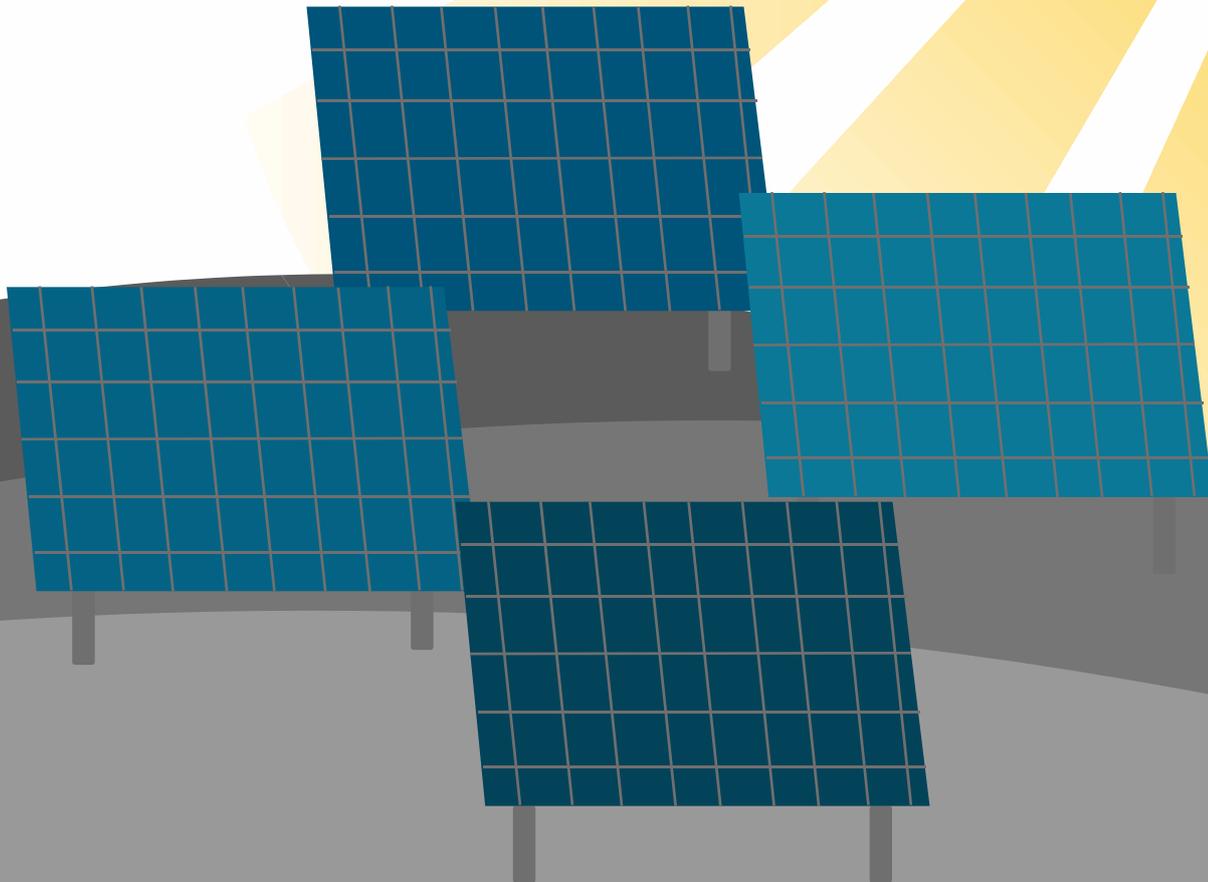


Universidade Federal de Viçosa - UFV  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



**Projeto Usina Fotovoltaica 2,18KWp  
Conectada à Rede Elétrica, Cidade de  
Jaboticatubas-MG,**

**ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aluno Flávio José Ayres Flisch

**ORIENTADOR: Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros**

Aluno Flávio José Ayres Flisch

## Projeto Usina Fotovoltaica de 2,18KWp Conectada à Rede Elétrica - Cidade de Jaboticatubas-MG

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa para a obtenção dos créditos referentes à disciplina ELT 554 do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica.

**Orientador:** Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros

Viçosa, 30 de setembro de 2022.

## ATA DE APROVAÇÃO

Aluno Flávio José Ayres Flisch

Projeto Usina Fotovoltaica de 2,18KWp Conectada à Rede Elétrica –  
Cidade de Jaboticatubas-MG

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa para a obtenção dos créditos referentes à disciplina ELT 554 do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica.

Aprovada em 30 de setembro de 2022.

Presidente e Orientador: Prof. Me. Rodrigo Cassio de Barros

Universidade Federal de Viçosa

---

Membro Titular: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Universidade Federal de Viçosa

---

Membro Titular: Eng. Me. William Caires Silva Amorim

Universidade Federal de Viçosa

# DEDICATÓRIA

## **Dedico este trabalho**

*A Deus pela nossa existência.*

*A minha esposa Tácia e aos meus filhos Flávio e Bruno, que sempre motivaram-me a seguir em frente na busca do conhecimento e no desenvolvimento profissional, valorizando minha determinação e capacidade de apreender.*

*Aos profissionais e usuários que buscam por mudanças em prol da sustentabilidade e respeito ao meio ambiente.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFV, a toda equipe do GESEP, aos Professores que ministraram as disciplinas e que foram fonte de precioso conhecimento adquirido ao longo do curso, sempre disponíveis e interessados pelo nosso aprendizado. Agradeço particularmente ao Professor Orientador Rodrigo Cássio de Barros e ao Professor Coordenador Heverton Augusto Pereira.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto elétrico de um sistema fotovoltaico para microgeração distribuída cuja potência instalada é inferior a 75KW. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi feito levando em consideração o perfil de consumo do cliente residencial urbano do Grupo B.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico, Microgeração Distribuída, Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.

## Lista de Figuras

Figura 1: Imagem de satélite da UC retirada do google <i>maps</i> .....	15
Figura 2: Medidor de energia da UC. ....	16
Figura 3: Disjuntor do medidor de energia.....	16
Figura 4: Local de instalação do inversor.....	17
Figura 5: Local de instalação dos módulos fotovoltaicos. ....	17
Figura 6: Esquema de aterramento da usina fotovoltaica. A caixa do medidor é indicada na figura como "CM" .....	17
Figura 7: (a) Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica, obtida no Google Maps. (b) Planta de localização, disposta no projeto elétrico.....	20
Figura 8: EStimate – Custos estimado dos equipamentos e configuração do projeto.....	21
Figura 9: EStimate – Informações e Análise Financeira.....	21
Figura 10: (a) Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica, obtida no Google Maps. (b) Planta de localização, disposta no projeto elétrico.....	42
Figura 11: Estrutura de fixação para telhado colonial.....	42
Figura 12: Local da instalação da UF, imagem de satélite obtido do Aplicativo Mapas da Apple Maps.....	41
Figura 13: Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica, obtida no Google Maps.....	42
Figura 14: Detalhe do local da UF com as coordenadas geográficas, obtido no Google Maps.....	42
Figura 15: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas. ....	43
Figura 16: Padrão de entrada com caixa de medição e medidor bidirecional. ....	44
Figura 17: Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).....	45

