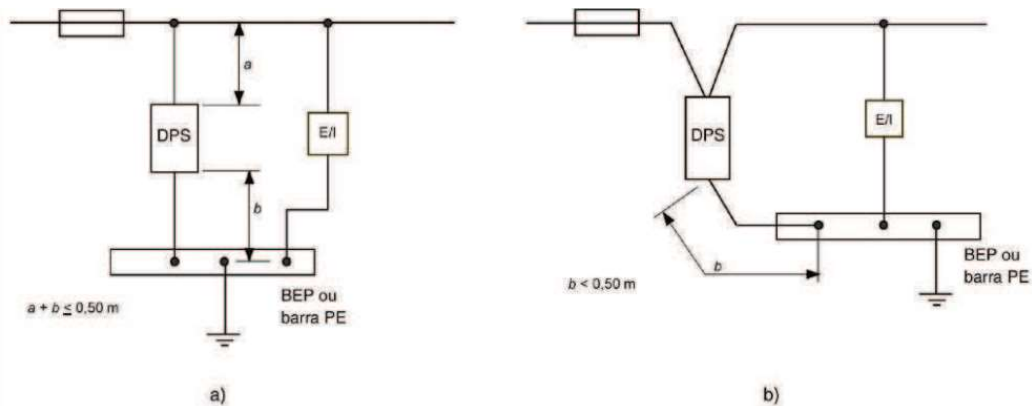


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "*Copperweld*", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESCOLA JARDIM PRIMAVERA

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 99416115

Endereço da Obra: Rua Argentina, 624, Jardim Primavera

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:46:01 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	10
7.5 Condutores.....	11
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	11
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	11
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	12
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	12
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	12
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	13
9 ATERRAMENTO	16

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 99416115 do local ADM - Escola Jardim Primavera, no endereço Rua Argentina, 624, bairro Jardim Primavera Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola Jardim Primavera apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: R. Argentina, 624

Bairro: Jardim Primavera

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.231426

Longitude: -52.6828207

Altitude: 821 m

Fonte dos dados climáticos: Meteonorm 8.0

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola Jardim Primavera foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 99416115, instalada no local Escola Jardim Primavera.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;

- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversor CC/AC modelo 30kW trifásico em 380V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;
- 2 Inversores CC/AC modelo 10,5kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 4kW monofásico em 220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 5 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Pannel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 30KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	45 kWp
Tensão máxima CC	1.100 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000 V
Máxima corrente de entrada	26 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40 A

Tensão de partida	200 V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	30 kW
Potência aparente máxima	33 kVA
Tensão nominal CA	380 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	50,4 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,7%
DADOS GERAIS	
Peso	43 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 4KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	6 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 600 V
Máxima corrente de entrada	12,5 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18 A
Tensão de partida	100 V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	4 kW
Potência aparente máxima	4,4 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	20 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8

THD	<3%
Eficiência Máxima	98,4%
DADOS GERAIS	
Peso	12,3kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	365 x 365 x 156mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 32 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola Jardim Primavera na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 85 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador

fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 30kW com 4 MPPT's, sendo 2 MPPT's com uma *string* por MPPT e arranjo série de 18 módulos e 2 MPPT's com uma *string* e arranjo série de 19 módulos;
- 1 inversor de 20KW com 4 MPPT's e uma *string* por MPPT e arranjo série de 13 módulos;
- 2 inversores de 10,5KW com 6 MPPT's e uma *string* por MPPT e arranjo série de 9 módulos;
- 1 inversor de 4KW com 1 MPPT, sendo uma *string* por MPPT e arranjo série de 10 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na

corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de $40^{\circ}C$ da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de $6mm^2$ é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de $6mm^2$ pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 10,5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de $16mm^2$ com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66 < 80A < 100A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 3 e 4 de 10,5kW monofásico serão conectados no barramento trifásico de 150A do novo QFV1 a ser instalado.

No trecho entre o inversor de 30kW até o autotransformador em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de $25mm^2$ com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 62,67 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$62,67 < 80A < 117A$$

No trecho entre o autotransformador de 35kW até o ponto de conexão no barramento principal, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de 98,41A. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$98,41A < 125A < 144A$$

No trecho entre o inversor de 20kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,61 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 4kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$25 < 32A < 54A$$

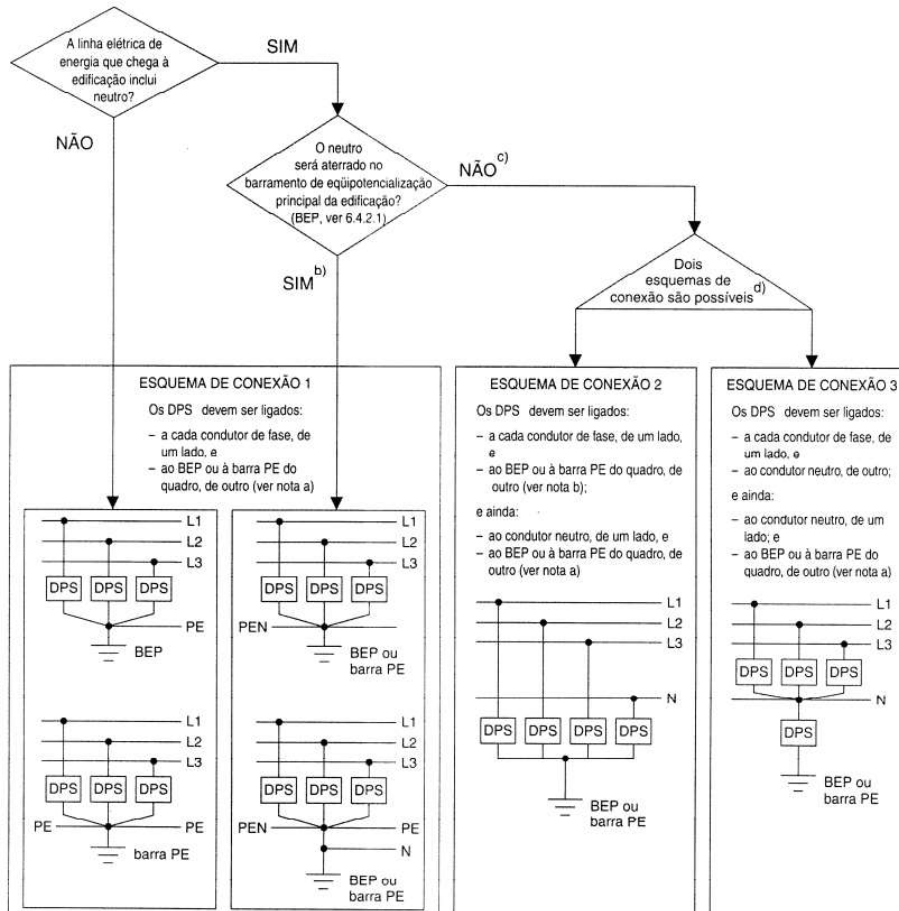
No trecho entre o QFV1 e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 50mm² e um disjuntor caixa moldada de 150A.

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

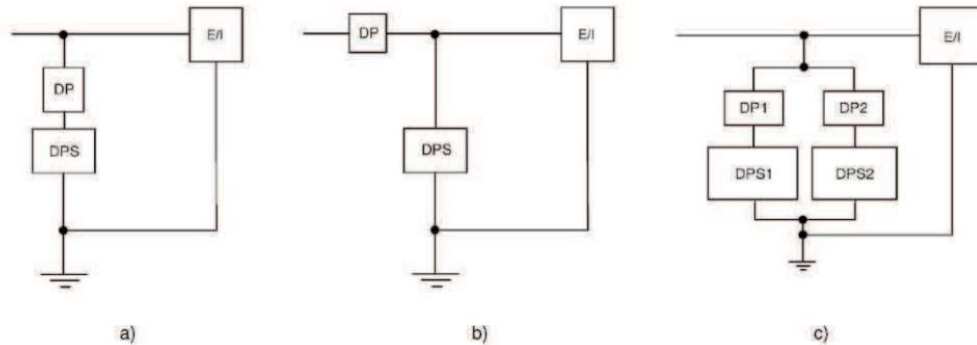
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

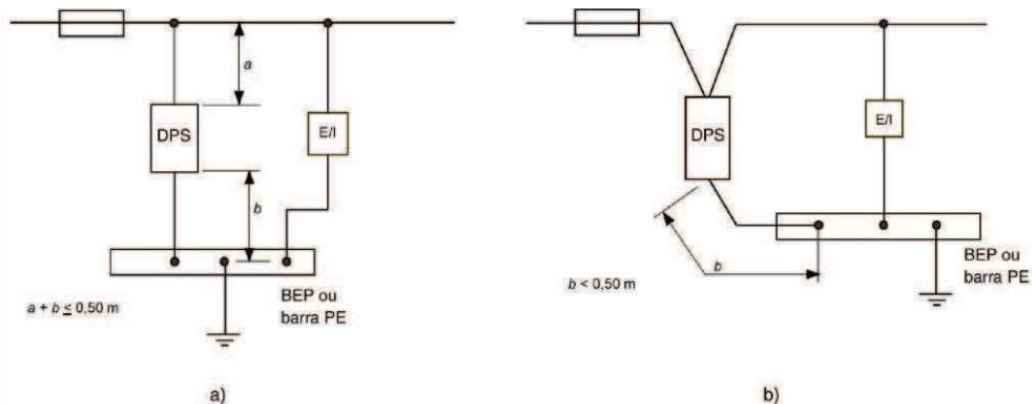


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "*Copperweld*", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESCOLA OLAVO BILAC

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 56450460

Endereço da Obra: Rua Industrial, 206, Industrial

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA

LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Dados: 2023.05.31 13:47:23 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 OBJETIVO.....	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica.....	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	5
7.1 Características Gerais.....	5
7.2 Módulo Fotovoltaico.....	6
7.3 Inversor Solar.....	7
7.4 Dispositivos de Proteção.....	8
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema.....	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição.....	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada.....	11
9 ATERRAMENTO.....	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 56450460 do local Escola Olavo Bilac, no endereço Rua Industrial, 206, bairro Industrial, município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração Escola Olavo Bilac apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Industrial, 206

Bairro: Industrial

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2387315

Longitude: -52.6682818

Altitude: 756m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola Olavo Bilac foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 56450460, instalada no local Escola Olavo Bilac.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 3 Inversores CC/AC modelo 25kW;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 55kVA;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 30kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em três inversores com potencia nominal de 25kW.

- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT com arranjos série de 16 módulos. Totalizando 64 Módulos.
- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT com arranjos série de 16 módulos. Totalizando 64 Módulos.
- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT. Uma MPPT com arranjos série de 16 módulos e outra MPPT com arranjos série de 15 módulos. Totalizando 62 Módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas da seguinte forma:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolamento e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 25KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	37,5kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	140 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	28A
Corrente de Curto-Circuito máxima	36,4A
Tensão de partida	140V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	25kW
Potência aparente máxima	25kVA
Tensão nominal CA	380V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	37,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%

DADOS GERAIS

Peso	21kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	370 x 480 x 183,5mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobret temperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 160 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção

de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola Olavo Bilac na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a

aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 25kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	2
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	37,5kW
Tensão Nominal CC	1.000V
Tensão Máxima CC	1.100V
Tensão de partida CC	140V

- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT com arranjos série de 16 módulos. Totalizando 64 Módulos.
- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT com arranjos série de 16 módulos. Totalizando 64 Módulos.
- Inversor de 25kW com duas MPPT's e duas strings para cada MPPT. Uma MPPT com arranjos série de 16 módulos e outra MPPT com arranjos série de 15 módulos. Totalizando 62 Módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão

automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 25kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 47,48A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$47,48A < 63A < 88A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 380V e o autotransformador rebaixador de 55kVA, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 100A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento

para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$94,96A < 100A < 144A$$

Para proteção do barramento de geração, do trecho entre o autotransformador de 55kVA até o ponto de conexão em 220V, foi escolhido um disjuntor de 160A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

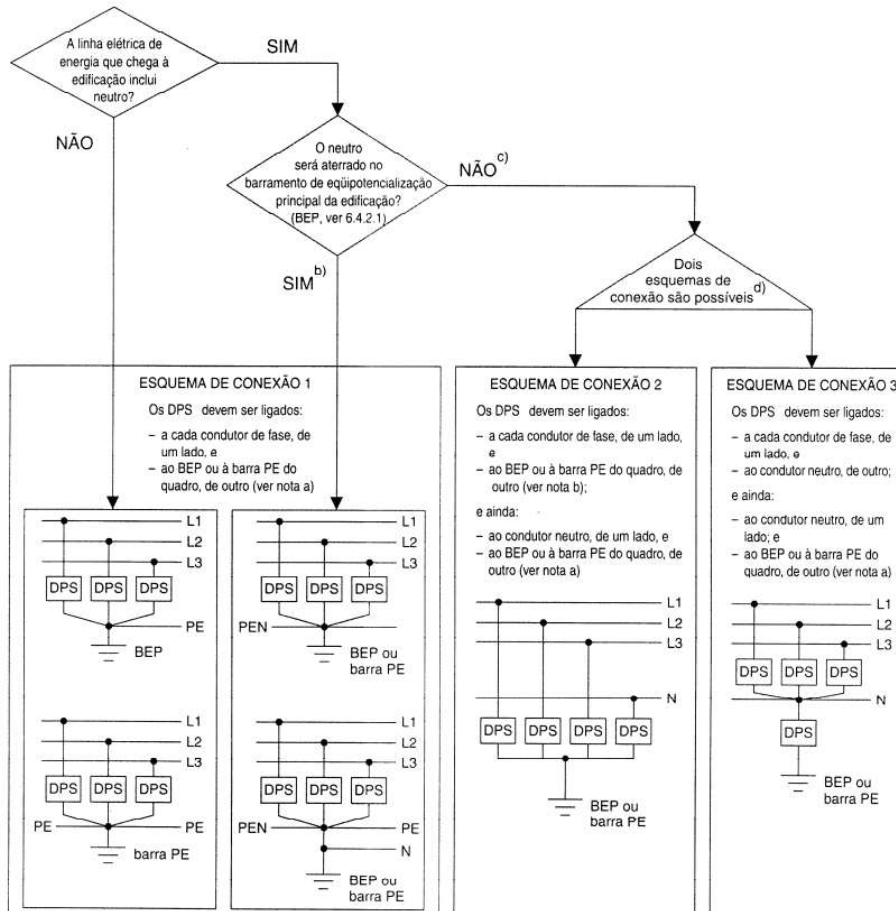
Para proteção do barramento de geração, do trecho entre o autotransformador de 30kVA até o ponto de conexão em 220V, foi escolhido um disjuntor de 100A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 10kA e tensão nominal de 400V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG da Garagem da Prefeitura. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação

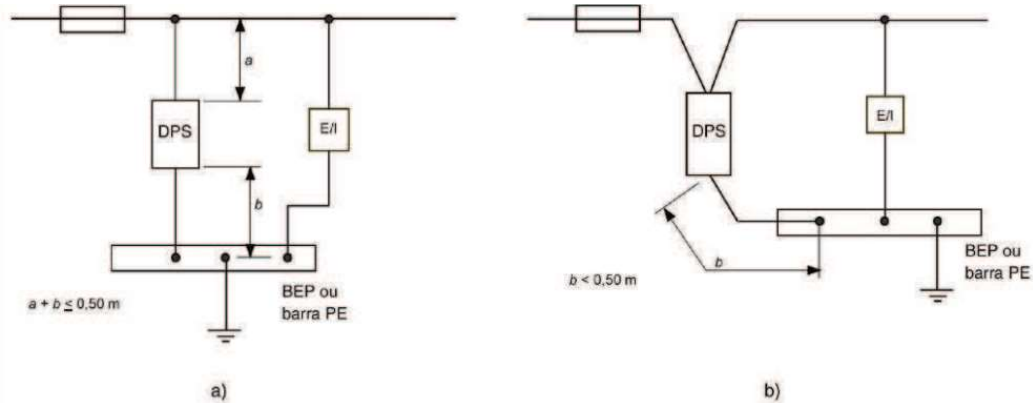
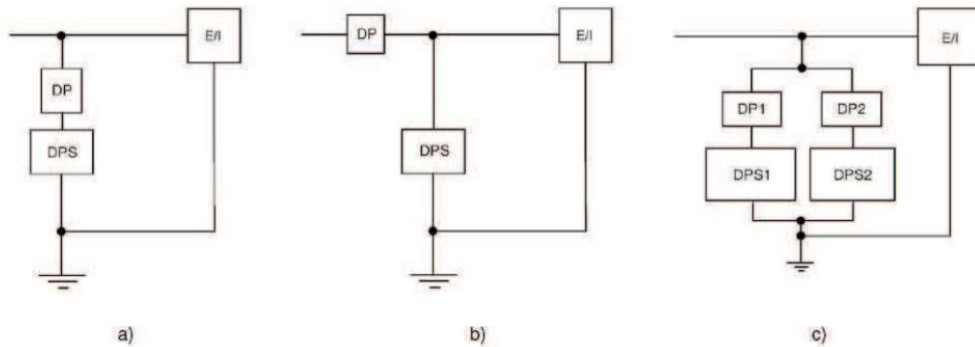


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes.

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESPAÇO EDUCATIVO URBANO PARQUE DO SOM

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 108412423

Endereço da Obra: Rua Frei Sergio Hillesheim, 233, Parque do Som

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:48:47 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 OBJETIVO.....	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica.....	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	5
7.1 Características Gerais.....	5
7.2 Módulo Fotovoltaico.....	6
7.3 Inversor Solar.....	7
7.4 Dispositivos de Proteção.....	10
7.5 Condutores.....	11
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	11
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema.....	11
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição.....	12
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	13
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	13
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada.....	14
9 ATERRAMENTO.....	17

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima CA de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 108412423 do local Espaço Edu. Urb. Parque do Som, no endereço Rua Frei Sergio Hillesheim, 233, bairro Parque do Som município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Espaço Educacional Urbano Parque do Som apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Frei Sergio Hillesheim, 233

Bairro: Parque do Som

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2357316

Longitude: -52.6499978

Altitude: 841 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Espaço Edu. Urb. Parque do Som foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 75 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversores CC/AC modelo 20kW;
- 2 Inversores CC/AC modelo 7kW;
- 2 Inversores CC/AC modelo 6kW;
- 1 Inversor CC/AC modelo 5kW;
- 1 Inversor CC/AC modelo 4kW;
- Quadro de proteção da saída CA dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em oito inversores.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Pannel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão mono/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30 kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A

Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 7KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	10,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	7 kW
Potência aparente máxima	7,7 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	35 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%
DADOS GERAIS	
Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 6KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	9 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	6 kW
Potência aparente máxima	6 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	26,1 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A

Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	
Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 4KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	6 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	4 kW
Potência aparente máxima	4,4 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 50 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.900 kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Espaço Edu. Urb. Parque do Som na

cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 2 inversores de 20KW com 8 MPPT's, sendo 6 MPPT's com uma string por MPPT e arranjo série de 13 módulos e 2 MPPT's com uma string por MPPT e arranjo série de 12 Módulos;
- 2 inversores de 7KW com 4 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos;
- 2 inversores de 6KW com 4 MPPT's, sendo 2 MPPT com uma string por MPPT e arranjo série de 7 módulos e 2 MPPT com uma string e arranjo série de 8 módulos;
- 1 inversor de 5KW com 2 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 5 módulos.
- 1 inversor de 4KW com 1 MPPT com uma string e arranjo série de 10 módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{Z'} = I_Z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento de conexão (barramento QFV-SUL), foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,608 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,608 A < 80A < 117A$$

O Inversor Fotovoltaico 1 de 20kW trifásico será conectado no barramento trifásico de 125A do barramento denominado aqui como QFV-SUL. O Inversor Fotovoltaico 4 de 20kW trifásico será conectado no barramento geral trifásico de 125A do local.