Figura 18: Diagrama unifilar da UC após a instalação da usina solar fotovoltaica. Simbologia adotada conforme Figura 15. ....	46
Figura 19: Diagrama multifilar da UC após a instalação da usina solar fotovoltaica. Simbologia adotada conforme Figura 15. ....	46

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Consumo anual de energia das unidades consumidoras que serão usadas para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	14
Tabela 2: Módulos e Potências em configurações simuladas pelo EStimate.....	23
Tabela 3: Comparativo de Módulos e configurações simuladas pelo EStimate.....	24
Tabela 4: Parâmetros do Módulo Fotovoltaico modelo LR5-72HPH do fabricante LONGI..	24
Tabela 5: Parâmetros do Inversor Fotovoltaico modelo PHB3000N-XS.....	27
Tabela 6: Dimensionamento do disjuntor lado CA, fonte planilha DimensionamentoCondutorCA_CC.xlsx.....	29
Tabela 7: Dimensionamento do condutor lado CC, fonte: Planilha DimensionamentoCondutorCA_CC.xlsx.....	30
Tabela 8: Dimensionamento do condutor lado CA, fonte Planilha DimensionamentoCondutorCA_CC.xlsx.....	31
Tabela 9: Dimensionamento do condutor de proteção e aterramento, fonte Planilha DimensionamentoCondutorCA_CC.xlsx.....	33
Tabela 10: Consumo mínimo cobrado – Distribuidora CEMIG.....	35
Tabela 11: Dados de entrada: Tarifas. ....	37
Tabela 12: Dados de entrada: Taxas. ....	37
Tabela 13: Parâmetros de Entrada: Dimensionamento da UF. ....	38
Tabela 14: Dados de Entrada: Custos equipamentos, instalação e manutenção.....	39
Tabela 15: Investimento inicial, despesas e produção.....	39
Tabela 16: Fluxo de Caixa. ....	40
Tabela 17: Análise de Viabilidade. ....	40

## Lista de Abreviação

TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
PB	<i>Payback</i>
UF	Usina Fotovoltaica
MFV	Módulo Fotovoltaico
UC	Unidade Consumidora
FR	Fator de Redução de Consumo Anual
CM	Consumo Mínimo Anual
CE	Custo de Energia Anual
CI	Custo de Iluminação Pública Anual

## Lista de Símbolos

$FC_0$	Fluxo de caixa do período zero
$FC_n$	Fluxo de caixa no período n
$W_{modulo}$	Produção de energia do módulo
$W_{arranjo}$	Produção de energia do arranjo FV
$\eta_{módulo}$	Eficiência do módulo fotovoltaico
$C$	Consumo de Energia
$N$	Número de módulos
$P_{inv}$	Potência nominal do inversor
$P_{arranjo}$	Potência da <i>string</i>
$V_{inv}$	Tensão CC máxima do inversor
$I_{inv}$	Corrente CC máxima do inversor
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto dos módulos
$P_{módulo}$	Potência do módulo
$I_{n_{fusível}}$	Corrente nominal do fusível
$FT$	Fator de correção por temperatura
$FA$	Fator de correção por agrupamento
$d$	Distância do inversor ao medidor de energia
$E$	Energia

## Sumário

1-	Análise do Local da Instalação .....	13
1.1	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA.....	13
1.2	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	14
1.3	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO.....	18
2-	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	23
2.1	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	
2.2	DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES .....	26
2.3	DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO .....	28
2.4	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C. ....	29
2.5	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.6	ATERRAMENTO.....	
2.7	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO.....	33
3-	Análise de Viabilidade Econômica.....	35
3.1	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO.....	35
3.2	ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS 37	
3.3	FLUXO DE CAIXA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE.....	39
4-	Projeto Elétrico .....	41
4.1	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO .....	41
4.2	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR.....	43
4.3	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR .....	46
4.4	MEMORIAL DESCRITIVO.....	47
5-	Referências Bibliográficas.....	48

# 1- Análise do Local da Instalação

Este capítulo tem objetivo de informar sobre o estudo do local de instalação da usina fotovoltaica (UF), incluindo as análises do consumo de energia das unidades consumidoras, da área de instalação, assim como os efeitos de sombreamento e outras perdas no sistema de geração. O local de instalação será no município de Jaboticatubas-MG. A classificação da instalação é do tipo Residencial Bifásico, subclasse Residencial e modalidade tarifária B1.

O projeto é do tipo autoconsumo remoto, caracterizado por 02 unidades consumidoras (UC) com a mesma titularidade de pessoa física. Para o dimensionamento do projeto foi considerado a demanda de energia da residência no local de instalação da usina fotovoltaica em Jaboticatubas-MG (UC 1) e a geração de créditos para compensar a demanda da outra unidade consumidora localizada em Contagem-MG (UC 2). A unidade que será beneficiada com os créditos é do tipo Residencial Trifásico, subclasse Residencial e modalidade tarifária B1. Ambas as unidades estão localizadas na área de abrangência da concessionária de energia CEMIG.

## 1.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

A partir das contas de energia, foi realizado o levantamento de dados históricos de consumo nos últimos 12 meses das unidades consumidoras. As Unidades Consumidoras 1 e 2 possuem consumos anuais de energia de 2.110 KWh e 2.249 KWh respectivamente como mostrado na Tabela 1. As somas da energia anual, mensal e diária consumida pelas duas são respectivamente 4.359 KWh, 363,25 KWh e 11,94 KWh.

<b>Unidade 1 - Jaboticatubas</b>		
<b>Consumo de energia (kWh)</b>		
	<b>Mês</b>	<b>kWh</b>
2021	Julho	182
	Agosto	126
	Setembro	173
	Outubro	185
	Novembro	194
	Dezembro	165
	2022	Janeiro
Fevereiro		186
Março		175
Abril		166
Maio		183
Junho		161
Média (mês)		<b>175,83</b>
Média (dia)		<b>5,78</b>
Consumo anual - kWh		<b>2.110</b>

<b>Unidade 2 - Contagem</b>		
<b>Consumo de energia (kWh)</b>		
	<b>Mês</b>	<b>kWh</b>
2021	Julho	191
	Agosto	225
	Setembro	195
	Outubro	218
	Novembro	208
	Dezembro	194
	2022	Janeiro
Fevereiro		184
Março		200
Abril		161
Maio		160
Junho		129
Média (mês)		<b>187,42</b>
Média (dia)		<b>6,16</b>
Consumo anual - kWh		<b>2.249</b>

Tabela 1: Consumo anual de energia das unidades consumidoras que serão usadas para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A usina fotovoltaica será instalada na UC 1 (Jaboticatubas-MG) cujas coordenadas geográficas são **-19° 29' S** e **-43° 90' W** como mostrado na Figura 1. O padrão é do tipo Bifásico, alimentação 220V e com um disjuntor bipolar de 60A como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Para minimizar as perdas ôhmicas de corrente contínua, a instalação do inversor será em uma parede cuja localização é próxima à área de telhado onde ficarão os módulos fotovoltaicos (MFV), mostrada na Figuras 4. A UC 1 possui uma área de telhado de aproximadamente de 220 m<sup>2</sup> e a Figura 5 mostra o local onde o inversor e os MFV serão instalados. O local escolhido para instalação dos MFV será no telhado por ser considerado mais seguro devido a circulação de pessoas e animais domésticos na propriedade. Os MFV terão a face posicionadas ao Noroeste com angular ângulo azimutal de superfície de -12°, permitindo uma orientação bastante adequada em relação ao Norte.

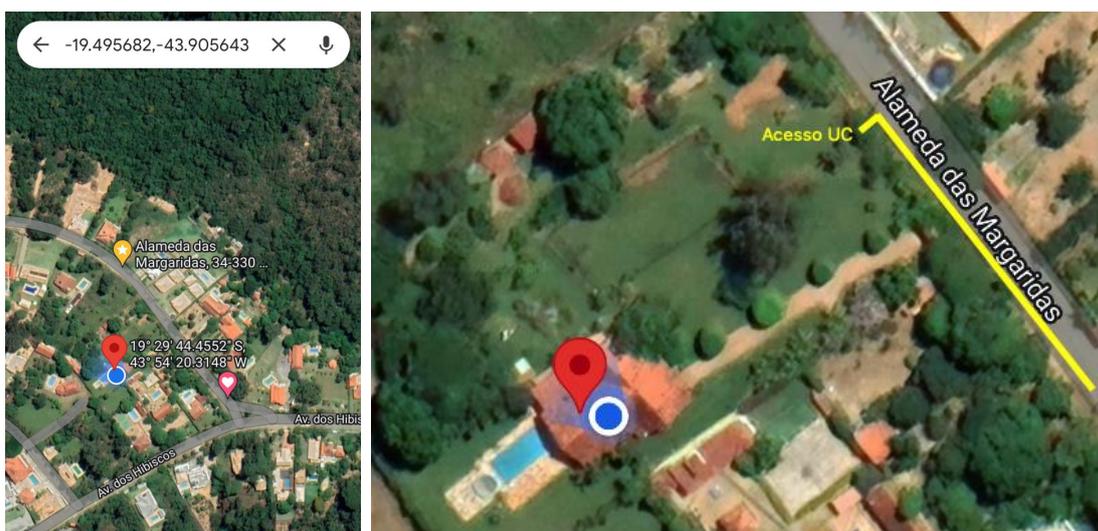


Figura 1: Imagem de satélite da UC retirada do *google maps*.



Figura 2: Medidor de energia da UC.



Figura 3: Disjuntor de 60 A - Medidor de energia.

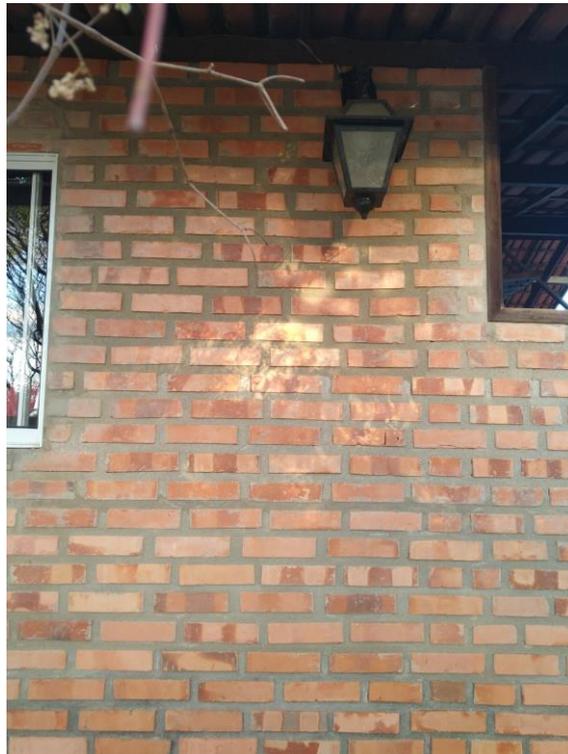


Figura 4: Local de instalação do inversor.



Figura 5: Local de instalação dos módulos fotovoltaicos (verde) e inversor (azul).

### 1.3 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Em análise visual da área no telhado onde serão instalados os módulos considera-se que poderá haver um efeito de sombreamento ao poente devido a presença de 02 árvores de porte médio nas proximidades. Foi utilizado o aplicativo Caminho do Sol para predição da trajetória solar no local da instalação. Segundo o levantamento gráfico produzidos pelo aplicativo e pela localização das árvores a noroeste, o efeito de sombreamento poderá ter maior influência em ângulos horários superiores no período de final de tarde e nos meses do equinócio de inverno e verão como mostrado na Figura 6.



Figura 6: Simulação gráfica da trajetória solar, fonte: Aplicativo Caminho do Sol.

### 1.4 ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA PRELIMINAR considerando as perdas do projeto

Com objetivo de realizar a avaliação preliminar de viabilidade do investimento, decidiu-se por utilizar técnicas computacionais de

dimensionamento. Estas ferramentas permitem de forma antecipada aos cálculos de dimensionamento, auxiliar na avaliação técnica e econômica de implantação do projeto, tornando-se bastante útil como referência às etapas sucessivas do projeto.

No caso, a ferramenta escolhida foi o aplicativo ESTimate que foi desenvolvido pela Gerência de Especialistas de Sistemas Elétricos de Potência (GESEP) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

A Figura 7 mostra os dados de entrada usados na simulação do aplicativo. Na simulação foram considerados como dados de entrada a localização da UF (Jaboticatubas-MG), a estimativa de fator de perda da instalação de 20% e alimentação elétrica do tipo bifásica em 220V. O fator de perda representa uma estimativa de redução da eficiência de geração da UF relacionado às perdas ôhmicas nos cabos, sombreamento e posicionamento geográfico dos MFV. Com base aos dados da Tabela 1, O consumo de energia médio mensal foi o consumo de 263,25 KWh/mês que representa a soma do consumo médio da UC1 de 175,83 KWh/mês, somado ao consumo médio da UC2 descontados o valor do Consumo Mínimo (CM) de 100 KWh/mês, ou seja, o valor de 87,42 KWh/mês. Esta consideração foi necessária pois na UC2 serão usados os créditos de geração na UC1 para abatimento do consumo, permanecendo o valor a ser pago de consumo CM para a unidades classificada como trifásica, como mostrado na Tabela 9.

10:14 4G

← Dimensionamento

Jaboticatubas

Radiação 5.26 kWh/m<sup>2</sup> dia

Fator de Perda 20 %

ENCONTRAR PERDAS

Consumo Médio

263.25 kWh/mês

Inserir Mensalmente

Sistema

Monofásico  Bifásico  Trifásico

127V  220V  380V

CALCULAR

Parceiros:

Figura 7: EStimate – dados de entrada.

De acordo com a simulação, a configuração técnica mais econômica que poderá atender o projeto deverá ter 01 inversor bifásico de 3.000W, 05 MFV de 455W, com eficiência de 20,61% e produção estimada total de 287,39 KWh/mês. A área total para instalação dos módulos de 11,05 m<sup>2</sup>. A Figura 8 mostra o custo total dos equipamentos e os dados detalhados desta configuração.