No trecho do inversor de 5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

No trecho do inversor de 4kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 25A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$25 < 40A < 54A$$

Os Inversores Fotovoltaicos de 4KW e 5kW monofásico serão conectados no barramento trifásico de 80A denominado como QFV-CENTRONORTE. No trecho entre esse barramento e o ponto de conexão com o QDG do local, foi escolhido cabos unipolares de 16mm² de cobre com isolamento HEPR.

No trecho entre cada inversor de 6kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 34,09 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$34,09 < 40A < 54A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 7 e 8 de 6kW monofásico serão conectados no barramento trifásico de 80A denominado como QFV-NORTE. No trecho entre esse barramento e o ponto de conexão com o QDG do local, foi escolhido cabos unipolares de 16mm² de cobre com isolamento HEPR.

No trecho entre os inversores de 7kW até o barramento de conexão (barramento QFV-SUL), foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 43,75 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

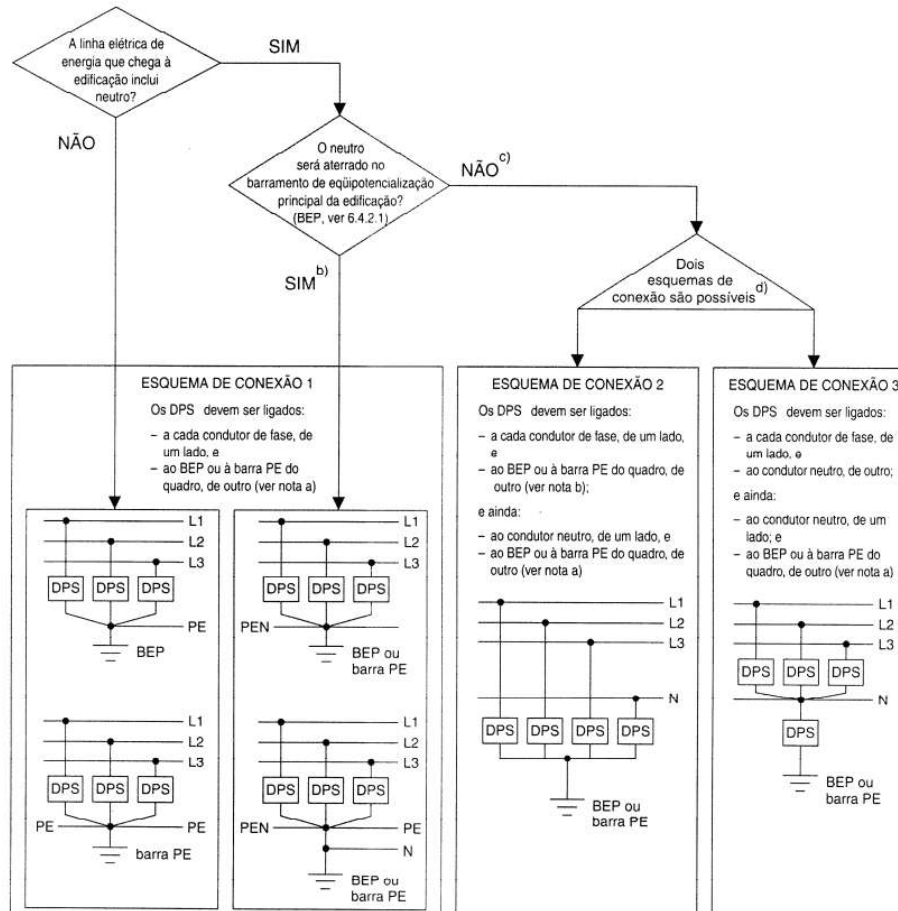
$$43,75 < 50A < 75A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

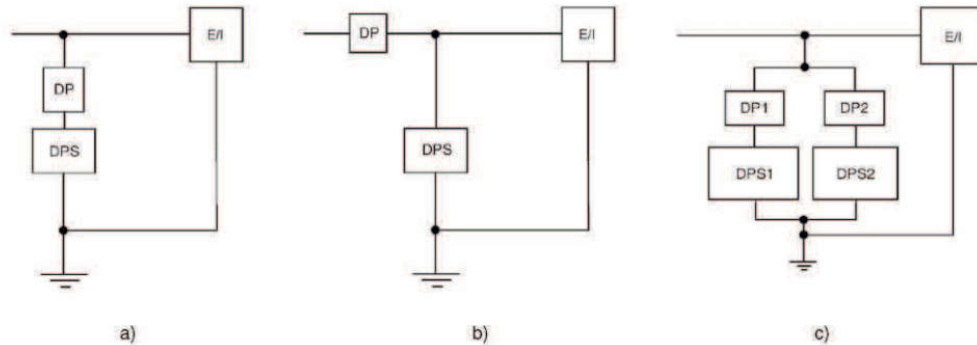
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

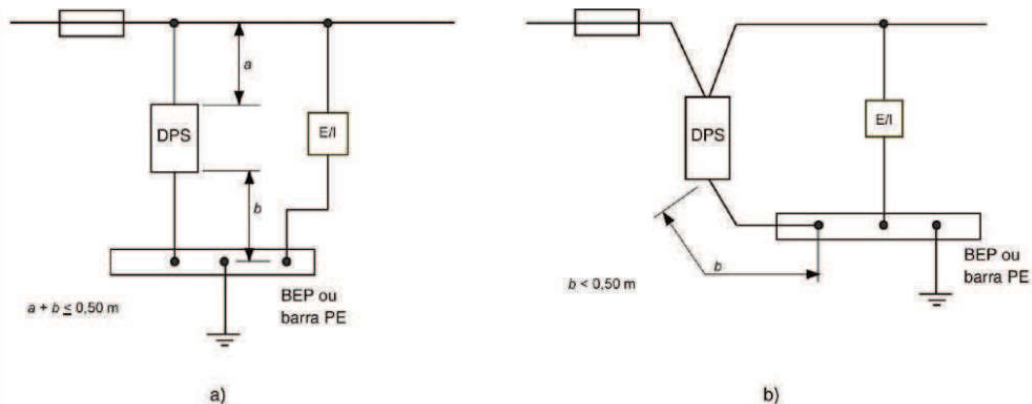


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste “Copperweld”, 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESCOLA PEQUENO PRÍNCIPE

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 55323936

Endereço da Obra: Rua Olavo Bilac, 25, Bortot

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:51:40 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	10
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	10
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	10
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	11
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	12
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	12
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	16

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 55323936 do local Escola Pequeno Príncipe, no endereço Rua Olavo Bilac, 25, bairro Bortot, Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola Pequeno Príncipe apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Olavo Bilac, 25

Bairro: Bortot

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2157218

Longitude: -52.6753647

Altitude: 761 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola Pequeno Príncipe foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversor CC/AC modelo 25kW trifásico em 380V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 5kW monofásico em 220V;
- Autotransformador rebaixador à seco de 55kVA 380V/220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 4 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%

Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 25KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	37,50 kWp
Tensão máxima CC	1.100 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	140 ~ 1.000 V
Máxima corrente de entrada	28 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	36,4 A
Tensão de partida	140 V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	25 kW
---------------------	-------

Potência aparente máxima	25 kVA
Tensão nominal CA	380 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	37,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%
DADOS GERAIS	
Peso	21 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	370 x 480 x 183,5mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%

DADOS GERAIS

Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V

Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	
Peso	15,5kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola Pequeno Príncipe na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada

do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 85 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 20KW com 4 MPPT's, sendo 2 MPPT's com uma *string* por MPPT e arranjo série de 12 módulos e 2 MPPT's com uma *string* e arranjo série de 13 módulos;
- 1 inversor de 25KW com 2 MPPT's, sendo 1 MPPT com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas *strings* e arranjo série de 17 módulos;
- 1 inversor de 25KW com 2 MPPT's, com duas *strings* por MPPT e arranjo série de 16 módulos;
- 1 inversor de 5KW com 1 MPPT com uma *string* e arranjo série de 10 módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o

religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 25kW até o barramento proteção em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 47,48 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$47,48 A < 63A < 88A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 1 e 2 de 25kW trifásico serão conectados no barramento trifásico de 100A do novo QD-380 a ser instalado.

No trecho em o QD-380 até o autotransformador à seco de 55kVA em 380V, foi escolhido cabo transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente do conjunto de inversores

75,97 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$75,97 A < 100A < 117A$$

No trecho entre o autotransformador de 55kVA em 220V até o QFV1 e ponto de conexão deste, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente de 131,22 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$131,22A < 150A < 175A$$

No trecho entre o inversor de 20kW até o barramento do QFV2, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de 65,61A. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61A < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento de conexão do novo QFV2, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

No trecho entre o barramento do QFV2 até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 82 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

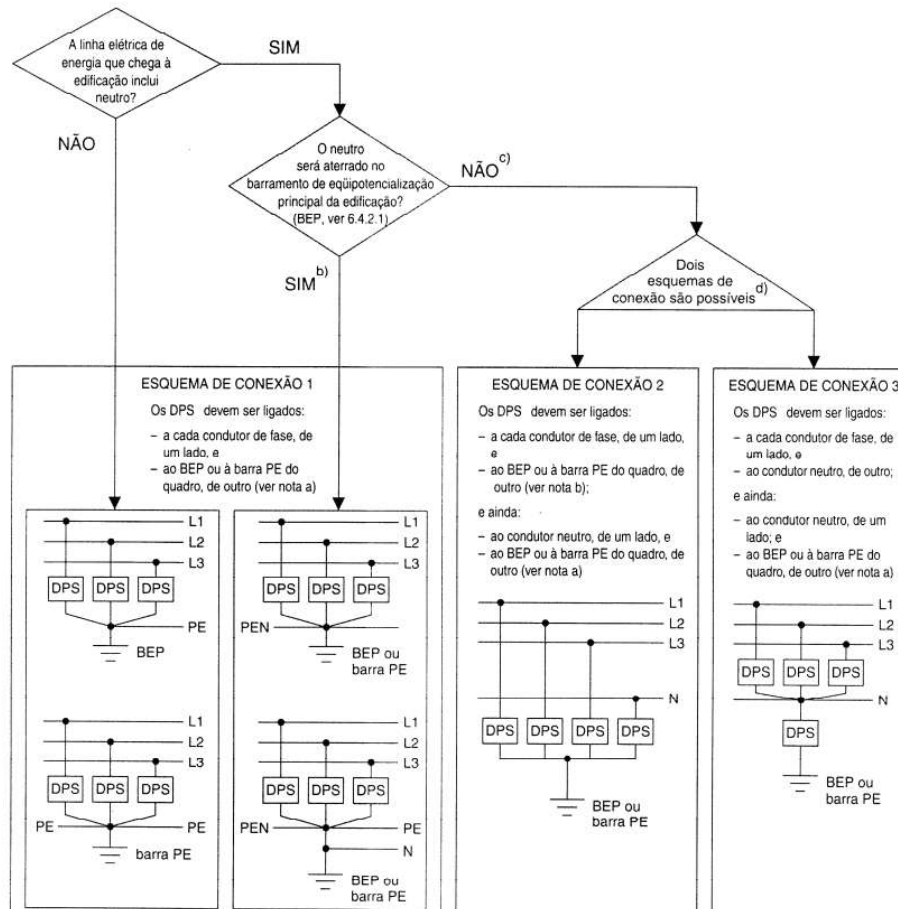
$$82A < 100A < 117A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

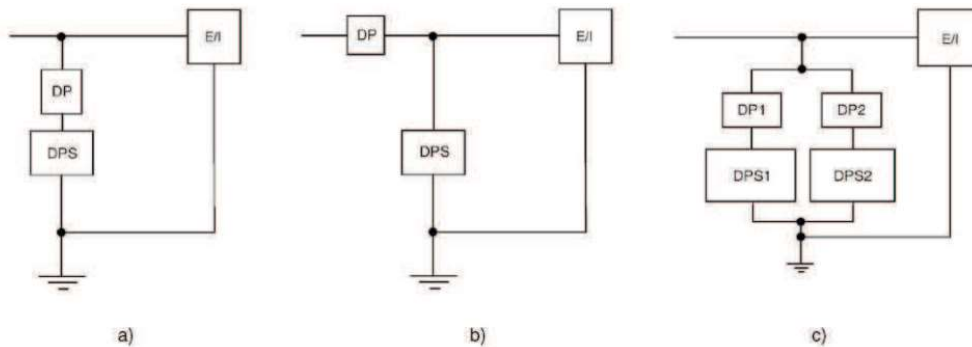
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

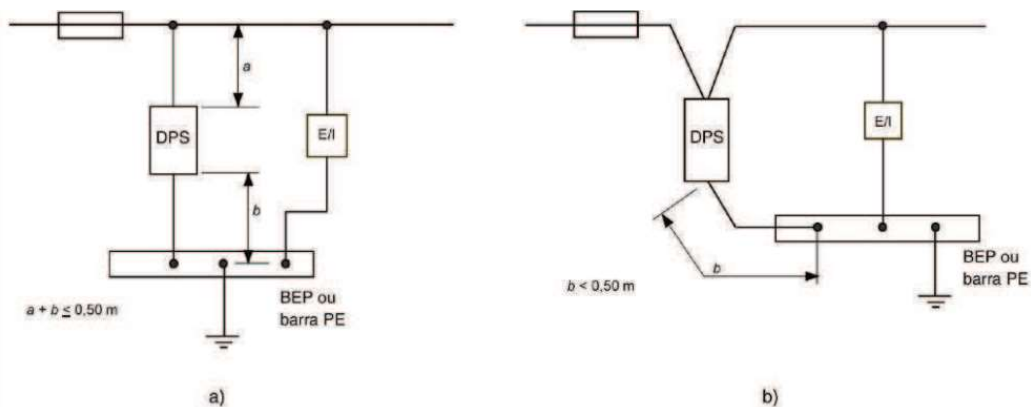


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste “*Copperweld*”, 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESCOLA ROCHA POMBO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO
CNPJ: 76995448/0001-54
UC: 99566621
Endereço da Obra: Rua Paraná, 173, Baixada
Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:53:31 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	10
7.5 Condutores.....	11
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	11
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	11
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	12
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	12
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	12
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	13
9 ATERRAMENTO	16

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 99566621 do local Escola Rocha Pombo, no endereço Rua Paraná, 173, bairro Baixada Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola Rocha Pombo apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Paraná, 173

Bairro: Baixada

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2353704

Longitude: -52.6733592

Altitude: 751 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola Rocha Pombo foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, aéreo/subterrâneo, 70mm², Cu

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 2 Inversores CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;

- 2 Inversores CC/AC modelo 10,5kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 8kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 6kW monofásico em 220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 5 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C

Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão monofásica/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%

DADOS GERAIS

Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 8KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	12 kWp
--------------------	--------

Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 600 V
Máxima corrente de entrada	14 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18 A
Tensão de partida	100 V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	8 kW
Potência aparente máxima	8,8 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	40 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%
DADOS GERAIS	
Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 6KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	9 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 600 V
Máxima corrente de entrada	14 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18 A
Tensão de partida	100 V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	6 kW
Potência aparente máxima	6 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	

Peso	15,5kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

Os inversores também devem possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN. **Uso específico da proteção do DPS.**

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 160 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola Rocha Pombo na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador

fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 2 inversores de 20KW com 4 MPPT's e uma *string* por MPPT e arranjo série de 13 módulos;
- 2 inversores de 10,5 KW com 6 MPPT's, sendo 4 MPPT's com uma *string* por MPPT e arranjo série de 9 módulos e 2 MPPT's com uma *string* e arranjo série de 8 módulos.
- 1 inversor de 8 KW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 10 módulos;
- 1 inversor de 6 KW com 2 MPPT's, com uma *string* por MPPT e arranjo série de 7 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{sc} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C

da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 10,5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66A < 80A < 100A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 4 e 6 de 10,5kW monofásico serão conectados no barramento do novo QFV2 a ser instalado.

No trecho entre o inversor de 8kW até o barramento do novo QFV2, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 50 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$50A < 63A < 75A$$

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,61 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61A < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 6kW até o barramento do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 34,09 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$34,09A < 40A < 54A$$

No trecho entre o QFV1 e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 50mm² e um disjuntor caixa moldada de 160A.

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$150,9A < 160A < 175A$$

No trecho entre o QFV2 e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 35mm² e um disjuntor caixa moldada de 125A.