Figura 8: EStimate – Custos estimado dos equipamentos e configuração do projeto.

Em termos de análise de viabilidade financeira, a simulação demonstrou que o projeto é viável com um retorno do investimento estimado em 7,0 anos e taxa de retorno de 10,9%. A Figura 9 mostra o resultado da análise de viabilidade financeira e todos os parâmetros financeiros usados.



Figura 9: EStimate – Informações e Análise Financeira.

## 2- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Este capítulo tem objetivo mostrar os critérios de dimensionamento utilizados para determinar os componentes que integram a UF, tais como o número de MFV, potência do inversor e modelo dos principais equipamentos. Também são apresentados os dimensionamentos dos dispositivos de proteção, dos cabos CC e CA, aterramento e da definição mecânica-estrutural da fixação dos módulos.

### 2.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O método para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos inicia-se pela definição do modelo que será usado. Para determinação do modelo do MFV foram utilizadas as simulações realizadas pela ferramenta EStimate na seção 1.4 onde as 03 primeiras configurações de menor custo dos equipamentos indicaram os fabricantes e respectivas potências, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Módulos e Potências em configurações simuladas pelo EStimate.

FABRICANTE – MFV	POTÊNCIA (W)
Canadian	455
LONGI	545
JINKO SOLAR	525

Estas marcas são certificadas com o selo de qualidade Procel/Inmetro, ISO 9001 e estão entre as principais comercializadas no mercado brasileiro. As principais de características técnicas de cada configuração resultante da simulação com estas marcas são mostradas na Tabela 3. A marca definida foi a LONGI pelo critério de maior produção de energia por m<sup>2</sup>. O modelo do MFV é o LR5-72HPH 545, tipo monocristalino, monofacial de 144 células e tecnologia "Half-Cell". Na Tabela 4 são mostrados os parâmetros do MFV extraídos da folha de especificações do fabricante.

Tabela 3 – Comparativo de Módulos e configurações simuladas pelo EStimate.

	Unidade	Módulos Fotovoltaicos		
		Canadiam	LONGI	Jinko
Potência [W]	W	455,00	545,00	525,00
Eficiência [%]	%	20,6	21,3	20,4
Área Total da Instalação	m <sup>2</sup>	11,05	10,22	10,31
Produção de Energia (STC)	KW/mês	287,39	274,92	265,64
Produção de Energia/Área	KW/mês/m <sup>2</sup>	26,0	26,9	25,8

Tabela 4 – Parâmetros do Módulo Fotovoltaico modelo LR5-72HPH do fabricante LONGI.

Parâmetros	Valor
Potência do módulo em condição de testes padrão (STC) [W]	545
Eficiência do módulo fotovoltaico – $\epsilon$ [%]	21,5
Área do módulo fotovoltaico [m <sup>2</sup> ]	2,56
Tensão de circuito aberto [V]	49,65
Tensão de máxima potência [V]	41,80
Corrente de curto-circuito [A]	13,92
Corrente de máxima potência [A]	13,04
Tensão máxima do sistema [Vdc]	1500

A próxima etapa do método consiste no cálculo da energia produzida diariamente pelo MFV. A determinação da energia é baseada na Irradiação diária, ou seja, no valor do quilowatt-hora por metro quadrado diário [KWh/m<sup>2</sup>/dia] disponível na localidade da UF. A partir da sua área e eficiência, é calculada a energia elétrica produzida pelo módulo W [KWh] diariamente conforme a fórmula:

$$W_{\text{modulo}} = \text{Irradiância} \times A \times \epsilon \times \varphi \quad (1)$$

onde,

Irradiância – medida em [KWh/m<sup>2</sup>/dia], para um determinado local;

A – Área do módulo fotovoltaico [m<sup>2</sup>];

$\epsilon$  – Eficiência do módulo fotovoltaico [%];

$\varphi$  – Eficiência do sistema [%];

A partir do site do Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) [1] foi obtido a Radiação de 5,27 [KW/m<sup>2</sup>/dia] cujo valor é a média anual medida na estação mais próxima do local da UF. Os valores de área e eficiência do MFV são obtidos da Tabela 3. A eficiência do sistema está relacionada às perdas inerentes ao sistema como perdas ôhmicas nos cabos e o rendimento do inversor, bem como outros fatores como sombreamento e alinhamento geográfico. A eficiência considerada foi de 84%, definida a partir dos seguintes valores estimados:

- Perdas ôhmicas cabos = 4%
- Perdas sombreamento = 6%
- Perdas geográficas (Não alinhamento com o Norte) = 6%
- 

Desta forma o calor calculado da energia produzida pelo MFV  $W_{modulo}$  segue abaixo:

$$W_{modulo} = \text{Irradiação} \times A \times \epsilon \times \varphi$$

$$W_{modulo} = 5,27 \times 2,56 \times 0,215 \times 0,84$$

$$W_{modulo} = 2,44 \text{ [KWh/dia]}$$

Para determinação da quantidade de módulos requeridos  $N$  no projeto é realizado o cálculo a partir do valor de consumo de energia  $C$  [KWh/mês] das UC levantado na seção 1.4 e a energia produzida pelo MFV  $W_{modulo}$  [KWh/mês]:

$$N = C / ( W_{modulo} \times 30) \quad (2)$$

$$N = 263,25 / (2,44 \times 30)$$

$$N = 3,6 \text{ ou } \boxed{4 \text{ Módulos}}$$

A energia total produzida pelo arranjo  $W_{arranjo}$  segue abaixo:

$$W_{arranjo} = N \times \text{Irradiância} \times A \times \epsilon \times \varphi \quad (3)$$

$$W_{arranjo} = 4 \times 5,27 \times 2,56 \times 0,215 \times 0,84$$

$$W_{arranjo} = 9,75 \text{ KWh/dia}$$

A energia total gerada mensalmente pelo arranjo é de 292,38 [KWh/mês]. O projeto gerará 11,1% a mais de energia quando comparado ao valor do consumo C de 263,25 [KW/mês]. Desta forma, os 04 módulos que serão usados permitirão gerar um excedente de energia que poderá suprir o aumento de demanda para futuras expansões de carga nas UC.

## 2.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Inicialmente para o dimensionamento do inversor deve ser calculada a potência do arranjo  $P_{arranjo}$  considerando a quantidade de módulos definida e a potência de cada módulo  $P_{módulo}$ , como segue abaixo:

$$P_{arranjo} = N \times P_{módulo} \quad (4)$$

$$P_{arranjo} = 4 \times 545 = 2.180 \text{ W}$$

Para o dimensionamento do inversor pode-se considerar o critério no qual a potência máxima do inversor  $P_{maxinv}$  deve ser maior que a potência do arranjo  $P_{arranjo}$  como mostrado a seguir:

$$P_{maxinv} > P_{arranjo}$$

$$P_{maxinv} > 2.180 \text{ W}$$

De forma geral é habitual utilizar a razão entre a potência do arranjo fotovoltaico e inversor com o valor de 1:1 [2]. Em pesquisa junto ao site do fabricante PHB o inversor que satisfaz o critério é o modelo PHB3000N-XS cuja potência nominal é de 3.000W:

$$P_{maxinv} > 2.180 \text{ W}$$

$$3.000 \text{ W} > 2.180 \text{ W}$$

Segundo *datasheet* do fabricante, o inversor PHB3000-XS tem capacidade para operar com a quantidade de 02 a 08 MFV LONGI 545, confirmando a definição de  $N = 04$  da Seção 2.1.