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

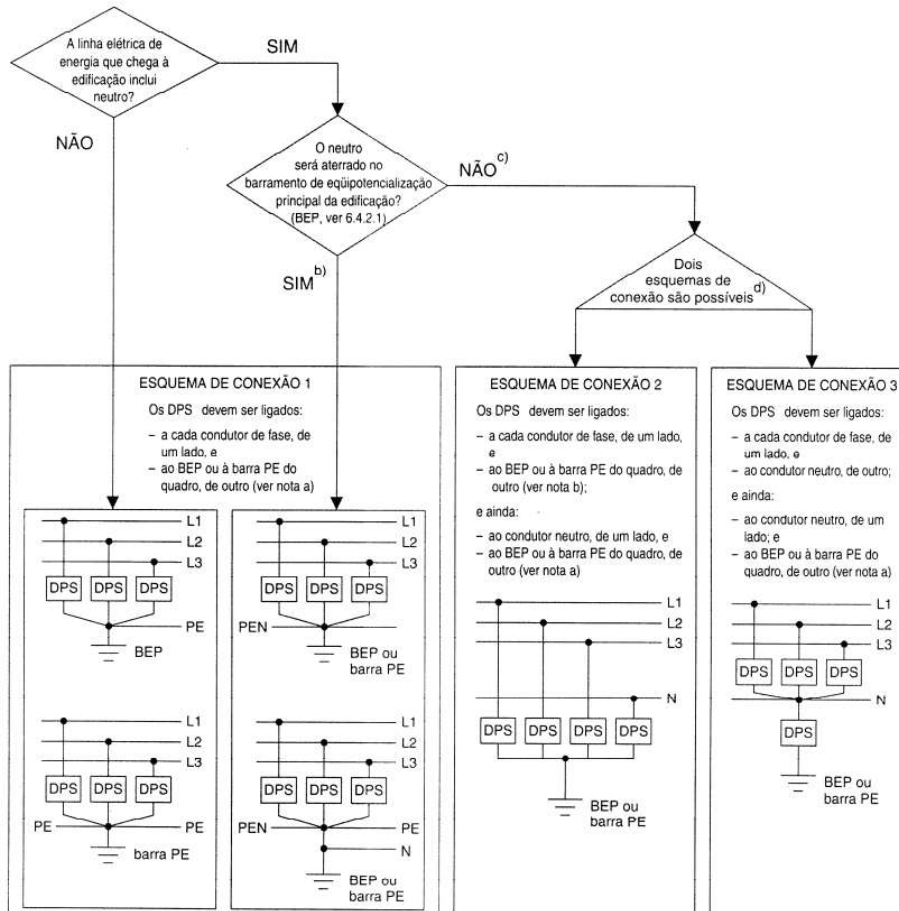
$$97,769A < 125A < 144A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

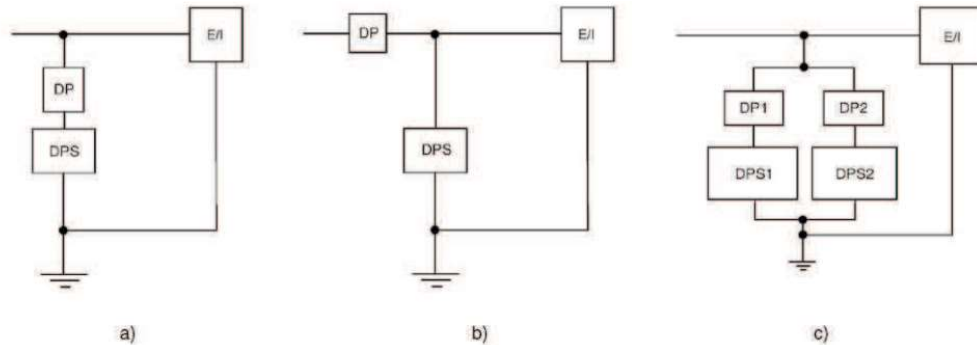
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

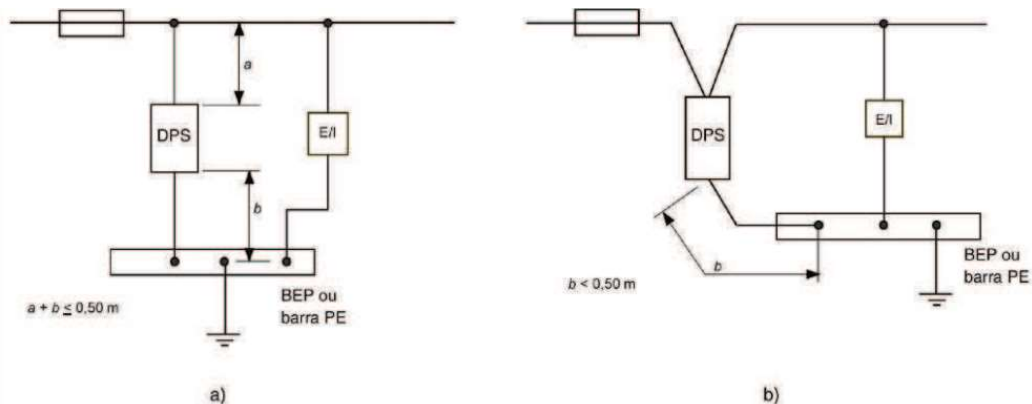


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "*Copperweld*", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 70,4KWP
ESCOLA SÃO CRISTOVÃO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 45655812

Endereço da Obra: Rua Luiz Xavier, 1250, São Cristóvão

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETTRICA
Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETTRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:55:42 -03'00'
Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	10
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 70,4 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 45655812 do local Escola São Cristóvão, no endereço Rua Luiz Xavier, 1250, bairro São Cristóvão Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola São Cristóvão apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Luiz Xavier, 1250

Bairro: São Cristóvão

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2651998

Longitude: -52.6903265

Altitude: 860 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola São Cristóvão foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm, AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 128 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 2 Inversores CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;

- 1 Inversor CC/AC modelo 10,5kW monofásico em 220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 70,4kWp será constituído por 128 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 3 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamentoilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão monofásica/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V

Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

Os inversores também devem possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN. **Uso específico da proteção do DPS.**

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 175 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 7.700kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola São Cristóvão na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 70,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 70,40 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 128 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 2 inversores de 20KW com 8 MPPT's, com 3 MPPT's com uma *string* por MPPT e arranjo série de 12 módulos e 5 MPPT's com uma *string* por MPPT e arranjo série de 13 módulos.
- 1 inversor de 10,5 KW com 3 MPPT's, uma *string* por MPPT e arranjo série de 9 módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{Z'} = I_Z \cdot F_{AC} = 30,21 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 10,5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66A < 80A < 100A$$

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,61 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61A < 80A < 117A$$

A proteção dos inversores será alocada em um novo quadro denominado como QFV. No trecho entre o QFV e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 70mm² e um disjuntor caixa moldada de 175A.

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

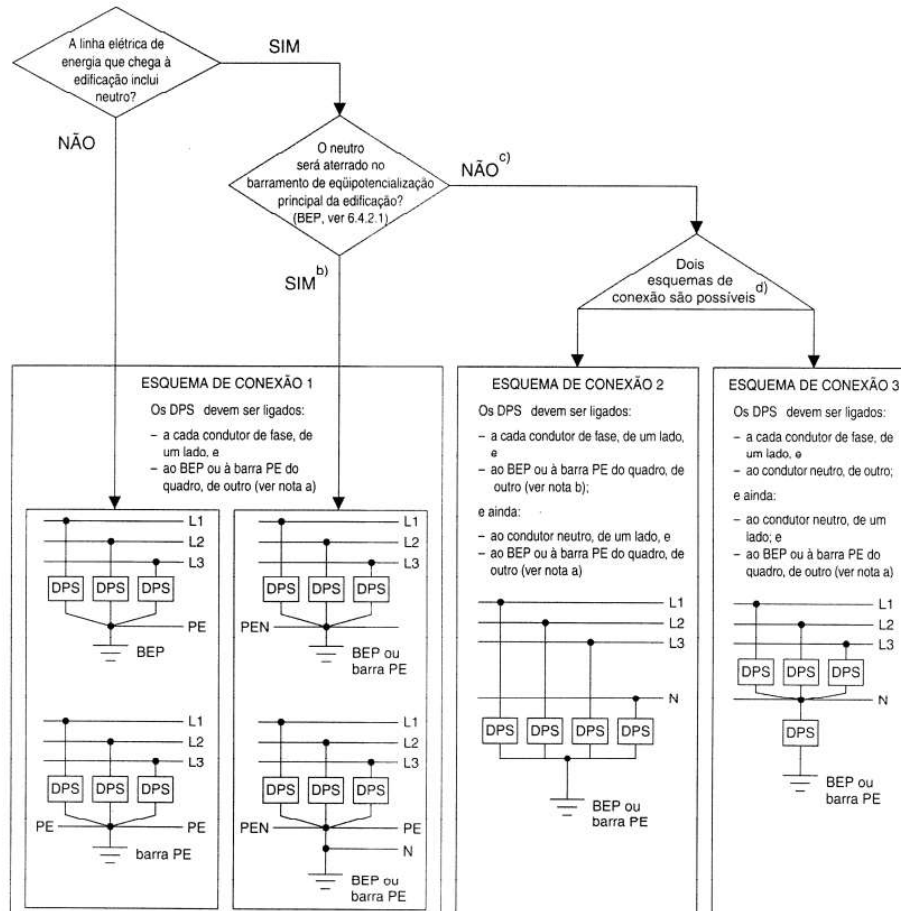
$$165,66A < 175A < 222A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

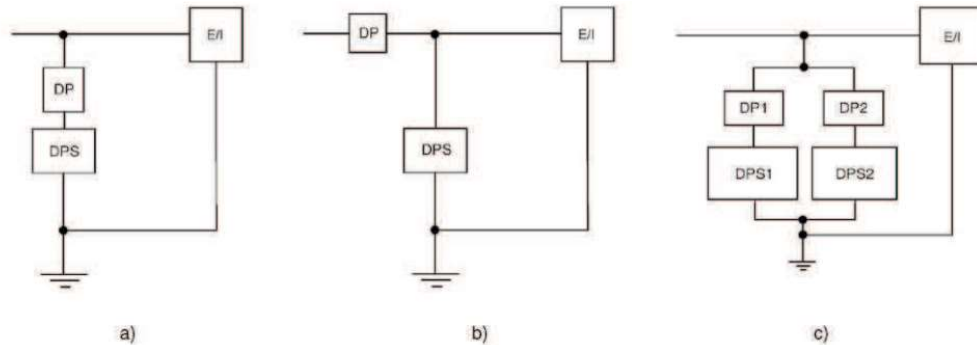
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

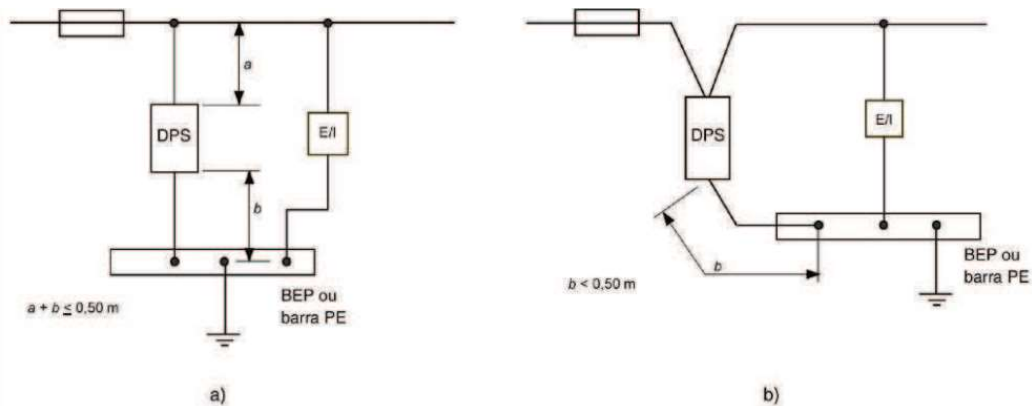


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "*Copperweld*", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 70,4KWP
ESCOLA MUNICIPAL SÃO LUIZ

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 93852347

Endereço da Obra: BR 158, São Roque do Chopim

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 13:59:21 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	10
7.5 Condutores.....	11
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	11
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	11
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	12
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	13
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	13
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	14
9 ATERRAMENTO	17



GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima CA de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 70,4 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 93852347 do local Escola Municipal São Luiz, no endereço BR 158, bairro São Roque do Chopim município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola Municipal São Luiz apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: BR 158

Bairro: São Roque do Chopim

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.0949262

Longitude: -52.6474335

Altitude: 684 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local CMEI São Francisco foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 43

Demanda Máxima: 57 kVA

Disjuntor de Proteção: 150 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 50mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 50mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 128 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversor CC/AC modelo 30kW;

- Autotransformador de 35kVA;
- 1 Inversor CC/AC modelo 5kW;
- 2 Inversor CC/AC modelo 7kW;
- 1 Inversor CC/AC modelo 3kW
- Quadro de proteção da saída CA dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 70,4kWp será constituído por 128 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em cinco inversores.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Pannel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 30KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	45 kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	30 kW
Potência aparente máxima	33 kVA
Tensão nominal CA	380 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	50,4 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,7%

DADOS GERAIS

Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 7KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	10,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	7 kW
Potência aparente máxima	7,7 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	35 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 6KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	9 kWp
--------------------	-------

Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	6 kW
Potência aparente máxima	6 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	26,1 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	
Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)	
Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	23,9 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%
DADOS GERAIS	

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	4,5 kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	3 kW
Potência aparente máxima	3,3 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	14,3 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 25 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 50 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 8.150 kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola São Luiz na cidade de Pato Branco-

PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 70,40 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 128 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 30KW com 4 MPPT's, 1 MPPT com uma string por MPPT e arranjo série de 20 módulos e 3 MPPT's com uma string por MPPT e arranjo série de 19 módulos;
- 1 inversor de 7KW com 2 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos;
- 1 inversor de 6KW com 2 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 8 módulos;
- 1 inversor de 5KW com 1 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 10 módulos;
- 1 inversor de 3KW com 1 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 7 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{Z'} = I_Z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre o inversor de 30kW até o autotransformador de 35kVA em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 62,67 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$62,67 A < 80A < 117A$$

No trecho entre o autotransformador de 35kVA em 220V até o barramento de 150A denominado como QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de 108,25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$108,25 A < 125A < 144A$$

O Inversor Fotovoltaico 1 de 30kW trifásico será conectado no barramento trifásico de denominado como QFV1.

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento de conexão, denominado como QFV2, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

O Inversor Fotovoltaico 4 de 5kW monofásico será conectado no barramento trifásico de 100A denominado como QFV2.

No trecho entre cada inversor de 7kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 43,75 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$43,75 A < 50A < 75A$$

Os Inversores Fotovoltaicos 5 de 7kW monofásico será instalado juntamente com o Inversor Fotovoltaico 4 de 5kW, (QFV2) e conectados no disjuntor trifásico de 100A com cabo unifilar de 25mm² HEPR. A conexão desse será feita no QFV1 GERAL. O inversor 2, também de 7kW, será conectado diretamente no quadro de disjuntores denominado como QFV1.

No trecho entre o inversor de 3kW até o barramento de conexão QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 43,75 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$18,75A < 25A < 54A$$

No trecho entre o Quadro Fotovoltaico geral denominado como QFV1 e o ponto de conexão do QGBT da escola São Luiz, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente de 147,22A do gerador fotovoltaico e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

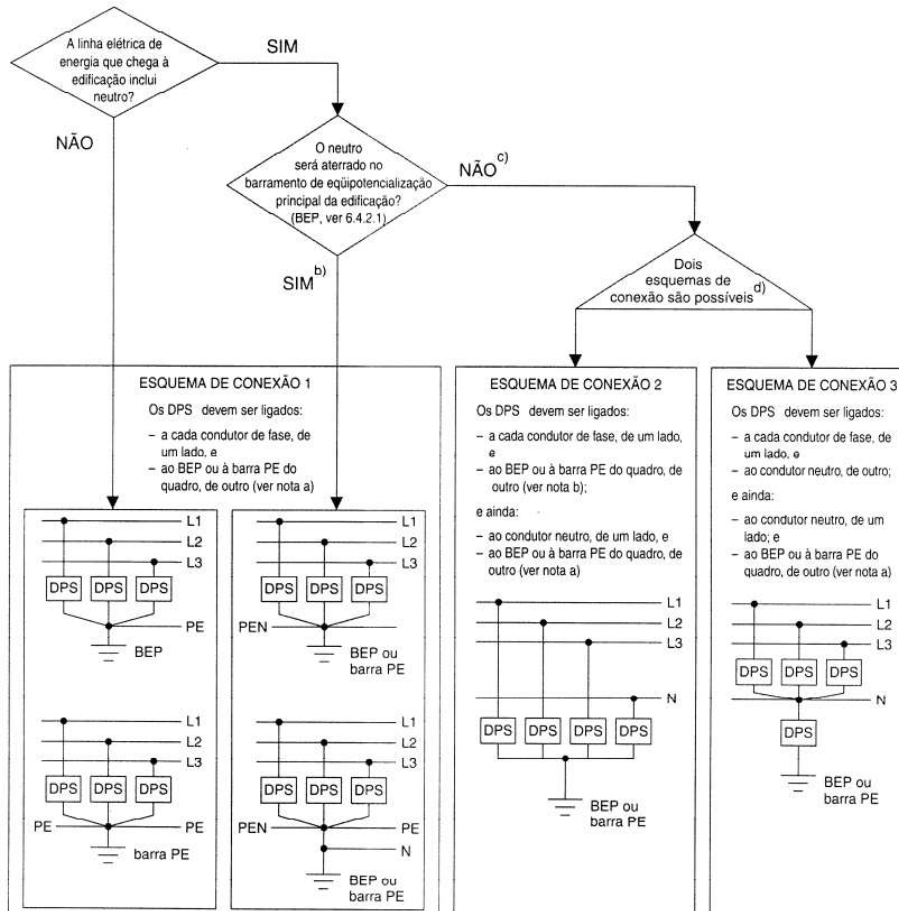
$$147,22A < 150A < 175A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

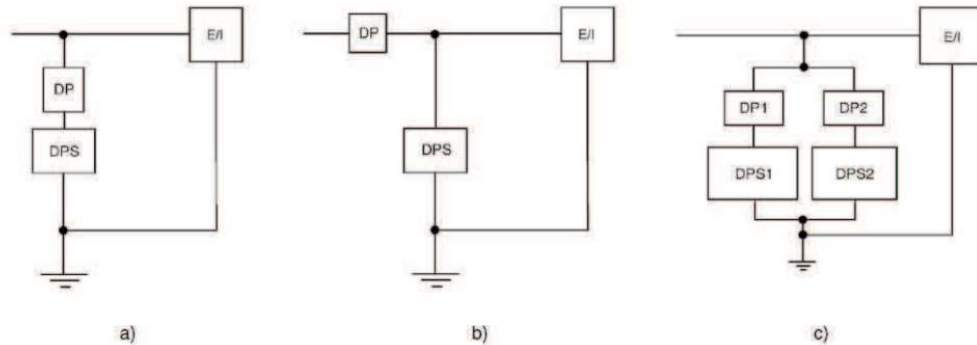
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

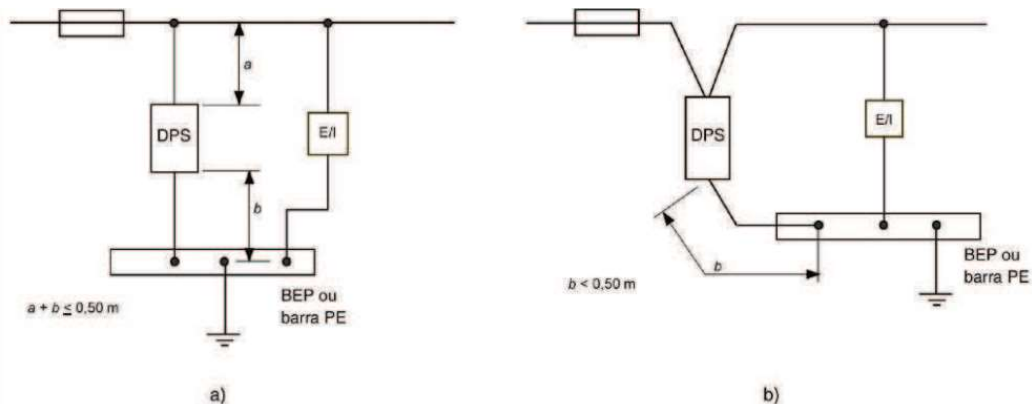


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
ESCOLA UDIR CANTU

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 103773142

Endereço da Obra: Rua Setembrino Tomazzi, São João

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA

LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182

Dados: 2023.05.31 14:01:07 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	10
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	10
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	10
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	11
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	12
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	12
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	15

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima C.A de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado à rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 103773142 do local Escola Udir Cantu, no endereço Rua Setembrino Tomazzi, bairro São João Município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Escola Udir Cantu apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Setembrino Tomazzi

Bairro: São João

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.233715

Longitude: -52.7132138

Altitude: 798 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Escola Udir Cantu foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 3 Inversor CC/AC modelo 20kW trifásico em 220V;
- 1 Inversores CC/AC modelo 10,5kW monofásico em 220V;
- 1 Inversor CC/AC modelo 4kW monofásico em 220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também se conectam em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício Monocristalino de 550W divididos em 5 inversores. As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C

Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão mono/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20 kW
Potência aparente máxima	20 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	127 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	58 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%

DADOS GERAIS

Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 4KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	6 kWp
--------------------	-------

Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 600 V
Máxima corrente de entrada	12,5 A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18 A
Tensão de partida	100 V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
SAIDA (CA)	
Potência nominal CA	4 kW
Potência aparente máxima	4,4 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	20 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,4%
DADOS GERAIS	
Peso	12,3kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	365 x 365 x 156mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 32 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN. **Uso específico para proteção do DPS.**

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Moldada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser compostos por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer às cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos deve estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.900kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Escola Udir Cantu na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definida por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 3 inversores de 20KW com 12 MPPT's, sendo 10 MPPT's com uma string por MPPT e arranjo série de 13 módulos e 2 MPPT's com uma string e arranjo série de 12 módulos;
- 1 inversor de 4KW com 1 MPPT's, sendo uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos;
- 1 inversor de 10,5KW com 3 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos;

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor e podem ser conferidos no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando, portanto, dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 A < I_N < 33,55 A$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre o inversor de 10,5kW até o barramento de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e da Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66 A < 80A < 100A$$

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 65,61 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$65,61A < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 4kW até o barramento de conexão de 150A do novo QFV1, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 25 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$25A < 32A < 54A$$

No trecho entre o QFV1 e o ponto de conexão no barramento de 200A da edificação, foi escolhido cabo de 70mm² e um disjuntor caixa moldada de 200A.

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

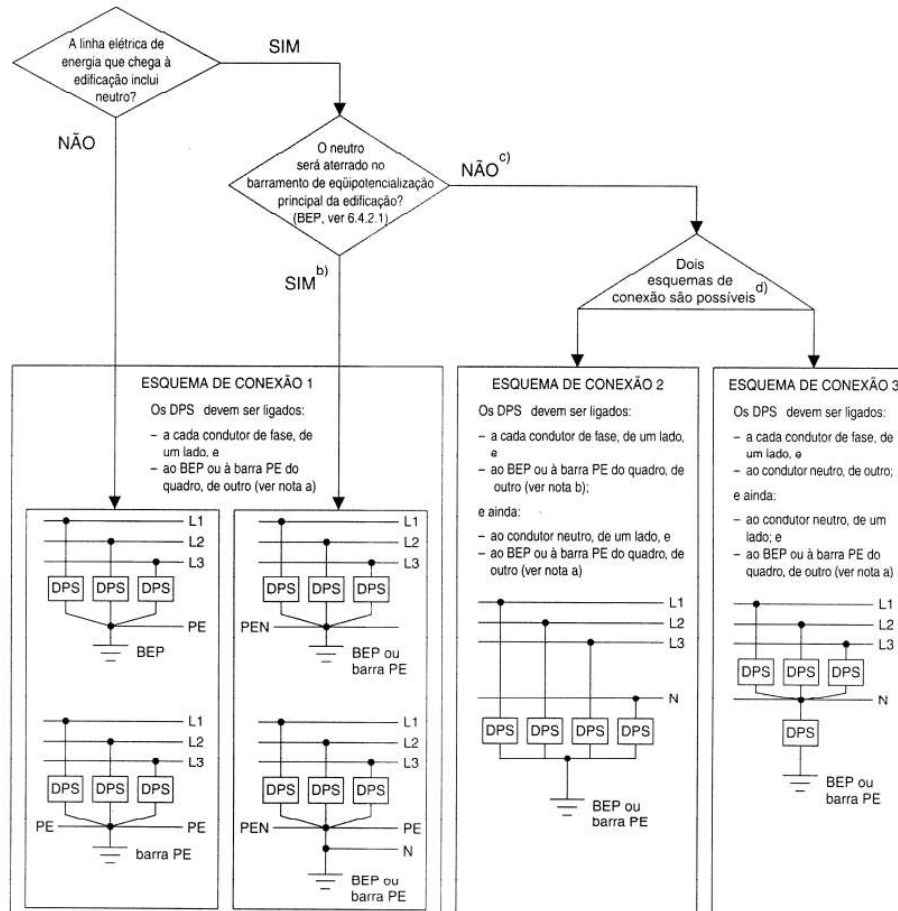
$$196,82A < 200A < 222A$$

O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

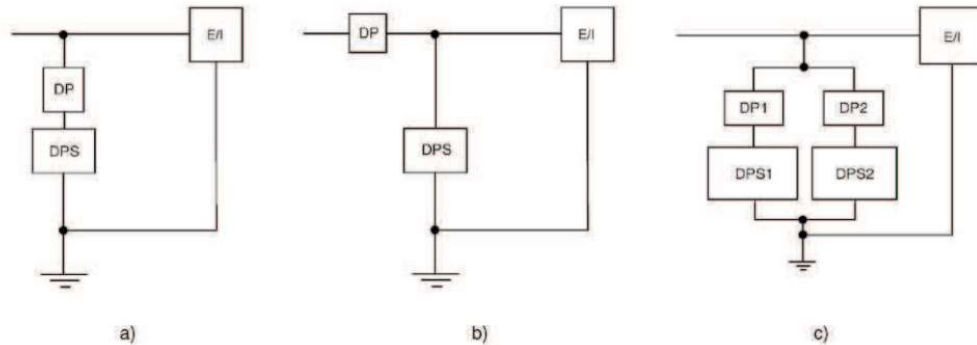
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

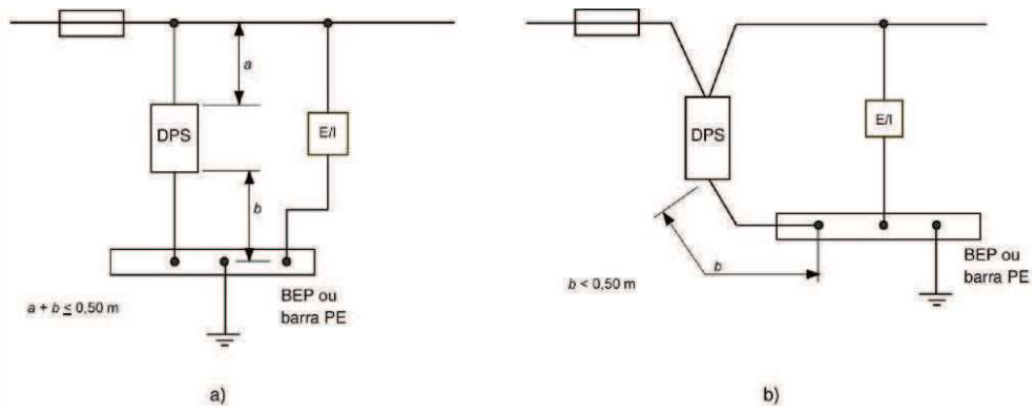


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "*Copperweld*", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 61,6KWP
UNIDADE CENTRAL DE SAÚDE

Cliente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 84939443

Endereço da Obra: Rua Paraná, 340, Centro

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:09:55 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	6
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 61,6 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 84939443 do local Unidade Central de Saúde, no endereço Rua Paraná, 340, Centro, município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração Unidade Central de Saúde apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Paraná, 340

Bairro: Centro

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2337331

Longitude: -52.6738048

Altitude: 756 m

Fonte dos dados climáticos: Meteonorm

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Unidade Central de Saúde foi implementada através do ramal de ligação aéreo em média tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão primária de 13,8kV e BT de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Proteção na baixa tensão com disjuntor de 600A.

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 84939443, instalada no local Unidade Central de Saúde.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 112 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 2 Inversores CC/CA modelo 20kW;
- 1 Inversor CC/CA modelo 5kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 61,6kWp será constituído por 112 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em três inversores. Dois inversores de 20kW trifásicos em 220V e um inversor de 5kW monofásico.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolamento e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20kW
Potência aparente máxima	22kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	127V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	58A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8

THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	23,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148 mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 7.600kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Unidade Central de Saúde na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 61,60 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 112 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 85 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 Inversor de 20kW com 4 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 12 Módulos.
- 1 Inversor de 20kW com 4 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 13 Módulos.
- 1 Inversor de 5kW com 2 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 6 Módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica

da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 72,17A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$72,17 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal

de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 119,41A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$119,41A < 125A < 175A$$

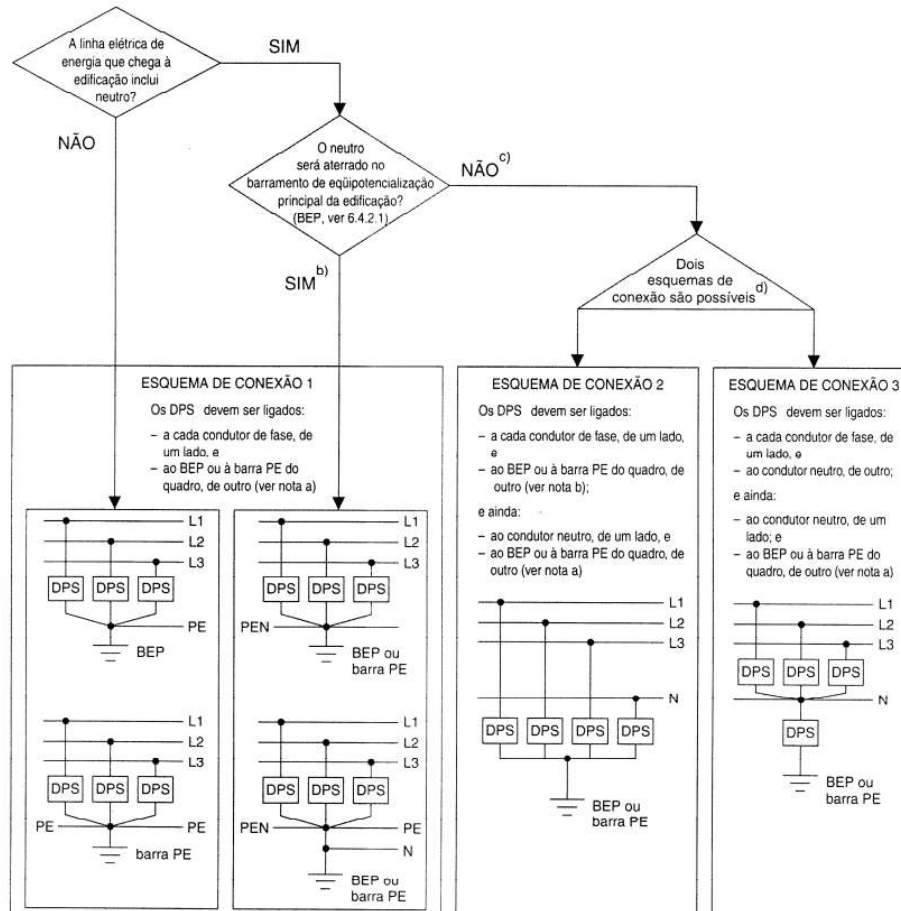
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 125A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local UBS Alvorada. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

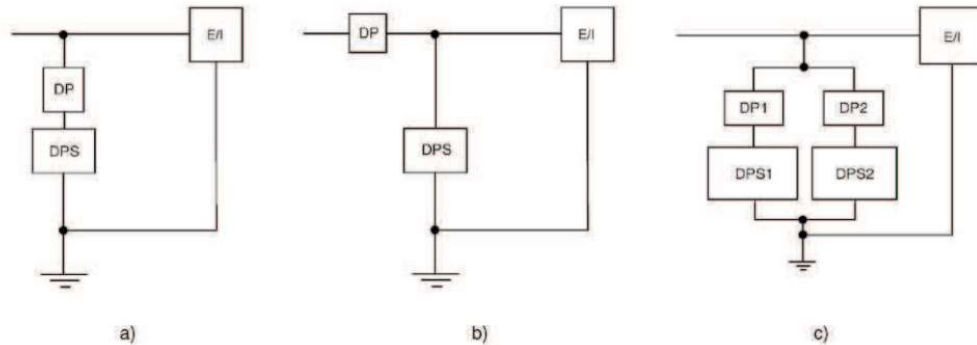
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

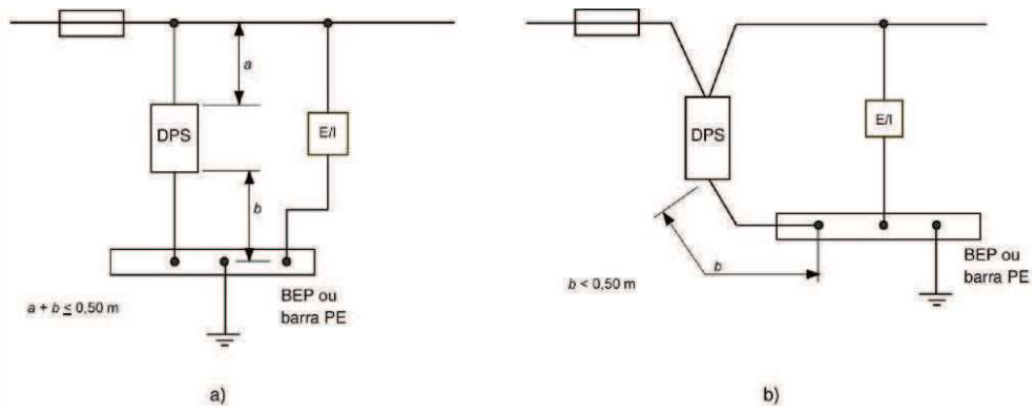


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 69,30KWP
GARAGEM DA PREFEITURA

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 19619278

Endereço da Obra: Rua Zacarias de Goes e Vasconcellos, Pinheirinho

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETTRICA

LTDA:41851868000182

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 OBJETIVO.....	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica.....	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	5
7.1 Características Gerais.....	5
7.2 Módulo Fotovoltaico.....	6
7.3 Inversor Solar.....	7
7.4 Dispositivos de Proteção.....	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema.....	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição.....	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	10
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	10
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada.....	11
9 ATERRAMENTO.....	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 69,30 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 19619278 do local Garagem da Prefeitura, no endereço Rua Zacarias de Goes e Vasconcellos, bairro Pinheirinho município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração Garagem da Prefeitura apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Zacarias de Goes e Vasconcellos

Bairro: Pinheirinho

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2429967

Longitude: -52.6837045

Altitude: 763m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Garagem da Prefeitura foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 43

Demanda Máxima: 57 kVA

Disjuntor de Proteção: 150 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 50mm², AL

Ramal de Entrada: Multiplexado, 50mm², AL

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 126 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversores CC/AC modelo 25kW;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 55kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 69,30kWp será constituído por 126 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em dois inversores com potencia nominal de 25kW.

O arranjo fotovoltaico no primeiro inversor de 25kW será composto por duas MPPT's, com duas strings em cada MPPT e arranjo série de 16 módulos. totalizando 64 módulos.

O arranjo fotovoltaico no segundo inversor de 25kW será composto por 1 mppt com duas strings de 16 módulos e outra mppt com duas strings com 15 módulos. Totalizando 62 Módulos..

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Pannel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 25KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	37,5kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	140 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	28A
Corrente de Curto-Circuito máxima	36,4A
Tensão de partida	140V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	25kW
Potência aparente máxima	25kVA
Tensão nominal CA	380V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	37,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%

DADOS GERAIS

Peso	21kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	370 x 480 x 183,5mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando

expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 8.550kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Garagem da Prefeitura na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 69,30 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 126 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 25kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	2
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	37,5kW
Tensão Nominal CC	1.000V
Tensão Máxima CC	1.100V

Tensão de partida CC

140V

O arranjo fotovoltaico no primeiro inversor de 25kW será composto por duas MPPT's, com duas strings em cada MPPT e arranjo série de 16 módulos. totalizando 64 módulos.

O arranjo fotovoltaico no segundo inversor de 25kW será composto por 1 mppt com duas strings de 16 módulos e outra mppt com duas strings com 15 módulos. Totalizando 62 Módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de

correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{Z'} = I_Z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por dois disjuntores trifásicos de 63A, um para cada inversor mais um de 150A para proteção geral, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre cada inversor de 25kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 47,48A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$47,48A < 63A < 88A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 380V e o autotransformador rebaixador de 55kVA, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 100A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$94,96A < 100A < 144A$$

Para proteção do barramento de geração, do trecho entre o autotransformador até o ponto de conexão em 220V, foi escolhido um disjuntor de 150A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

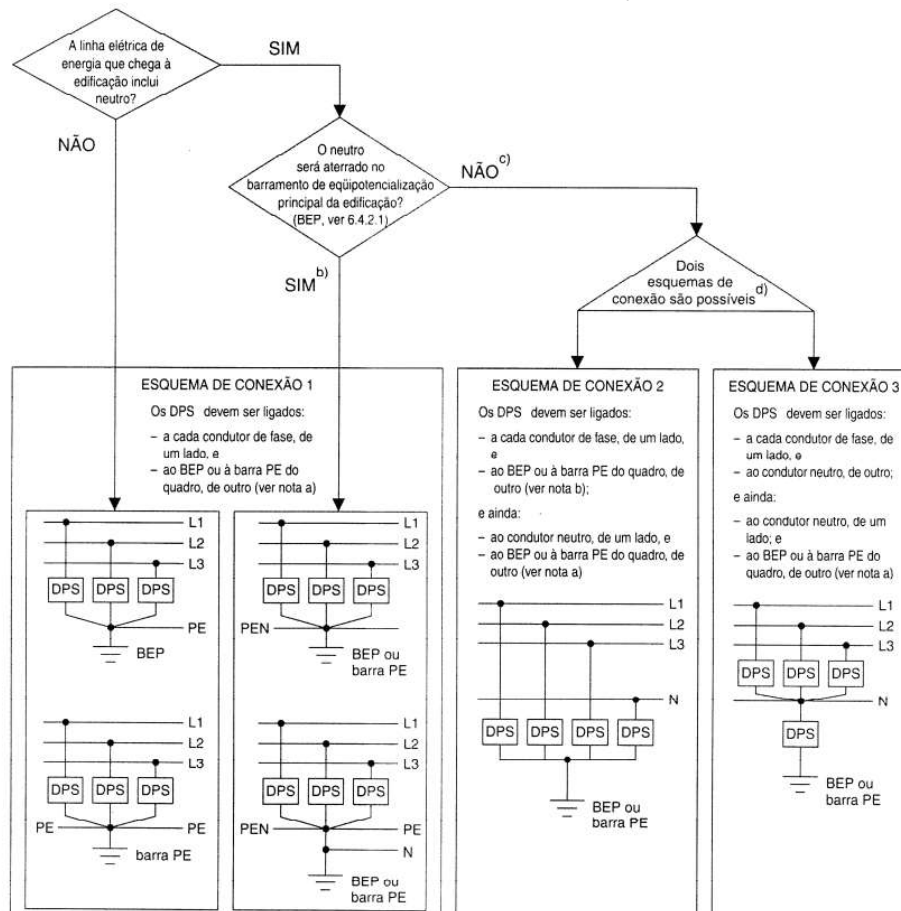
Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do

QDG da Garagem da Prefeitura. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

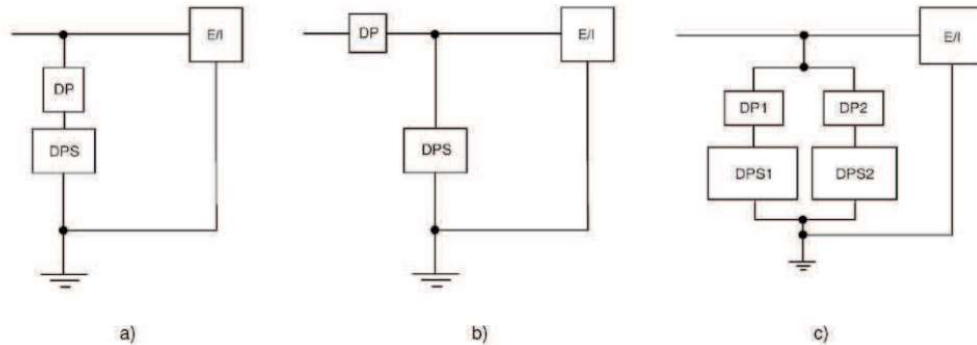
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