Importante mencionar que, também, é uma prática comum sobre dimensionar levemente o arranjo ou subdimensionar o inversor, pois a potência de pico do conjunto somente é atingida nas condições padronizadas de teste (STC) [3]. A potência máxima de inversor  $P_{maxinv}$  pode variar de 70 a 120% da potência produzida no arranjo nominal do inversor como segue [2]:

$$0,7 \times P_{arranjo} < P_{maxinv} < 1,2 \times P_{arranjo}$$

No entanto, o inversor com potência imediatamente inferior, modelo PHB1500-XS (1500W), não satisfaz o critério de operação com sobre dimensionamento do arranjo, pois segundo o *datasheet* do fabricante permite no máximo 03 MFV do modelo definido.

Logo, o modelo PHB3000N-XS permanece atendendo o critério de potência e seus parâmetros são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros do Inversor Fotovoltaico modelo PHB3000N-XS.

Parâmetros	Valor
Máxima tensão CC [V]	600
Faixa de operação SPMP (MPPT)	50~550
Tensão CC de partida [V]	50
Corrente Curto-Circuito [A]	16.3
Número de Strings / Número de SPMP (MPPT)	1/1
Potência CA nominal [W]	3000
Máxima Potência CA [W]	3300

Saída nominal CA [Vca]	208-254
Máxima Eficiência [%]	97,4
Eficiência SPMP (MPPT) [%]	>99,9

O inversor PHB3000N-XS possui 01 *String* com rastreamento do ponto de máxima potência ou *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Desta forma, o arranjo será configurado em 04 MFV conectados em série.

No dimensionamento da máxima corrente CC do inversor  $I_{inv}$  é avaliada a sua capacidade em relação à corrente de curto-circuito  $I_{SC}$  do MFV. O inversor atende o critério demonstrado a seguir, considerando um fator de segurança de 10%:

$$I_{inv} > 1,1 \times I_{SC}$$

$$I_{inv} > 1,1 \times 13,92 \text{ A}$$

$$I_{inv} > 1,1 \times 13,92 \text{ A}$$

$$I_{inv} > 15,3 \text{ A}$$

$$16,3 \text{ A} > 15,3 \text{ A}$$

No dimensionamento da máxima tensão CC do inversor  $V_{inv}$  é avaliada a sua capacidade em relação à tensão de circuito aberto  $V_{OC}$  dos MFV. O inversor também atende o critério demonstrado a seguir, considerando um fator de segurança de 20%:

$$V_{inv} > 1,2 \times N \times V_{OC}$$

$$V_{inv} > 1,2 \times 4 \times 49,65 \text{ V}$$

$$V_{inv} > 238,32 \text{ V}$$

$$600 \text{ V} > 238,32 \text{ V}$$

Conclui-se que o inversor PHB3000N-XS atendeu todos os critérios avaliados e, portanto, foi considerado adequado como dimensionamento para o projeto.

### 2.3 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO

Proteção Lado CC:

A proteção lado CC será implementada por meio *string Box* CC que é integrada ao inversor PHB3000N-XS e consiste em:

- 01 Interruptor/Seccionador CC 1000Vcc, 25A;
- 03 DPS CC classe II 500Vcc, 20KVA

Segundo a Norma IEC 60364, em conjuntos com até dois *strings* paralelos não é necessário empregar fusíveis para a proteção de sobre corrente [3].

Proteção Lado CA:

A proteção lado CA será implementada por meio 01 disjuntor bipolar e 02 dispositivos de proteção contra surto (DPS). Para o dimensionamento do disjuntor foi utilizada a planilha "DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx" que a partir de dados do projeto, determinou que corrente projetada nominal do disjuntor ( $I_n$ ) deverá ser de 16 A, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Dimensionamento do disjuntor lado CA,  
fonte planilha DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx

<b>Dados de entrada para dimensionamento</b>		
Altitude da instalação	750	m
Temperatura ambiente	30	°C
Número de disjuntores agrupados	1	qtd.
Corrente nominal do condutor fase (Iz)	18	A
Corrente projeto (Ib)	14,20454545	A
Corrente projetada nominal do disjuntor (In)	16	A

Desta forma será utilizado um quadro CA, do tipo comercial Marca/Modelo PHB QDCA/84, compatível com a corrente  $I_n$  cuja composição consiste:

- 01 Disjuntor Bipolar Curva C 20 A;
- 02 DPS classe II 275 Vca, I<sub>max</sub> 40KVA.

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC

O dimensionamento do projeto determinou uma única série fotovoltaica com o uso de 06 MFV ligados ao inversor por meio de 01 *string*/MPPT. Para ligação da série serão utilizados condutores de cobre estanhado, classe de encordoamento 5 (muito flexível), do tipo cabo unipolar, constituído de condutor, isolante e camada de proteção externa. O material de isolamento será do tipo XLPE ou EPR para garantir segurança e durabilidade ao projeto. De acordo com a NBR 16612, o método de instalação dos condutores será o modo me2 ou seja 02 cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal, ao ar livre, expostos ao sol.

Definidas as especificações do condutor, método, condições de instalação e aplicando os dados de projeto da UF lado CC como dados de entrada na planilha “*DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx*”, determinou-se que o condutor deverá ter uma seção de 4,0 mm<sup>2</sup>. A Tabela 7 mostra o resultado do cálculo do dimensionamento onde o valor final da seção do condutor CC foi definido pelo critério de queda de tensão.

Tabela 7 – Dimensionamento do condutor lado CC,  
fonte: Planilha DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx

Dados de entrada para dimensionamento cabo c.c.		Valor	
Método de referência		me2	
Isolação		XLPE/EPR	
Temperatura ambiente/solo		30	°C
Dados c.c. da usina FV		Valor	Unidade
Potência nominal do módulo fotovoltaico		545	W
Tensão no ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico		41,8	V
Corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico		13,92	A
Número de módulos fotovoltaicos em série		6	unid.
Número de séries fotovoltaicas		1	unid.
Número de arranjos fotovoltaicos		1	unid.
Uso de dispositivos de proteção contra sobrecorrente		Não	-
Potência c.c. do sistema FV		3270	W
Corrente de projeto da série fotovoltaica		20,88	A
Corrente de projeto do arranjo fotovoltaico		17,4	A
Distância máxima de cabo da série fotovoltaica		20	m
Distância máxima de cabo do arranjo fotovoltaico		20	m
Queda de tensão admissível no MPP		2	%
Condutividade do cobre em 90° C		44	m/Ohm.mm <sup>2</sup>
<b>Dimensionamento do cabo da série fotovoltaica</b>			
Critério seção mínima		2,5	mm <sup>2</sup>
Critério da capacidade de condução de corrente		1,5	mm <sup>2</sup>
Critério da queda de tensão		4	mm <sup>2</sup>
Seção final		4	mm <sup>2</sup>
<b>Dimensionamento do cabo do arranjo fotovoltaico</b>			
Critério seção mínima		2,5	mm <sup>2</sup>
Critério da capacidade de condução de corrente		1,5	mm <sup>2</sup>
Critério da queda de tensão		4	mm <sup>2</sup>
Seção final		4	mm <sup>2</sup>

## 2.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA

Para a ligação lado CA serão utilizados cabos unipolares de cobre isolados com cobertura de PVC (450/750V), classe 2 (cabos rígidos), instalados em conduto fechado do tipo eletroduto enterrado no solo. O método de referência de instalação é o D1 conforme NBR 5410.