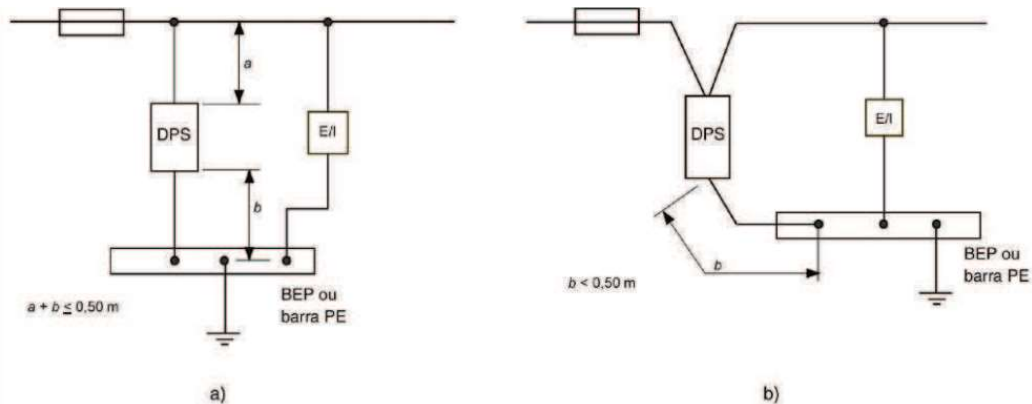


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste “Copperweld”, 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 49,50KWP
GINÁSIO DE ESPORTES JARDIM CRISTO REI

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO
CNPJ: 76995448/0001-54
UC: 65094840
Endereço da Obra: Rua Domingos Matos, Cristo Rei
Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:04:27 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	10
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	10
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 49,50 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 65094840 do local Ginásio de Esportes Jardim Cristo Rei, no endereço Rua Domingos Matos, bairro Cristo Rei município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração Ginásio de Esportes Jardim Cristo Rei apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Domingos Matos

Bairro: Cristo Rei

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2467103

Longitude: -52.673976

Altitude: 789m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Ginásio de Esportes Jardim Cristo Rei foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 41

Demanda Máxima: 38 kVA

Disjuntor de Proteção: 100 A

Nº Fases: 3

Nº Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 25mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 25mm², Cu

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 90 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 1 Inversores CC/AC modelo 36kW;
- Autotransformador à seco de 40kVA, rebaixador 380/220V;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 49,50kWp será constituído por 90 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 36kW.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C

Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 36KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	54kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	36kW
Potência aparente máxima	40kVA
Tensão nominal CA	380V

Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	61,6A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,7%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretensão, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 5.850kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Ginásio de Esportes Cristo Rei na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 49,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 90 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 36kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	4
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	54kW
Tensão Nominal CC	1.000V
Tensão Máxima CC	1.100V
Tensão de partida CC	200V

O arranjo fotovoltaico será composto por 3 MPPT's, com duas strings por MPPT e arranjo série de 15 módulos. Total de 90 Módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 31,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 80A para o inversor, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre o inversor de 36kW até o autotransformador em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 75,97A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$75,97 < 80A < 117A$$

No trecho entre o autotransformador em 220V até o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 100A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$99,72A < 100A < 117A$$

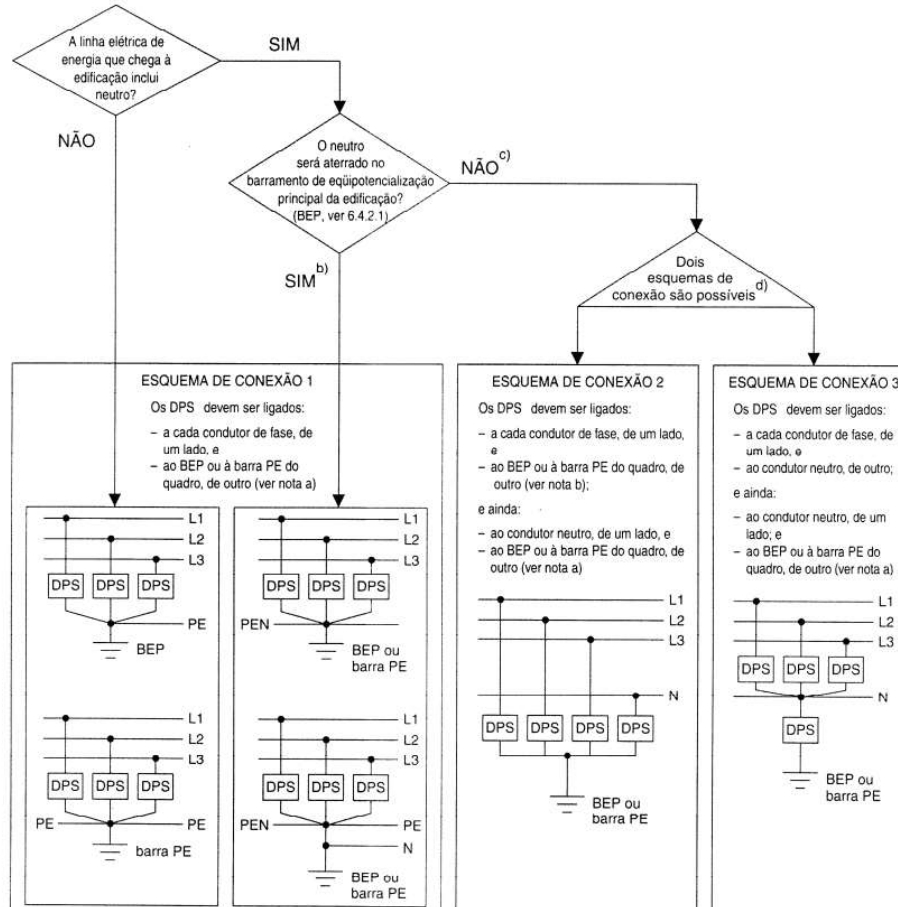
Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local Ginásio de Esportes Cristo Rei. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento

total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

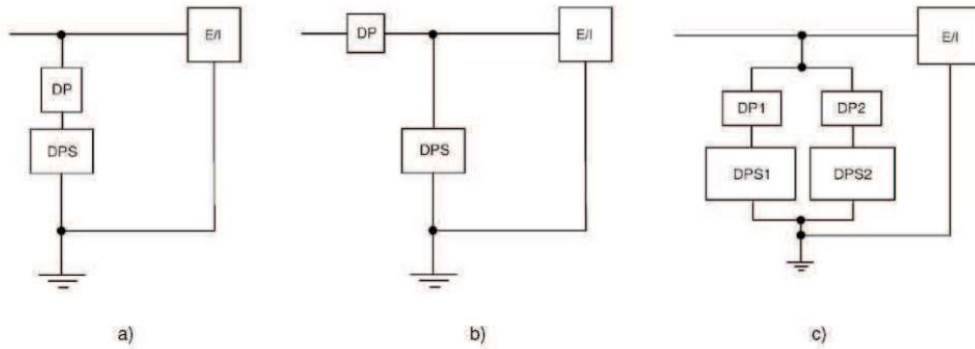
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

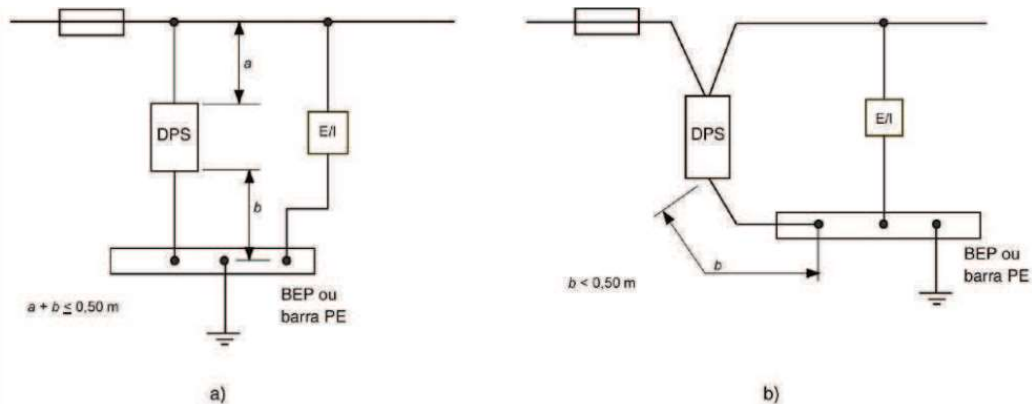


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
GINÁSIO DE ESPORTES PATÃO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO
CNPJ: 76995448/0001-54
UC: 10566406
Endereço da Obra: Rua Arariboia, La Salle
Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel
CREA-PR: 187.598/D

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:06:26 -03'00'

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 10566406 do local ADM - Dep. Esportes Ginásio Patão, no endereço Rua Arariboia, bairro La Salle município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração ADM - Dep. Esp. Ginásio Patão apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Arariboia

Bairro: La Salle

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2303183

Longitude: -52.6608793

Altitude: 835m

Fonte dos dados climáticos: Meteonorm 8.0

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local ADM - Dep. Esp. Ginásio Patão foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Proteção através de disjuntor de 200A.

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 10566406, instalada no local ADM - Dep. Esp. Ginásio Patão.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;

- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversores CC/AC modelo 75kW;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 85kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 75kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 5 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A

Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamentoilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 75KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	112,5kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	250V
Número de MPPT	9
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	75kW
Potência aparente máxima	75kVA
Tensão nominal CA	380V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	113,7A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%
DADOS GERAIS	
Peso	90kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	975 x 630 x 360mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretensão, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 30kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos

em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 11.450kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é ADM - Dep. Esp. Ginásio Patão na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 84,011 %.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 75kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	9
Entradas por MPPT	2

Potência máxima CC	112,5kW
Tensão Nominal CC	1000V
Tensão Máxima CC	1100V
Tensão de partida CC	250V

O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 5 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 15 módulos:

$$P_{15 \text{ módulos}} = 550W \cdot 15 = 8.250W$$

String com 16 módulos:

$$P_{16 \text{ módulos}} = 550W \cdot 16 = 8.800W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 15 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 812,33 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 522,28 V$$

Strings com 16 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 866,48 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 557,10 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 150A para o lado de 380V e um de 200A para o lado de 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre o inversor de 75kW até o barramento de geração em 380V, foi escolhido cabo

com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 142,44A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$142,44 < 150A < 175A$$

No trecho entre o autotransformador de 85kVA em 380/220V até o barramento de geração em 220V, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$196,82A < 200A < 269A$$

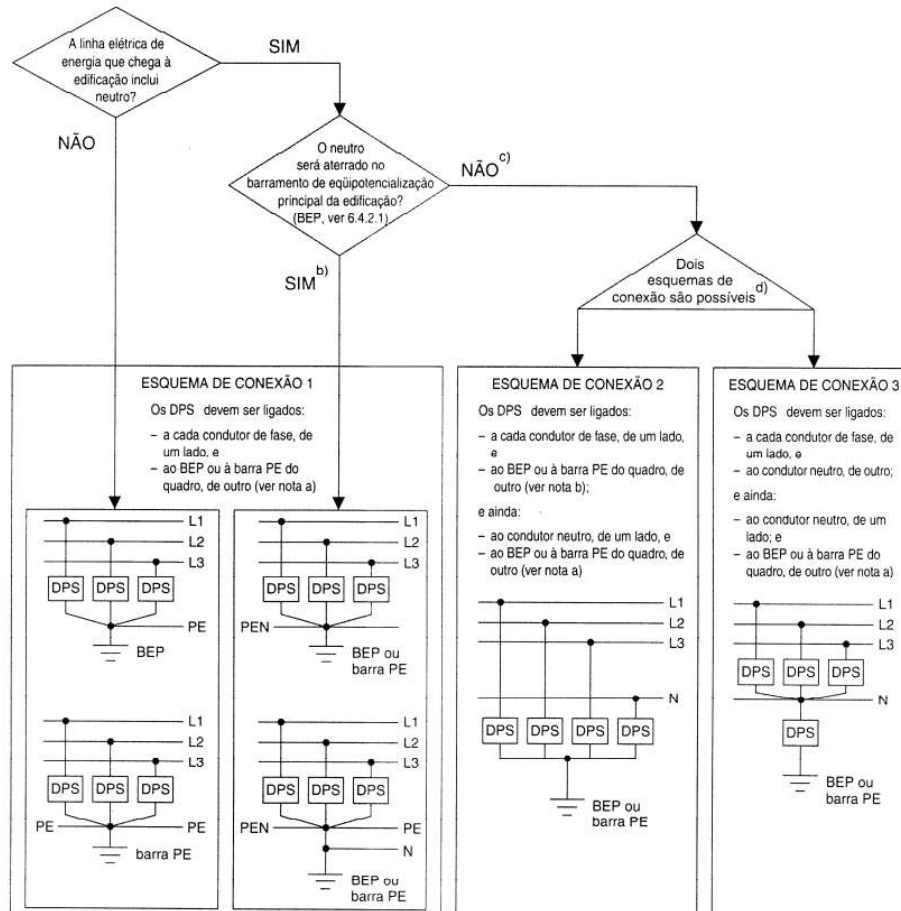
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local da ADM - Dep. Esp. Ginásio Patão. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

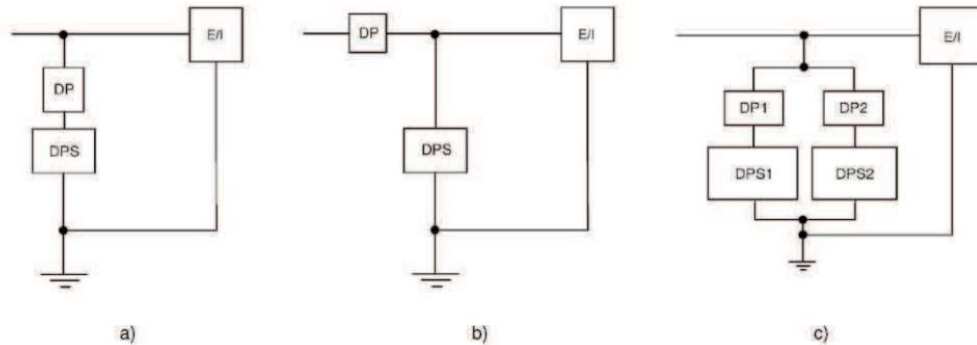
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

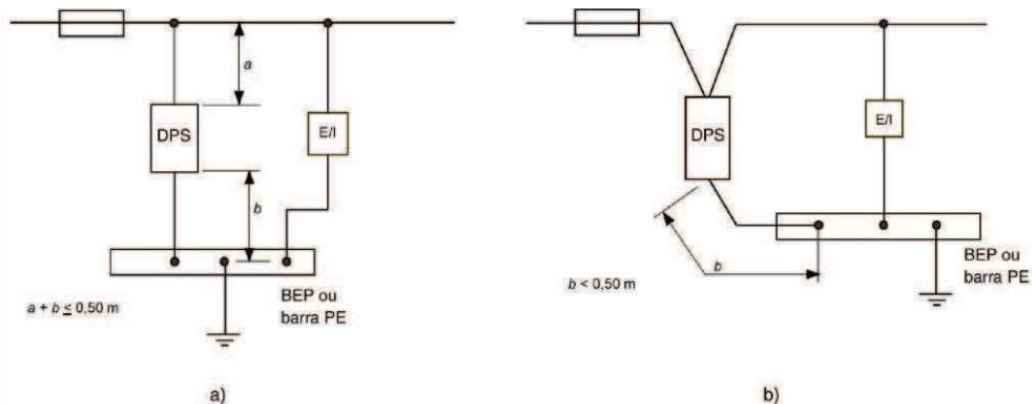


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
PISTA DE ATLETISMO

Cliente: MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

CNPJ: 76995448/0001-54

UC: 20044046

Endereço da Obra: Rua Arariboia, 1270, La Salle

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:08:17 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 20044046 do local ADM - Dep. Esp. Pista Atletismo, no endereço Rua Arariboia, 1270, bairro La Salle município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração ADM - Dep. Esp. Pista Atletismo apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Arariboia, 1270

Bairro: La Salle

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.231257

Longitude: -52.6611965

Altitude: 839m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS api TMY

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Centro de Convivência La Salle foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Proteção através de disjuntor de 200A.

Categoria: 45

Demanda Máxima: 76 kVA

Disjuntor de Proteção: 200 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 70mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 95mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 20044046, instalada no local ADM - Dep. Esp. Pista Atletismo.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;

- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversores CC/AC modelo 75kW;
- Autotransformador rebaixador 380/220V de 85kVA;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 75kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 5 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A

Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamentoilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 75KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	112,5kWp
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 1.000V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	250V
Número de MPPT	9
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	75kW
Potência aparente máxima	75kVA
Tensão nominal CA	380V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	113,7A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,6%
DADOS GERAIS	
Peso	90kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	975 x 630 x 360mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 30kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos

em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 11.450kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é ADM - Dep. Esp. Pista Atletismo na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523 %.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 75kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	9
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	112,5kW

Tensão Nominal CC	1000V
Tensão Máxima CC	1100V
Tensão de partida CC	250V

O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 5 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 16 módulos e 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 15 módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 15 módulos:

$$P_{15 \text{ módulos}} = 550W \cdot 15 = 8.250W$$

String com 16 módulos:

$$P_{16 \text{ módulos}} = 550W \cdot 16 = 8.800W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 15 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 812,33 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 522,28 V$$

Strings com 16 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 866,48 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 557,10 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 150A para o lado de 380V e um de 200A para o lado de 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre o inversor de 75kW até o barramento de geração em 380V, foi escolhido cabo

com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 142,44A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$142,44 < 150A < 175A$$

No trecho entre o autotransformador de 85kVA em 380/220V até o barramento de geração em 220V, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$196,82A < 200A < 269A$$

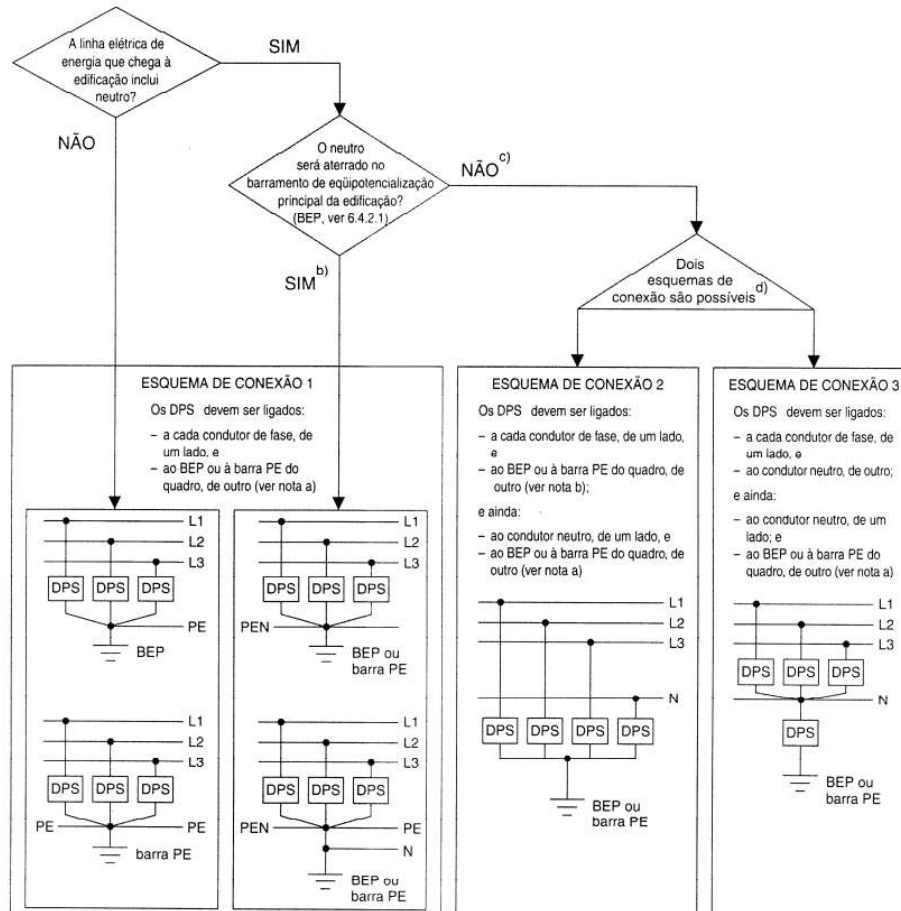
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local da ADM - Dep. Esp. Pista Atletismo. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

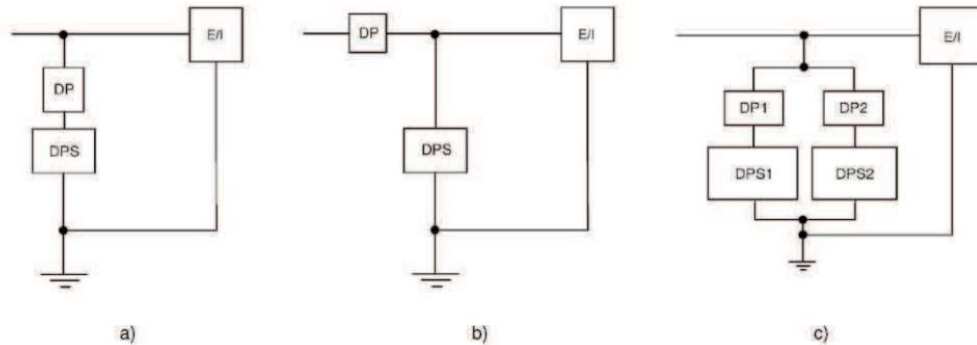
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

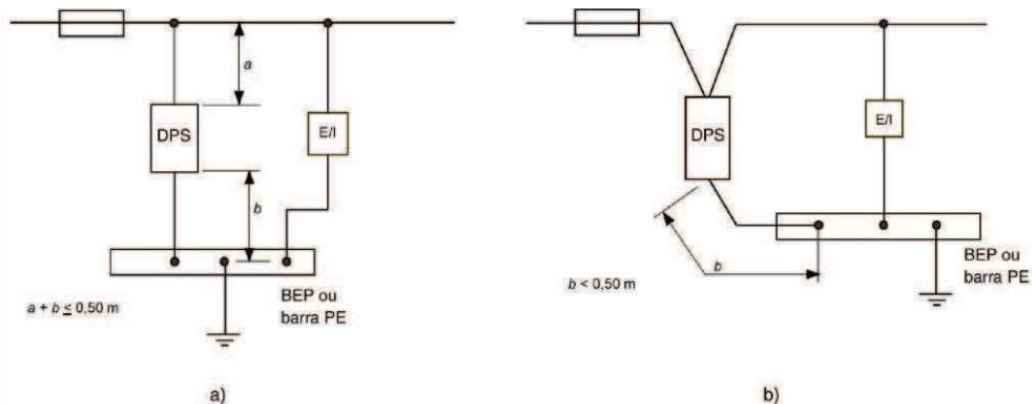


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 57,75KWP
VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

Ciente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 74462415

Endereço da Obra: Rua Olavo Bilac, 377, Bortot

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA

LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por
IGUACU ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:19:18 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 57,75 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 74462415 do local Vigilancia Epidemiologica - Bortot, no endereço Rua Olavo Bilac, 377, bairro Bortot município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração da Vigilancia Epidemiologica - Bortot apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: R Olavo Bilac, 377

Bairro: Bortot

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2127185

Longitude: -52.6755486

Altitude: 740 m

Fonte dos dados climáticos: GeoHack

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Vigilância Epidemiológica - Bortot foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz, com as seguintes características:

Categoria: 42

Demanda Máxima: 48 kVA

Disjuntor de Proteção: 125 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 35mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 50mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 74462415, instalada no local Vigilância Epidemiológica - Bortot.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 105 Módulos fotovoltaicos de 550W;

- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 4 Inversores CC/AC modelo 10,5kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 57,75kWp será constituído por 105 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em quatro inversores com potencia nominal de 10,5kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 9 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos e 3 MPPT's com uma string e arranjo série de 8 módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C

Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 10,5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	15kWp
Tensão máxima CC	600V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	10,5 kW
Potência aparente máxima	10,5 kVA
Tensão nominal CA	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	220 V
Frequência de rede	60 Hz
Corrente máxima de saída	47,7 A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura.

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA. Classe I/II.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V. Tipo: DIN.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V. Tipo: Caixa Modada.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo

MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 6.300kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é Vigilância Epidemiológica - Bortot na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 57,75 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 105 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 10,5kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT

3

Entradas por MPPT	1
Potência máxima CC	15kW
Tensão Nominal CC	550V
Tensão Máxima CC	600V
Tensão de partida CC	120V

4 inversor de 10,5KW com 9 MPPT's, com uma string por MPPT e arranjo série de 9 módulos e 3 MPPT com uma string e arranjo série de 8 módulos. Total de 105 Módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 8 módulos:

$$P_{8 \text{ módulos}} = 550W \cdot 8 = 4.400 W$$

String com 9 módulos:

$$P_{9 \text{ módulos}} = 550W \cdot 9 = 4.950W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 8 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 433,24 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 278,55 V$$

Strings com 9 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 487,40 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 313,37 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{Z'} = I_Z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por quatro disjuntores bifásicos de 80A, um para cada inversor mais um de 125A para proteção geral, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre cada inversor de 10,5kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 16mm² com isolação HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 59,66 A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$59,66 < 80A < 100A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolação HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 125A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$109,17A < 125A < 175A$$

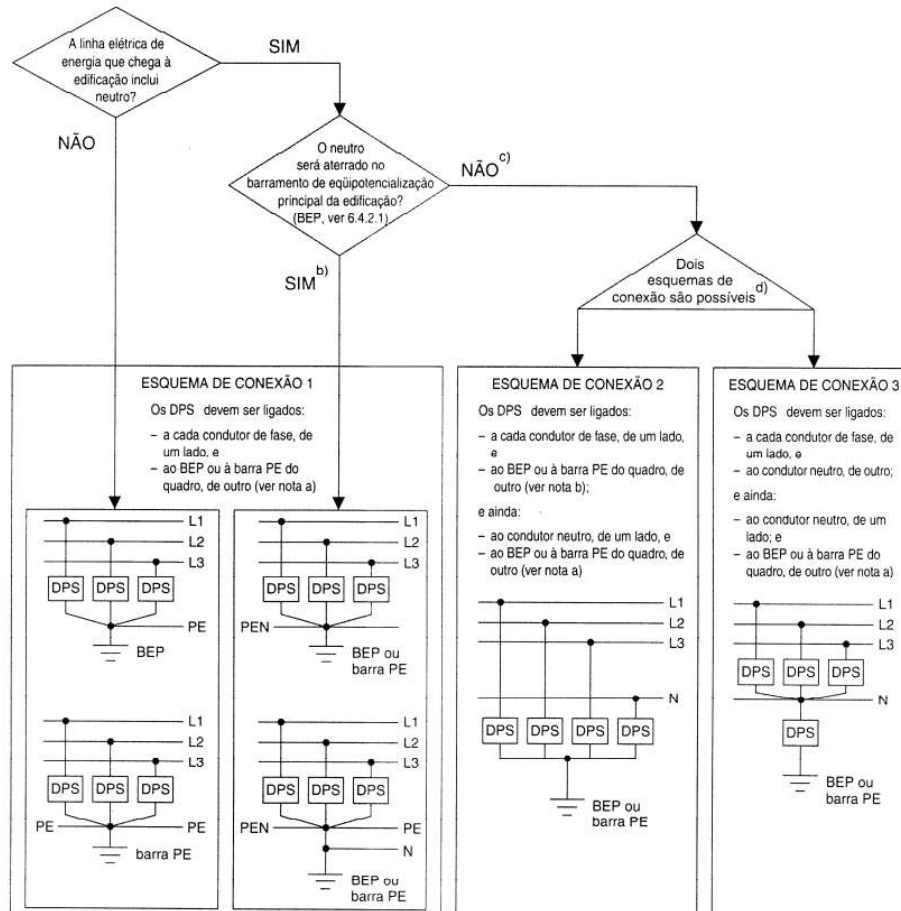
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 125A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local Vigilância Epidemiológica - Bortot. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

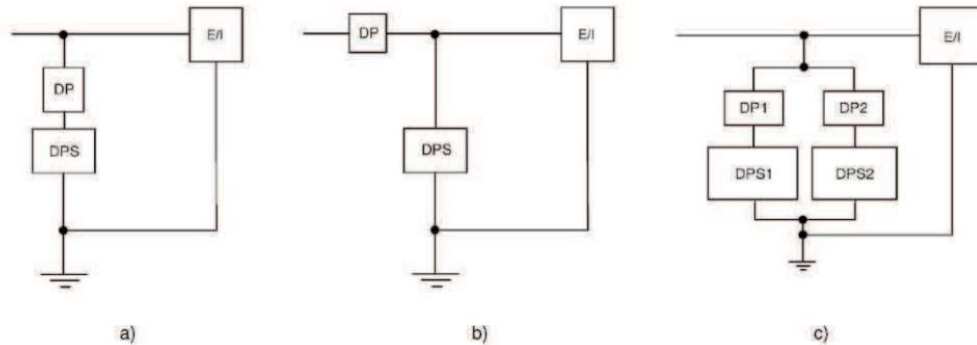
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

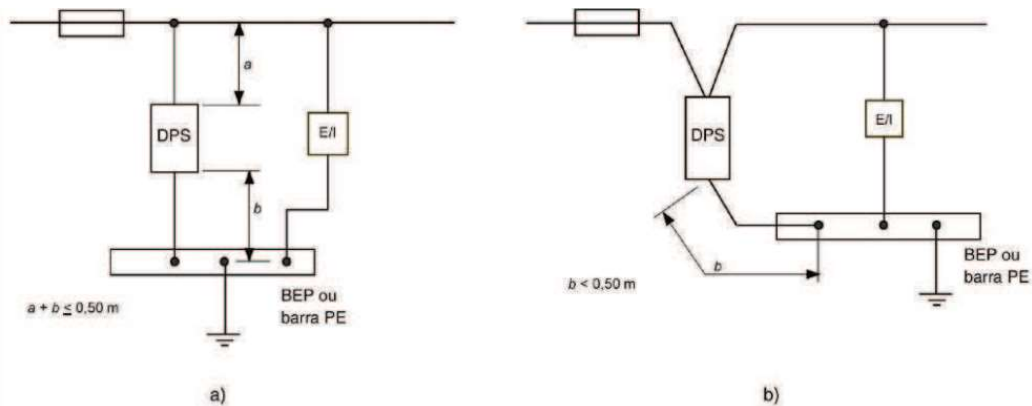


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 61,6KWP
UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE ALVORADA

Cliente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 99301377

Endereço da Obra: Rua Pedro Lobo, 239, Alvorada

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:11:37 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	11
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	15

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 61,6 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 99301377 do local Unidade Básica de Saúde Alvorada, no endereço Rua Pedro Lobo, 239, bairro Alvorada município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração UBS Alvorada apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Pedro Lobo, 239

Bairro: Alvorada

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2685467

Longitude: -52.6828643

Altitude: 847 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local Centro de Convivência La Salle foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz.

Categoria: 42

Demanda Máxima: 48 kVA

Disjuntor de Proteção: 125 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 35mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 50mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 99301377, instalada no local UBS Alvorada.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 112 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversores CC/CA modelo 20kW;
- 1 Inversor CC/CA modelo 5kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 61,6kWp será constituído por 112 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em três inversores. Dois inversores de 20kW trifásicos em 220V e um inversor de 5kW monofásico.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C

Coeficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão mono/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20kW
Potência aparente máxima	22kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	127V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	58A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	23,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148 mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 6.750kWh/mês de energia

elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é UBS Alvorada na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 61,60 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 112 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 Inversor de 20kW com 4 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 12 Módulos.
- 1 Inversor de 20kW com 4 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 13 Módulos.
- 1 Inversor de 5kW com 2 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 6 Módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 72,17A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$72,17 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 119,41A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$119,41A < 125A < 175A$$

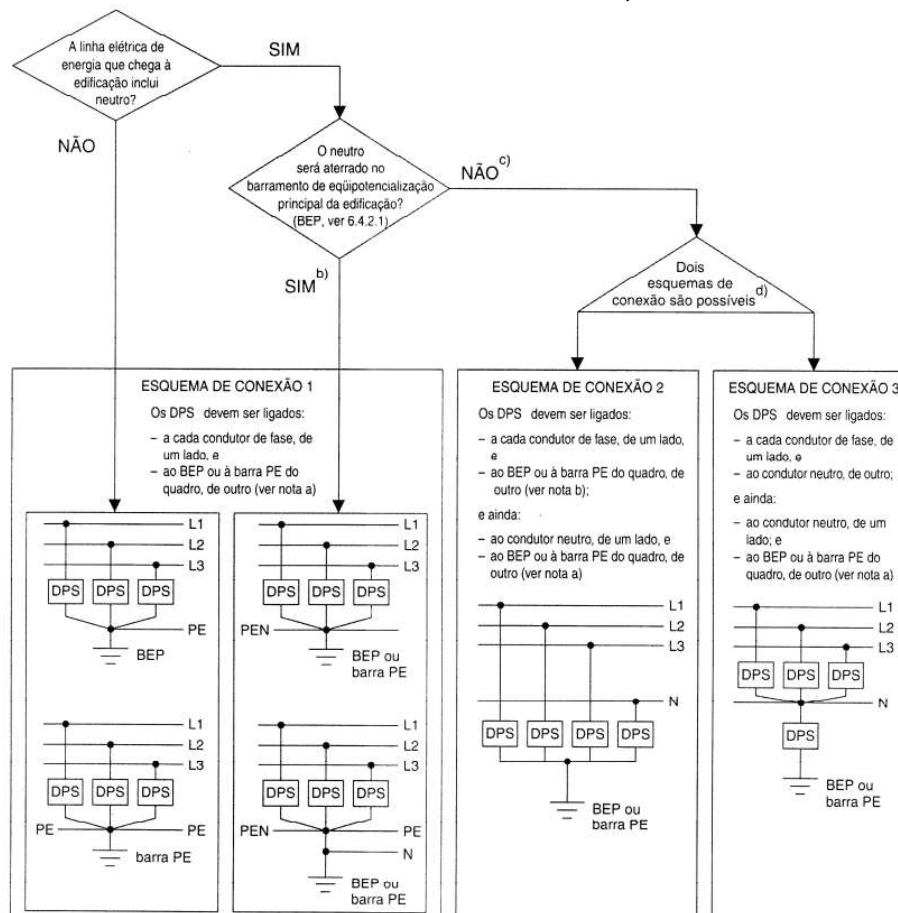
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 125A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local UBS Alvorada. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

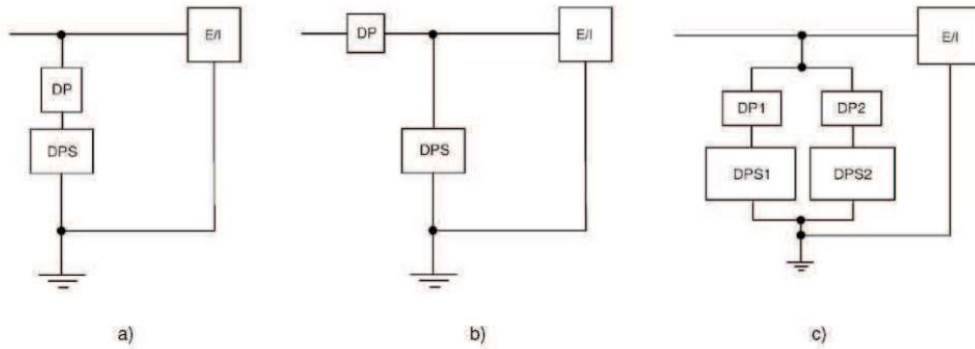
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

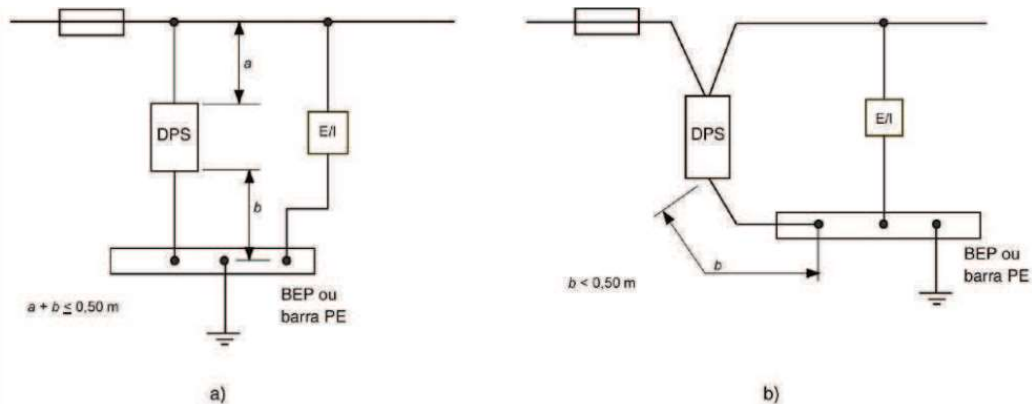


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 61,6KWP
UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE PINHEIRINHO

Cliente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 99593297

Endereço da Obra: Rua Matias Albuquerque, 1270, Pinheirinho

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:13:18 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	11
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	15

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 61,6 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 99593297 do local Unidade Básica de Saúde Pinheirinho, no endereço Rua Matias Albuquerque, 1270, bairro Pinheirinho município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração UBS Alvorada apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Matias Albuquerque, 1270

Bairro: Pinheirinho

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.2447621

Longitude: -52.6799663

Altitude: 791 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local UBS Pinheirinho foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Disjuntor Geral de 125A.