Definidas as especificações do condutor, método, condições de instalação e aplicando os dados de projeto da UF lado CA como dados de entrada na planilha "DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx", determinou-se que o condutor deverá ter uma seção de 4,0 mm<sup>2</sup>. A Tabela 8 mostra o resultado do cálculo do dimensionamento onde o valor final da seção do condutor CA foi definido pelo critério de queda de tensão.

Tabela 8 – Dimensionamento do condutor lado CA,  
fonte Planilha DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx

Dados de entrada para dimensionamento cabo c.a.		Valor	
Método de referência		m_D	
Isolação		PVC	
Temperatura ambiente/solo**		30	
Número de condutores carregados		2	
Número de circuitos na linha elétrica		1	
Condutor		Cobre	
Construção do condutor*		Unipolar	Espaçado horizontal
Dados c.a. da usina FV		Valor	Unidade
Potência c.a.		3000	W
Tensão RMS de linha		220	V
Tipo de sistema		Monofásico/Bifásico	-
Corrente RMS nominal		13,63636364	A
Corrente de projeto		16,23376623	A
Distância do transformador		100	m
Queda de tensão admissível do ponto de entrega		4	%
Impedância mínima nestas condições		5,4208	V/Akm
<b>Condutor fase</b>			
Critério seção mínima		2,5	mm <sup>2</sup>
Critério da capacidade de condução de corrente		1	mm <sup>2</sup>
Critério da queda de tensão		4	mm <sup>2</sup>
Seção final		4	mm <sup>2</sup>

## 2.6 ATERRAMENTO

O aterramento é a ligação intencional com a terra, isto é, com o solo que pode ser considerado como condutor através do qual a corrente elétrica pode fluir, difundindo-se [6]. O aterramento empregado será do tipo de proteção com objetivo de segurança para evitar choques elétricos.

A classificação do esquema de aterramento da UF é do tipo TT onde o inversor é diretamente aterrado, independente de um eventual ponto de aterramento da fonte de alimentação da rede. O aterramento será constituído pelo eletrodo de aterramento, condutor de aterramento, condutor de proteção (PE) e barra principal de aterramento. No sistema será implementada a

equipotencialização da instalação com a conexão unificada do barramento e condutores de ligação à terra, tanto no lado CA quanto no lado CC [3]. A Figura 10 mostra o esquema de ligação e aterramento que será utilizado.

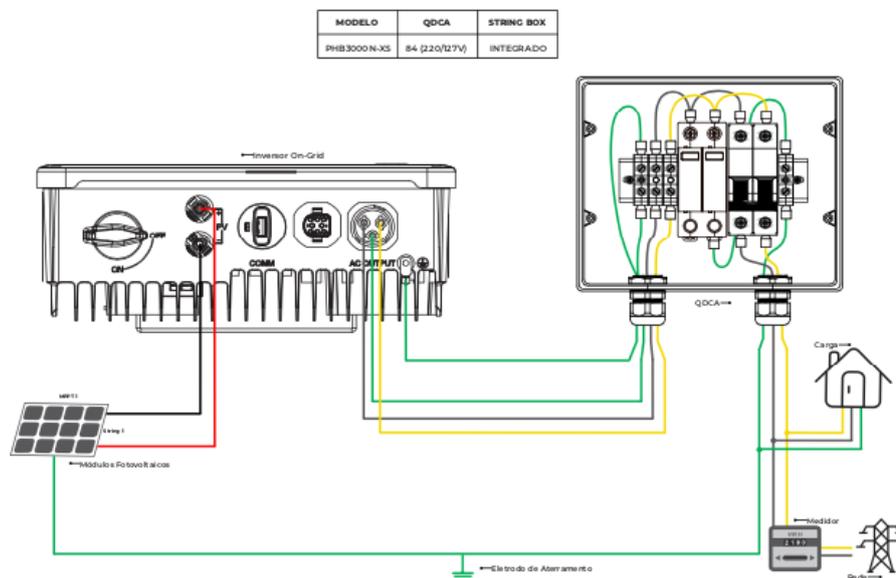


Figura 10: Esquema de Aterramento tipo TT, fonte site PHB, Inversor PHB 3000N-XS [3].

A Norma NBR 5410 permite a utilização de eletrodos de aterramento como hastes e trechos de cabos enterrados. O dimensionamento, devido à incerteza e à dificuldade de obtenção dos dados, como a resistência do solo, é suficiente que sejam fornecidas indicações principais, em particular: material, forma, dimensão do eletrodo e colocação geográfica [6]. Desta forma, o aterramento do UF será composto por 04 hastes verticais do tipo copperweld, enterradas no solo a uma profundidade de 3,0 m, dispostas na configuração alinhada, e interligadas por meio de um condutor isolado. Serão utilizadas hastes de aço revestidas com cobre por eletrodeposição (254um), diâmetro de 3/4" (19,05 mm) e comprimento de 3,5 m.

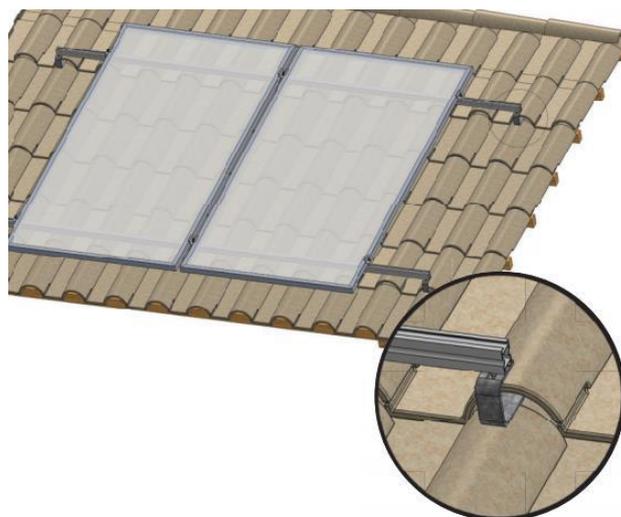
Por meio da planilha "*DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx*", determinou-se que a seção do condutor de proteção e de aterramento deverá ser 4,0 mm<sup>2</sup>. Desta forma, a seção mínima destes condutores passa a ser a própria seção do condutor de fase. A Tabela 9 mostra o resultado do cálculo do dimensionamento.