Categoria: 42

Demanda Máxima: 48 kVA

Disjuntor de Proteção: 125 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 35mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 50mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 99593297, instalada no local UBS Pinheirinho.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 112 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 2 Inversores CC/CA modelo 20kW;
- 1 Inversor CC/CA modelo 5kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 61,6kWp será constituído por 112 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em três inversores. Dois inversores de 20kW trifásicos em 220V e um inversor de 5kW monofásico.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C

Coeficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão mono/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolamento e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20kW
Potência aparente máxima	22kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	127V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	58A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 5KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	7,5 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	5 kW
Potência aparente máxima	5,5 kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	23,9A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,4%

DADOS GERAIS

Peso	15,5 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	402 x 476,5 x 148 mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 125 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 40 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 6.750kWh/mês de energia

elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é UBS Pinheirinho na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 61,60 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 112 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 inversor de 20KW com 4 MPPTs e 1 string por MPPT. 4 MPPT's serão compostas por 1 string de 12 módulos, totalizando 48 módulos.
- 1 inversor de 20KW com 4 MPPTs e 1 string por MPPT. 4 MPPT's serão compostas por 1 string de 13 módulos cada, totalizando 52 módulos.
- 1 Inversor de 5kW com 2 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 6 Módulos, totalizando 12 módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 8 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,52.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 27,56A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre cada inversor de 20kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 72,17A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$72,17 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 5kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 6mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 31,25A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$31,25 < 40A < 54A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 119,41A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$119,41A < 125A < 175A$$

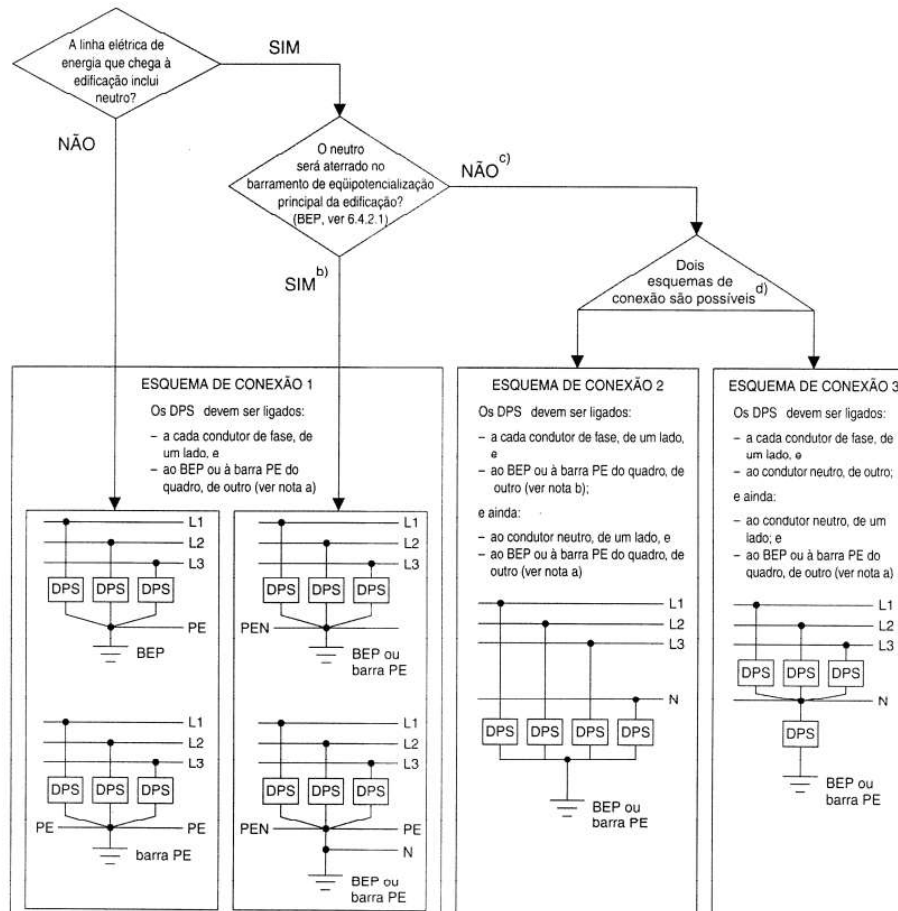
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 125A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local UBS Pinheirinho. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

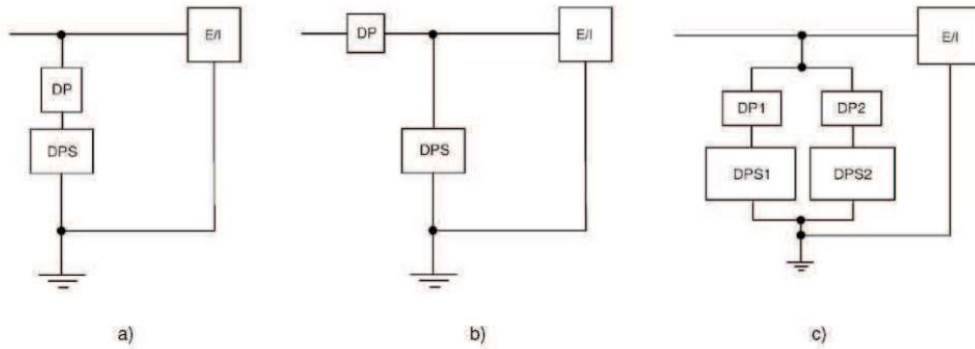
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

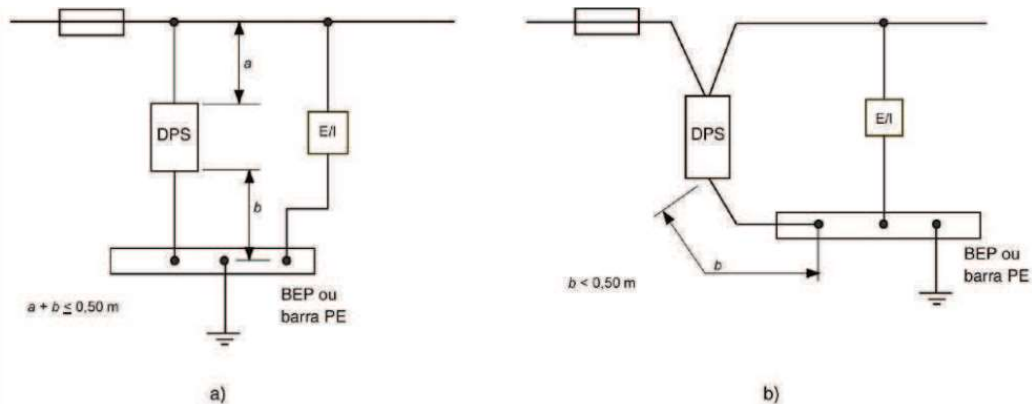


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 32,20KWP
UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE SÃO CRISTOVÃO

Cliente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 100842364

Endereço da Obra: Rua das Bandeiras, 1954, São Cristóvão

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:15:23 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	9
7.5 Condutores.....	9
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	10
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	10
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	11
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	12
9 ATERRAMENTO	15

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 35,20kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em baixa tensão na UC 100842364 do local Unidade Básica de Saúde São Cristóvão, no endereço Rua das Bandeiras, 1954, bairro São Cristóvão município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração UBS São Cristóvão apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua das Bandeiras, 1954

Bairro: São Cristóvão

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.264619

Longitude: -52.6895068

Altitude: 791 m

Fonte dos dados climáticos: PVGIS

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de

dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local UBS São Cristóvão foi implementada através do ramal de ligação aéreo em baixa tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Disjuntor Geral de 125A.

Categoria: 42

Demanda Máxima: 48 kVA

Disjuntor de Proteção: 125 A

N° Fases: 3

N° Fios: 4

Ramal de Ligação: Multiplexado, 35mm², AL

Ramal de Entrada: Subterrâneo, 50mm², Cu, HEPR

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional) instalado, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 100842364, instalada no local UBS Pinheirinho.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 64 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;

- 1 Inversor CC/CA modelo 20kW;
- 1 Inversor CC/CA modelo 8kW;
- Quadro de proteção da saída AC dos inversores;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 35,20kWp será constituído por 64 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em dois inversores. Um inversor de 20kW trifásico em 220V e um inversor de 8kW monofásico em 220V.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C

Coeficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão mono/trifásica de 220V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolamento e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

Os inversores fotovoltaicos serão posicionados e fixados na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 20KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	30kWp
Tensão máxima CC	750V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	200 ~ 750V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	4
Número máximo de entradas por MPPT	2

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	20kW
Potência aparente máxima	22kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	127V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	58A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,6%
DADOS GERAIS	
Peso	43kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	640 x 530 x 270mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 8KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	12 kWp
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	80 ~ 550V
Máxima corrente de entrada	14A
Corrente de Curto-Circuito máxima	18A
Tensão de partida	120V
Número de MPPT	3
Número máximo de entradas por MPPT	1

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	8 kW
Potência aparente máxima	8,8 kVA
Tensão nominal CA	220V
Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	40A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	97,8%

DADOS GERAIS

Peso	19 kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP65
Dimensões	440 x 380 x 167 mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretemperatura, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 80 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 100 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Bipolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção bipolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 10kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63 A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 440V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída dos inversores até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 3850kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é UBS São Cristóvão na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 74,523%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 35,20 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 64 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. Portanto o sistema gerador fotovoltaico será composto da seguinte forma:

- 1 Inversor de 20kW com 4 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 11 e 12 no lado Oeste e 10 e 11 no lado Leste, totalizando 44 módulos.
- 1 Inversor de 8kW com 2 MPPT's, sendo 1 string por MPPT e arranjo série de 10 Módulos, totalizando 20 módulos.

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação de cada inversor e podem ser conferido no memorial de cálculo.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 4 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,65.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 34,45 A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

No trecho entre o inversor de 20kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 25mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída do inversor 72,17A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$72,17 < 80A < 117A$$

No trecho entre o inversor de 8kW até o barramento, foi escolhido cabo com seção transversal de 10mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente corrigida de saída do inversor 50A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com dois condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$50A < 63A < 75A$$

No trecho entre o barramento geral do microgerador em 220V e o ponto de conexão, foi escolhido cabo com seção transversal de 35mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 94,48A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$94,48A < 100A < 144A$$

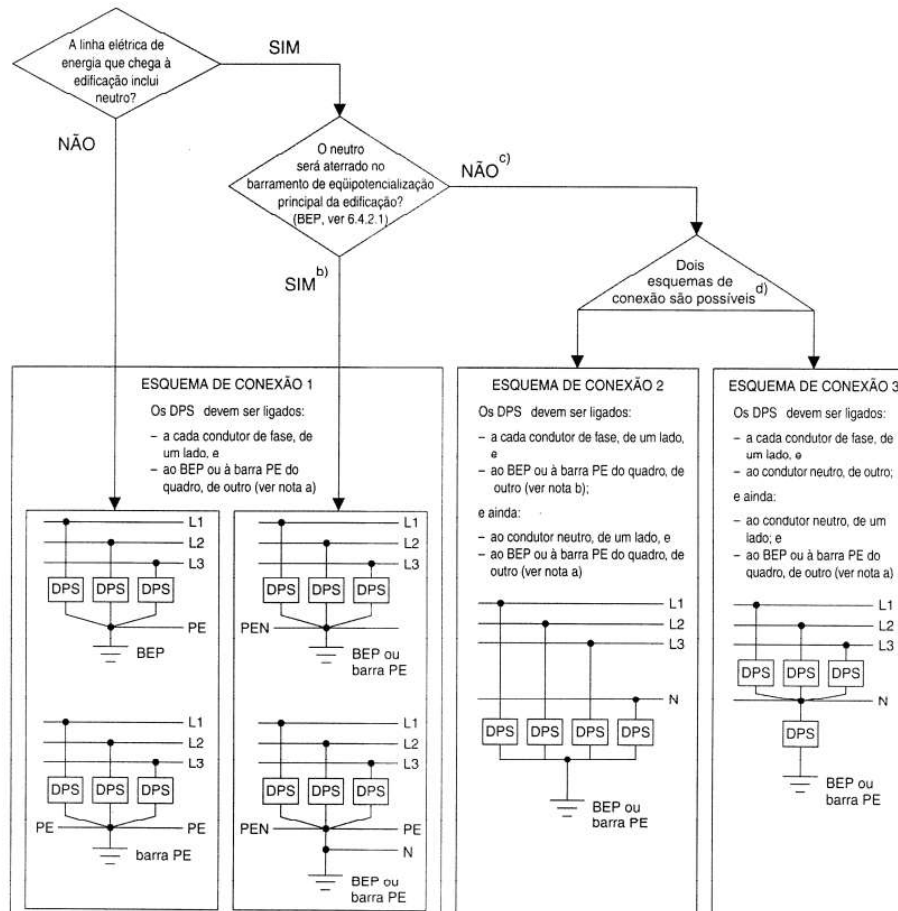
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 100A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 10kA e tensão nominal de 400V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local UBS São Cristóvão. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

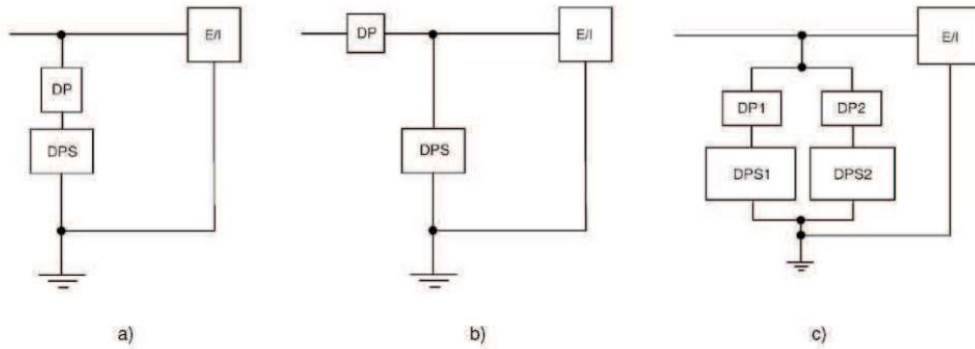
Por conseqüência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

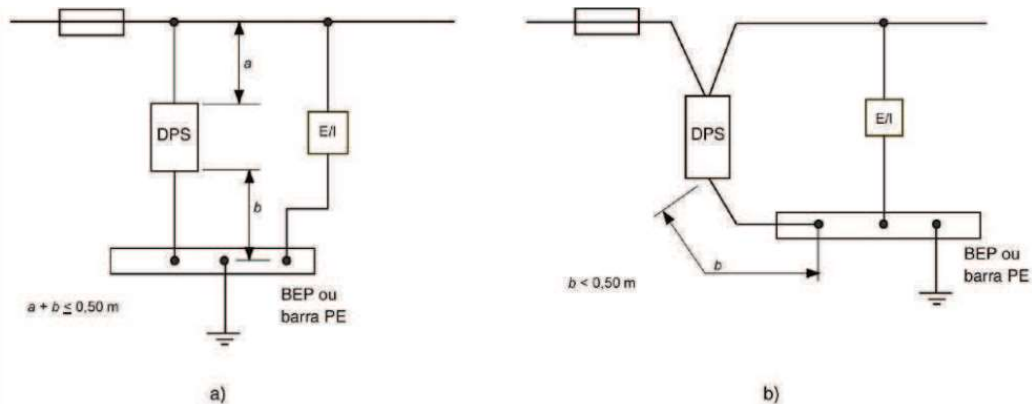


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.

MEMORIAL DESCRITIVO – SISTEMA DE MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA *ONGRID* – POTÊNCIA DE 104,5KWP
UPA CRISTO REI

Ciente: FUNDO MUNICIPAL DE SAÚDE DE PATO BRANCO

CNPJ: 80872476/0001-51

UC: 91799740

Endereço da Obra: Rua Mal. Deododo, 2021, Cristo Rei

Município-UF: Pato Branco-PR

IGUACU ENGENHARIA
ELETRICA
LTDA:41851868000182

Assinado de forma digital por IGUACU
ENGENHARIA ELETRICA
LTDA:41851868000182
Dados: 2023.05.31 14:17:02 -03'00'

Responsável Técnico: Eng^o Eletricista Daniel Scopel

CREA-PR: 187.598/D

Pato Branco, 22 de maio de 2023

Sumário

GLOSSÁRIO.....	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	4
3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	4
4 APLICAÇÃO.....	4
5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	4
6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA.....	5
6.1 Ramal de Entrada.....	5
6.2 Medição de Energia Elétrica	5
7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO	5
7.1 Características Gerais	5
7.2 Módulo Fotovoltaico	6
7.3 Inversor Solar	7
7.4 Dispositivos de Proteção	8
7.5 Condutores.....	8
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	9
8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema	9
8.2 Conexão com a Rede de Distribuição	10
8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema.....	11
8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua.....	11
8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada	11
9 ATERRAMENTO	14

GLOSSÁRIO

A

Acessante: Agente micro gerador de energia elétrica

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C

STC: *Standard Testing Conditions* – (Condições Padrão de Teste)

CC : corrente contínua

CA : corrente alternada

F

FV: Fotovoltaico

I

IEC: *International Electrotechnical Commission*

I_{imp} : Corrente de choque impulsional

I_{mpp} : Corrente de operação do gerador fotovoltaico

I_n : Corrente nominal

I_{sc} : Corrente de curto circuito do gerador fotovoltaico

P

$P_{m\acute{a}x}$: Potência máxima

Q

QGD: Quadro Geral de Distribuição

S

Sistema de compensação de energia: sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à concessionária de energia elétrica e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade desta mesma unidade consumidora.

SPDA: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

U

U_p : Tensão residual transmitida à carga no momento da descarga

UC: Unidade Consumidora

V

V_{mpp} : Tensão de operação do gerador fotovoltaico

V_n : Tensão nominal

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

1 INTRODUÇÃO

O Município de Pato Branco, pretende instalar plantas de geração de energia solar fotovoltaica com potência total de 1.998,15 kWp. Essa potência será fracionada em 24 locais de microgeração com potência máxima c.a de 75kW.

A finalidade é a geração distribuída de energia elétrica para suprir parte do consumo das instalações elétricas das unidades consumidoras do município.

Será possível injetar o excedente da geração na rede de média e baixa tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação e geração remota de energia elétrica previsto na REN nº 1000 da ANEEL.

2 OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de descrever o projeto de um sistema fotovoltaico de 104,5 kWp, afim de apresentar os requisitos mínimos necessários para a execução das instalações deste que será conectado a rede de distribuição da COPEL em média tensão na UC 91799740 do local UPA Cristo Rei, no endereço Rua Mal. Deododo, 2021, Cristo Rei, município de Pato Branco - PR.

3 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de minigeração UPA Cristo Rei apresenta os seguintes dados de localização geográfica:

Endereço: Rua Mal. Deododo, 2021

Bairro: Cristo Rei

Município/UF: Pato Branco – PR.

Latitude: -26.250854

Longitude: -52.6757254

Altitude: 850m

Fonte dos dados climáticos: Meteonorm

4 APLICAÇÃO

O presente memorial técnico aplica-se a um microgerador fotovoltaico conectado à rede elétrica com sistema de compensação de energia elétrica aplicável a todas as áreas de instalação da COPEL envolvidas com sua conexão.

5 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências.

- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.
- Normas Técnicas Copel NTC 905200: Acesso De Micro E Minigeração Distribuída Ao Sistema Da Copel (com compensação de energia).
- ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas.
- ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.
- ABNT 16612: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

6 CARACTERÍSTICAS DA ENTRADA DE ENERGIA

6.1 Ramal de Entrada

A entrada de energia elétrica do local UPA Cristo Rei foi implementada através do ramal de ligação aéreo em média tensão, diretamente da rede de distribuição da COPEL, fornecimento em rede primária de 13,8kV, com secundário do transformador de 112,5kVA com ligação em estrela, tensão de 220V entre fases, tensão de 127V entre fase-neutro e frequência de 60Hz. Disjuntor de 300 A na BT.

6.2 Medição de Energia Elétrica

O novo medidor (bidirecional), instalado na baixa tensão, deverá ser fixado à caixa de medição já existente. Será fornecido pela COPEL e cobrado do acessante a diferença de valor entre um medidor convencional e um medidor bidirecional. Após essa instalação e vistoria realizada por parte da COPEL, é que o acessante terá direito ao regime de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia será a unidade geradora 91799740, instalada no local UPA Cristo Rei.

7 COMPONENTES DO GERADOR FOTOVOLTAICO

7.1 Características Gerais

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será formado pelos seguintes elementos:

- 190 Módulos fotovoltaicos de 550W;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- 1 Inversor CC/AC modelo 75kW;
- Autotransformador rebaixador 380V/220V à seco de 85kVA;
- Quadro de proteção da saída AC do inversor;
- Cabos de Conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica será composto por conexão em séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez, são compostos por diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas recebem a luz solar, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, onde são fixados sobre o telhado.

Os circuitos provenientes dos diversos conjuntos séries são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, e também conectam-se em cada entrada do inversor. O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que em seguida tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico ao qual denomina-se de painel de proteção CA. A saída do painel de proteção CA, é conectada ao barramento do QDG ao qual fornecerá a energia gerada pelo sistema. A energia elétrica produzida, é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por intermédio do ponto de entrega de energia da concessionária COPEL, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. Essa energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e convertida em corrente alternada pelo inversor, é entregue a carga local ou injetada na rede elétrica de distribuição. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixará de operar.

7.2 Módulo Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de 104,5kWp será constituído por 190 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 550W divididos em um inversor com potencia nominal de 75kW. O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 4 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 17 módulos, 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 18 módulos e 1 MPPT com uma string e arranjo série de 18 modulos. Total de 190 Módulos.

As informações técnicas complementares sobre o módulo fotovoltaico estão dispostas abaixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PAINEL DE 550Wp

Tolerância:	0~+3%
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}):	41,95V
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}):	13,12A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):	49,80V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):	13,98A
Eficiência do Painel:	21,3%
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_{max}):	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc}):	0,05%/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão (V_{oc}):	-0,265%/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45°C(±2°C)

7.3 Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC), na forma de corrente alternada (CA) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede CA, o inversor deixa de fornecer a energia CA, evitando o funcionamento ilhado, proporcionando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da concessionária de energia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitorização de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (CC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos e no lado de corrente alternada (CA), será conectado ao quadro de proteção do gerador fotovoltaico com tensão trifásica de 380V.

O inversor deve possuir um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção, projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT). Precisa entregar essa potência à rede com o mínimo de perdas possíveis, produzindo energia elétrica de qualidade com baixa distorção harmônica (<3%). Atuando como uma fonte de corrente sincronizado com a rede elétrica, do tipo auto comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Deve ser equipado com a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

Este equipamento precisa ser parametrizado pelo fabricante de acordo com a norma ABNT NBR 16149, capítulo 4 – Compatibilidade com a rede e capítulo 5 – Segurança pessoal e proteção do sistema FV, quanto as faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção Harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, Reconexão, Isolação e Seccionamento.

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

O inversor fotovoltaico será posicionados e fixado na parede, local de fácil acesso e visão. Deixando livre acesso às equipes de vistoria da COPEL.

As características técnicas do modelo do inversor a ser utilizado estão dispostos a seguir:

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR 75KW

ENTRADA (CC)

Potência máxima CC	112,5kW
Tensão máxima CC	1.100V
Faixa de tensão MPPT / Tensão nominal	250 ~ 1.100V
Máxima corrente de entrada	26A
Corrente de Curto-Circuito máxima	40A
Tensão de partida	200V
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas por MPPT	9

SAIDA (CA)

Potência nominal CA	75kW
Potência aparente máxima	75kVA
Tensão nominal CA	400V

Faixa de tensão de operação por fase	220V
Frequência de rede	60Hz
Corrente máxima de saída	113,7A
Fator de Potência ajustável	0,8...1...0,8
THD	<3%
Eficiência Máxima	98,60%
DADOS GERAIS	
Peso	90kg
Grau de proteção (de acordo com a IEC 60529)	IP66
Dimensões	975 x 630 x 360mm

O inversor também deve possuir as demais proteções pertinentes à aplicação como: proteção contra polaridade CC invertida, monitoramento da isolação, proteção contra raios CC e CA, monitoramento de correntes residuais, proteção contra sobrecorrente CA, curto-circuito CA, sobretensão CA e sobretensão, além da tecnologia AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter).

7.4 Dispositivos de Proteção

- DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção contra surtos de tensão, com tensão máxima de emprego de 275V e corrente máxima de descarga de 20kA.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 150 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 690V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 200 A com capacidade de interrupção de 40kA e tensão nominal de 440V.

- Disjuntor Termomagnético Tripolar para corrente alternada:

Descrição: Dispositivo de proteção tripolar contra sobrecorrente de 63A com capacidade de interrupção de 5kA e tensão nominal de 400V.

Os equipamentos de proteção deverão ser condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

7.5 Condutores

Os circuitos entre a série de módulos e as entradas CC do inversor, deverão ser composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6mm². Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos em série no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada CC do inversor já é preparada para esse tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos.

Todos os cabos condutores de corrente alternada deverão ser de cobre com isolamento adequada para cada caso específico e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

Os cabos a partir da saída do inversor até o QDG serão do tipo unipolares e isolamento HEPR. As fases, neutro e terra deverão obedecer as cores padrão COPEL: fases - amarelo, branco e vermelho (respectivamente fases A, B e C); neutro - azul claro; terra – verde ou verde-amarelo. A bitola dos cabos devem estar de acordo com o diagrama unifilar em Anexo.

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Esse capítulo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos ao inversor.

8.1 Dimensionamento da Capacidade de Geração do Sistema

Com o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico para gerar 12.400kWh/mês de energia elétrica, faz-se necessário saber primeiro qual a potência fotovoltaica para atender esse nível de geração. Dado que o local ao qual será instalado o sistema, é UPA Cristo Rei na cidade de Pato Branco-PR, com uma irradiação solar média anual de 4,9kWh/m²/dia e em uma taxa de desempenho de 80,623%.

$$P_{fv} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} = 104,5 \text{ kWp}$$

A quantidade de módulos pode ser definido por:

$$N_{mód} = \frac{P_{fv}}{P_{mód}} = 190 \text{ módulos}$$

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em vista as descrições elétricas de entrada do inversor. A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 75 °C de temperatura de célula solar. A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de -8 °C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por °C acima do padrão de teste estão na tabela do gerador, deste mesmo projeto. A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor. A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do STC dos módulos fotovoltaicos:

Observando as características do inversor de 75kW de acordo com o item 7.3:

Entradas MPPT	9
Entradas por MPPT	2
Potência máxima CC	112,5kW
Tensão Nominal CC	1000V
Tensão Máxima CC	1100V
Tensão de partida CC	250V

O arranjo fotovoltaico será composto por 6 MPPT's, sendo 4 MPPT's com duas strings por MPPT e arranjo série de 17 módulos, 1 MPPT com duas strings e arranjo série de 18 módulos e 1 MPPT com uma string e arranjo série de 18 módulos. Total de 190 Módulos.

POTÊNCIA DE CADA CIRCUITO *STRING*

String com 15 módulos:

$$P_{15 \text{ módulos}} = 550W \cdot 15 = 8.250W$$

String com 16 módulos:

$$P_{16 \text{ módulos}} = 550W \cdot 16 = 8.800W$$

TENSÃO MÍNIMA E MÁXIMA DE CADA CIRCUITO *STRING*

Strings com 15 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 812,33 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 522,28 V$$

Strings com 16 módulos:

$$V_{máx} = N \cdot V_{oc} \{1 - [\beta_{voc} \cdot (25 - T_{min})]\} = 866,48 V$$

$$V_{min} = N \cdot V_{mp} \{1 - [\beta_{mp} \cdot (25 - T_{máx})]\} = 557,10 V$$

Os níveis de tensão mínima e máxima obedecem aos limites de operação do inversor.

8.2 Conexão com a Rede de Distribuição

Conforme a norma técnica COPEL (NTC 905200) a conexão do acessante não poderá prejudicar o desempenho do sistema elétrico e afetar a segurança do pessoal de manutenção e operação do sistema elétrico COPEL ou a proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

Na entrada de serviço, junto às caixas de edição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência de material metálico ou acrílico (não podendo ser adesivo), conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1 – Placa de Advertência (210mm x 100mm)

A conexão do mini gerador fotovoltaico com a rede elétrica da COPEL será realizada com as fases (A, B e C), provindos do inversor do sistema solar FV conforme desenhos e diagramas apresentados nas pranchas em anexo.

Os inversores só entrarão em operação quando a edificação estiver energizada pela rede elétrica da COPEL (situação normal). Caso a COPEL desenergize a edificação por causas emergenciais, por manutenção ou ocorra uma falha do sistema elétrico, os inversores fotovoltaicos se desligarão automaticamente, desconectando e isolando os geradores fotovoltaicos da rede elétrica. Com o religamento da rede elétrica pela COPEL os inversores voltaram a entrar em operação e assim voltam a injetar eletricidade na rede elétrica.

8.3 Seção Mínima dos Condutores e Proteções do Sistema

8.3.1 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Contínua

Foi dimensionado condutores elétricos para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura para tensão de até 1,8kV C.C. A seção desses condutores foi determinada com base na corrente de curto-circuito dos módulos $I_{SC} = 13,98A$, a Tabela C3 – para temperatura ambiente de 40°C da NBR 16612 e a Tabela 42 – Fator de agrupamento de condutores em um mesmo plano da NBR 5410.

Considerando portanto dois cabos unipolares encostados um ao outro, serão instalados pelo método 1 (instalação ao ar livre protegida do sol), onde a capacidade de condução de corrente elétrica de um cabo de 6mm² é de 53A. Como o cabo está agrupado ao ar livre em 6 circuitos, o fator de correção de agrupamento F_{AC} é de 0,57.

$$I_{z'} = I_z \cdot F_{AC} = 30,21A$$

O dimensionamento para proteção contra sobrecorrente e corrente reversa na série, segundo a NBR 16690 o valor nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve respeitar o seguinte:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Portanto,

$$20,97 < I_N < 33,55$$

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve ser entre 20,97A e 33,55A, logo, é considerado proteção de 25A para cada *string*.

Como a capacidade de condução de corrente corrigida é maior que a corrente nominal da proteção que é de 25A, o cabo de 6mm² pode ser utilizado com segurança.

Os condutores com polo positivo devem ser de cor vermelha e os condutores do polo negativo devem ser de cor preta. Cada painel FV possui um conector do tipo MC4 devidamente polarizado para evitar conexões invertidas.

8.3.2 Seção Mínima dos Condutores e Proteções Corrente Alternada

Os dispositivos de proteção CA do sistema serão instalados em um novo quadro, conforme apresentado em projeto, este painel será composto por um disjuntor trifásico de 150A para o lado de 380V e um de 200A para o lado de 220V, além dos DPS's para cada fase e neutro, afim de proteger esse barramento.

No trecho entre o inversor de 75kW até o barramento de geração em 380V, foi escolhido cabo com seção transversal de 50mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente máxima de saída

do inversor 142,44A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$142,44 < 150A < 175A$$

No trecho entre o autotransformador de 85Kva em 380/220V até o barramento de geração em 220V, foi escolhido cabo com seção transversal de 95mm² com isolamento HEPR, capaz de suportar a corrente nominal do disjuntor de 200A e a Tabela 37 da NBR 5410. O dimensionamento para a corrente do cabo considerado o método B1 (eletroduto com três condutores carregados).

$$I_{m\acute{a}x} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

$$196,82A < 200A < 269A$$

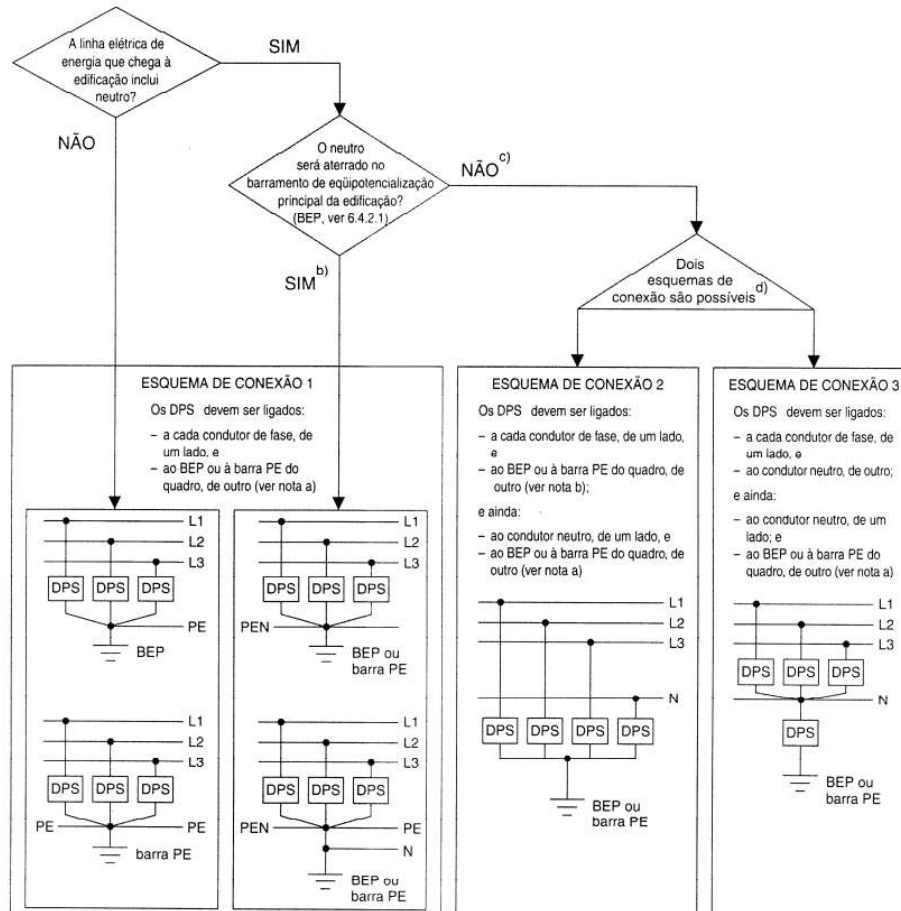
Para proteção do barramento de geração, foi escolhido um disjuntor de 200A, curva C, capacidade de interrupção máxima de 40kA e tensão nominal de 690V.

Os cabos que serão conectados nesse disjuntor até o trecho entre o esse e o barramento do QDG do local da UPA Cristo Rei. O diagrama unifilar geral do sistema FV apresenta detalhes da conexão elétrica dos dispositivos de proteção CA.

CONDUTORES DE CONEXÃO DO DPS

De acordo com a seção 6.3.5.2.9 da NBR 5410, o comprimento dos condutores destinados a conectar o DPS deve ser o mais curto possível, sem curvas ou laços. De preferência, o comprimento total, não deve exceder 50cm.

No mesmo item 6.3.5.2.9 da norma, refere-se à seção nominal do condutor das ligações do DPS. Sendo que quando esse DPS for destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a bitola nominal do condutor das ligações DPS-PE deve ser de no mínimo 16mm² em cobre ou equivalente



FONTE: ABNT NBR 5410-2004

NOTAS

a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e de como o BEP é implementado, na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:

- o BEP se situar a montante do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados então junto do BEP, e não no quadro; ou
- os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP.

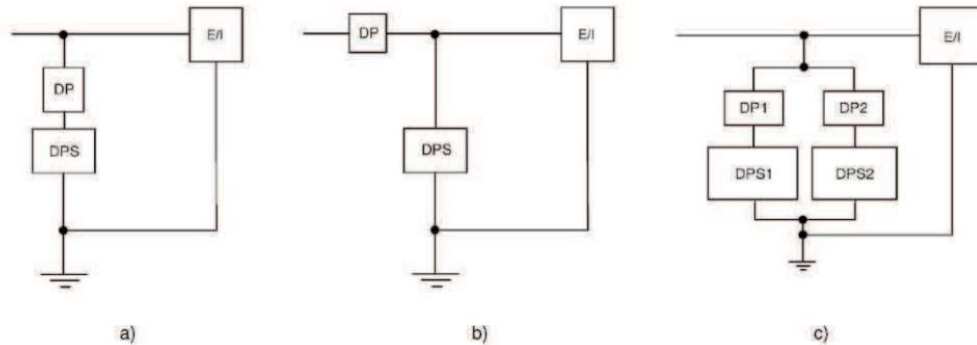
Por consequência, a ligação será na barra PE, propriamente dita, quando os DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

b) A hipótese configura um esquema que entra TN C e que prossegue instalação adentro TN C, ou que entra TN C e em seguida passa a TN S (aliás, como requer a regra geral de 5.4.3.6). O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP, direta ou indiretamente (ver figura G.2). A passagem do esquema TN C a TN S, com a separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).

c) A hipótese configura três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN S.

d) Há situações em que um dos dois esquemas se torna obrigatório, como a do caso relacionado na alínea b) de 6.3.5.2.6

Figura 13 — Esquemas de conexão dos DPS no ponto de entrada da linha de energia ou no quadro de distribuição principal da edificação



DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes
 DPS: dispositivo de proteção contra surtos
 E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

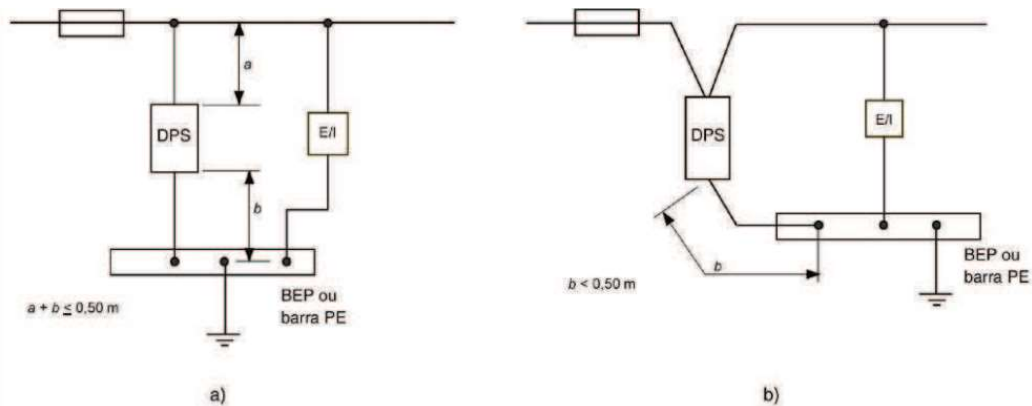


Figura 15 — Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS]

9 ATERRAMENTO

Considerou-se um esquema de aterramento do tipo TN-S. Cada quadro de proteção deve ser equipotencializado com a estrutura metálica e ponto de proteção do inversor fotovoltaico. Sendo assim, todo e qualquer tipo de aterramento deverá ser interligado com a malha de aterramento do local de instalação.

A instalação de aterramento deve cumprir com as normas ABNT NBR 5419 proteções de estruturas contra descargas atmosféricas e NBR 5410. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação. O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobtensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

Os eletrodos de aterramento serão do tipo haste "Copperweld", 5/8 x 3m. Segundo a norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda que a impedância de aterramento seja a menor possível em qualquer época do ano.