Tabela 9 – Dimensionamento do condutor de proteção e aterramento,  
fonte Planilha DimensionamentoCondutorCA\_CC.xlsx

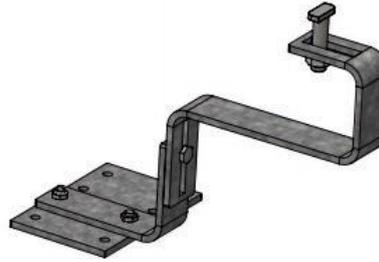
Dados de entrada para dimensionamento dos condutores de aterramento e proteção	Valor	
Corrente de curto-circuito eficaz presumida (não assimétrica)	3255,71	Amperes
Tempo de seccionamento da proteção de sobrecorrente	0,01	segundos
Material do condutor de aterramento/proteção	Cobre	
Método de instalação do condutor de aterramento	M0	Isolação
Método de instalação do condutor de proteção	M0	Isolação
Isolação/cobertura dos cabos adjacentes	PVC	
Fator k da instalação do condutor de aterramento	143	
Fator k da instalação do condutor de proteção	143	
<b>Condutor de aterramento</b>		
Critério seção mínima	2,5	mm <sup>2</sup>
Seção do condutor de acordo com a metodologia 6.4.3.1.1 NBR 5410	2,5	mm <sup>2</sup>
Seção do condutor de acordo com a metodologia 6.4.3.1.3 NBR 5410	4	mm <sup>2</sup>
Seção final	4	mm <sup>2</sup>
<b>Condutor de proteção</b>		
Critério seção mínima	2,5	mm <sup>2</sup>
Seção do condutor de acordo com a metodologia 6.4.3.1.1 NBR 5410	2,5	mm <sup>2</sup>
Seção do condutor de acordo com a metodologia 6.4.3.1.3 NBR 5410	4	mm <sup>2</sup>
Seção final	4	mm <sup>2</sup>

## 2.7 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

A estrutura de fixação será do tipo metálica em alumínio para telhado colonial com fixação de parafusos diretamente no caibro como mostrado na Figura 11.



(a)



(b)

Figura 11: Estrutura de fixação para telhado colonial, fonte [4].

Para o projeto será usado um kit comercial fornecido pelo do fabricante PHB que consiste em:

- Perfil em alumínio - 6 unidades para fixação dos módulos, comprimento de 2,40 m;
- Suporte de fixação "hooks" - 10 unidades para instalação no caibro;
- Grampo intermediário - 10 unidades para conexão suporte-trilho;
- Grampo terminador - 4 unidades de 35 mm;
- Grampo de aterramento - 2 unidades;
- Emenda para perfil - 4 unidades;
- Clip de aço - 4 unidades para aterramento estrutura/módulo;
- Jumper - 4 unidades para aterramento do perfil;
- Abraçadeiras de aço para cabos - 6 unidades.

## 3- Análise de Viabilidade Econômica

Por meio do aplicativo EStimate, na Seção 1.4, foi realizado um estudo preliminar econômico-financeiro do projeto que demonstrou sua viabilidade. Este capítulo tem como objetivo confirmar esta avaliação de forma a primeiramente demonstrar para o cliente o percentual de redução de custo de sua conta de energia paga à concessionária e em seguida detalhar a análise do investimento de implantação da usina fotovoltaica. Os resultados da análise do investimento são o estudo do fluxo de caixa, a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno do capital (PB).

### 3.1 PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE CUSTO DA CONTA

A definição do percentual de custo de consumo visa demonstrar e informar para o cliente o potencial de redução do custo de energia que será pago à concessionária após a entrada em funcionamento da UF. Mesmo com a implantação do projeto, o cliente continuará a pagar determinadas taxas como o consumo mínimo e a iluminação pública. Portanto, a redução na conta não será integral. A Tabela 10 mostra os valores de consumo mínimo cobrado em função do número de fases do padrão de alimentação da UC.

Tabela 10 – Consumo mínimo cobrado – Distribuidora CEMIG.

Nº de fases	Consumo mínimo (kWh)
Monofásico	30
Bifásico	50
Trifásico	100

Considerando os dados de consumo anual de energia das UC apresentados na Seção 1.1, o custo de energia por kWh e a taxa de iluminação pública praticados pela Distribuidora CEMIG, temos que o Fator de Redução de Custo de anual (FR) para UC1 será de 63,5% e para UC2 será de 41,3% como demonstrado a seguir:

**Dados UC1:**

Consumo de energia anual [KWh] = 2.110 KWh

CM - Consumo mínimo anual bifásico [KWh] = 50 x 12 = 600 KWh

Custo de energia com impostos = R\$ 0,8094 / KWh

TI - Taxa de iluminação = R\$ 16,16

**Cálculo do Fator de Redução:**

$$\text{Custo energia (CE)} = C \times 0,8094 = 2.110 \times 0,8094 = \text{R\$ } 1.707,83$$

$$\text{Custo consumo mínimo (CM)} = 600 \times 0,8094 = \text{R\$ } 485,64$$

$$\text{Custo iluminação (CI)} = Ti \times 12 = 16,16 \times 12 = \text{R\$ } 193,92$$

$$FR = 1 - (\text{CM} + \text{CI}) / (\text{CE} + \text{CI})$$

$$= 1 - (485,64 + 193,92) / (1.707,83 + 193,92)$$

$$= \mathbf{64,2 \%}$$

**Dados UC2:**

Consumo de energia anual [KWh] = 2.249

CM - Consumo mínimo anual trifásico [KWh] = 100 x 12 = 1.200

Custo de energia com impostos = R\$ 0,9218 / KWh

Taxa de iluminação Pública Mensal = R\$ 22,24

**Cálculo do Fator de Redução:**

$$\text{Custo energia (CE)} = C \times 0,9218 = 2.249 \times 0,9218 = \text{R\$ } 2.073,12$$

$$\text{Custo consumo mínimo (CM)} = 1.200 \times 0,9218 = \text{R\$ } 1.106,16$$

$$\text{Custo iluminação (CI)} = Ti \times 12 = 22,24 \times 12 = \text{R\$ } 266,88$$

$$FR = 1 - (\text{Cm} + \text{CI}) / (\text{CE} + \text{CI})$$

$$= 1 - (1.106,16 + 266,88) / (2.073,12 + 266,88)$$

$$= \mathbf{41,3 \%}$$

### 3.2 ANÁLISE DO INVESTIMENTO – PARÂMETROS DE ENTRADA

Nesta seção e sucessivas deste capítulo, a ferramenta utilizada é a planilha “Dimenisonamentomicrogeracao\_v4\_T2.xlsx”. Para a análise do fluxo de caixa e posteriormente a viabilidade do investimento, os dados e parâmetros de entrada são:

- Consumo de Energia;
- Variáveis Financeiras;
- Dados do projeto de dimensionamento da UV;
- Custo do equipamento, instalação e manutenção.

Os dados de entrada Consumo de Energia são a soma do consumo mensal de cada unidade usados na Tabelas 1 da Seção 1.1. Os valores do custo do quilowatt por hora, da taxa de iluminação pública e do consumo mínimo foram determinados pelo média dos valores pagos por cada UC como mostrado na Tabela 11. As UC possuem classificações e tarifações diferentes aplicadas pela concessionaria CEMIG. A UC1 é do tipo bifásico e da UC2 é do tipo trifásico, ambas subclasses Residenciais e modalidade tarifária B1. A Tabela 12 mostra os valores de taxas financeiras utilizadas e a taxa de perda de eficiência anual dos MFV devido a sua degradação com o uso.

Tabela 11 – Dados de entrada: Tarifas.

<b>Tarifas</b>	<b>R\$</b>
Tarifa de energia por KWh	0,8094
Taxa de Iluminação	16,16
Taxa de Consumo Mínimo	50,00

Tabela 12 – Dados de entrada: Taxas.

<b>Taxas</b>	<b>% a.a.</b>
Taxa de reajuste do preço da energia	6
Taxa de reajuste dos valores monetários	6
Taxa de diminuição de eficiência dos módulos	1
Taxa Mínima de Atratividade - TMA*	8

Como parâmetros de entrada relativos ao dimensionamento da UV, o primeiro deles é a radiação no local da UC 1 no valor de 5,27 KWh/m<sup>2</sup>/dia. A fim de determinar a produção da UF em função do MFV definido, foram consideradas as perdas ôhmicas admitidas à cálculo nos cabos em 4%, estimadas as perdas de sombreamento e alinhamento geográfico em 6% cada

uma delas respectivamente. Portanto, a eficiência no sistema  $\varphi$  é de 84%. A Tabela 13 mostra os parâmetros de dimensionamento da UF.

Tabela 13 – Parâmetros de Entrada: Dimensionamento da UF.

Parâmetros do dimensionamento da usina	
<b>Radiação (kWh/m<sup>2</sup> dia)</b>	5,27
Perdas sombreamento	6,0%
Perdas geografia (não alinhado para o norte)	6,0%
Perdas do cabo	4,0%
<b>Radiação considerada (kWh/m<sup>2</sup> dia)</b>	<b>4,43</b>
Eficiência do sistema	84,00%
Módulo fotovoltaico (Wp)	545
Eficiência do módulo	21,30%
Perda de eficiência do módulo por ano	1%
Área do módulo (m <sup>2</sup> )	2,56
Produção por módulo (kWh/ano)	881,05
Número de painéis (mínimo)	4
Potência total de módulos	2.180
Troca dos Inversores (em 10 anos)	R\$ 3.751,0
Área da Usina (m <sup>2</sup> )	10,2
Potência do Trafo - kVA	10

Os custos dos equipamentos foram orçados diretamente do site do fabricante PHB. O valor do kit de equipamentos da UF compreende os 04 MFV, 01 inversor, 01 quadro de proteção CA, cabos CC e toda a estrutura de fixação. O custo de instalação considerado é de R\$ 0,50 por Watt instalado e visa cobrir os gastos como ART, mão-de-obra, outras despesas como aterramento e conexão ao padrão. A manutenção do sistema consiste em realização de limpezas periódicas na frequência de 02 vezes por ano visto que a região apresenta baixo índice de sujidade em geral. Visto que a área da UF é de 10,2 m<sup>2</sup>, será contratada mão de obra que fará a limpeza sob supervisão do proprietário. A Tabela 14 sintetiza os parâmetros de custo mencionados anteriormente.

Tabela 14 – Dados de Entrada: Custos equipamentos, instalação e manutenção.

Projeto - Telhado - Equipamento Escolhidos	
Potência do módulo (Wp)	545
Número de módulos	4
Potência do inversor (kW)	3
Número de inversores	1
Potência dos inversores (kW)	3
Preço do kit	R\$ 8.268
Custo da instalação (R\$ / W)	0,5
Mão de obra (R\$)	R\$ 1.500
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 9.767,61</b>

Limpeza	
Mão de obra - Valor da diária	R\$ 150,00
Número de dias	1
Número de vezes por ano	2
Reajuste no preço por ano	6%
Total	R\$ 300,00

### 3.3 FLUXO DE CAIXA

A planilha "Dimenisonamentomicrogeracao\_v4\_T2.xlsx" calcula o investimento inicial, as despesas e produção de energia em KWh anualizados como mostrado pela Tabela 15. Em seguida é calculado o fluxo de caixa por um período de 10 anos onde verifica-se, como mostrado na Tabela 16, que o fluxo simples se torna positivo entre o 4º e 5º ano e o fluxo descontado entre o 5º e 6º ano.

Tabela 15 – Investimento inicial, despesas e produção.

Ano	Invest. R\$	R\$/kWh	Iluminação pública R\$	Pagamento Mínimo	Despesa Manutenção R\$	Produção kWh
0	9.768	0,81	193,9	486	300	3.524
1	-	0,86	205,6	515	318	3.489
2	-	0,91	217,9	546	337	3.454
3	-	0,96	231,0	578	357	3.420
4	-	1,02	244,8	613	379	3.385
5	-	1,08	259,5	650	401	3.351
6	-	1,15	275,1	689	426	3.318
7	-	1,22	291,6	730	451	3.285
8	-	1,29	309,1	774	478	3.252
9	-	1,37	327,6	820	507	3.219
10	3.751	1,45	347,3	870	537	3.187

Tabela 16 – Fluxo de Caixa.

Fluxo de Caixa	Saldo Acumulado	Fluxo Descont.	Fluxo Descont.	Ano
- 8.190	- 8.190	- 8.190	- 8.190	0
1.672	- 6.518	1.548	- 6.642	1
1.772	- 4.746	1.519	- 5.123	2
1.879	- 2.867	1.491	- 3.631	3
1.991	- 876	1.464	- 2.168	4
2.111	1.235	1.437	- 731	5
2.237	3.472	1.410	679	6
2.372	5.844	1.384	2.063	7
2.514	8.358	1.358	3.421	8
2.665	11.023	1.333	4.754	9
- 926	10.097	- 429	4.325	10

### 3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE

A análise confirma que o investimento é viável pois apresenta um *Payback* simples (PB) de 5,4 anos e *Payback* descontado (PB) de 6,5 anos. O valor presente líquido (VPL) é de R\$ 4.325,00 que representa a soma de todos os fluxos de caixa em 10 anos trazidos para a data de agora, com a Taxa de Mínima de Atratividade (TMA) de 8% e somados ao investimento inicial. O projeto apresenta uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 18,89%. A Tabela 17 mostra os indicadores resultantes da análise de investimento.

Tabela 17 – Análise de Viabilidade.

Análise de Viabilidade	
VPL (TMA = 8%)	R\$ 4.325
TIR	18,89%
Payback Simples	5,4
Payback Descontado	6,5

## 4- Projeto Elétrico

Para a solicitação formal de acesso ao sistema de distribuição de energia da concessionária são necessários formulários específicos, informações da UC que receberá compensação de créditos e documentações que compõem o projeto elétrico da UF. Neste capítulo serão apresentadas as principais documentações de escopo técnico como a planta de localização, os diagramas unifilar, multifilar e o memorial descritivo.

### 4.1 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

A UF será instalada na UC1, localizada na Alameda das Margaridas, município de Jaboticatubas-MG, com acesso pela rodovia MG-010 como mostrado nas Figuras 12 e 13. As coordenadas geográficas são **-19° 29' S** e **-43° 90' W** como mostrado de forma mais detalhada na Figura 14.



Figura 12: Local da instalação da UF, imagem de satélite obtido do Aplicativo Mapas da Apple.

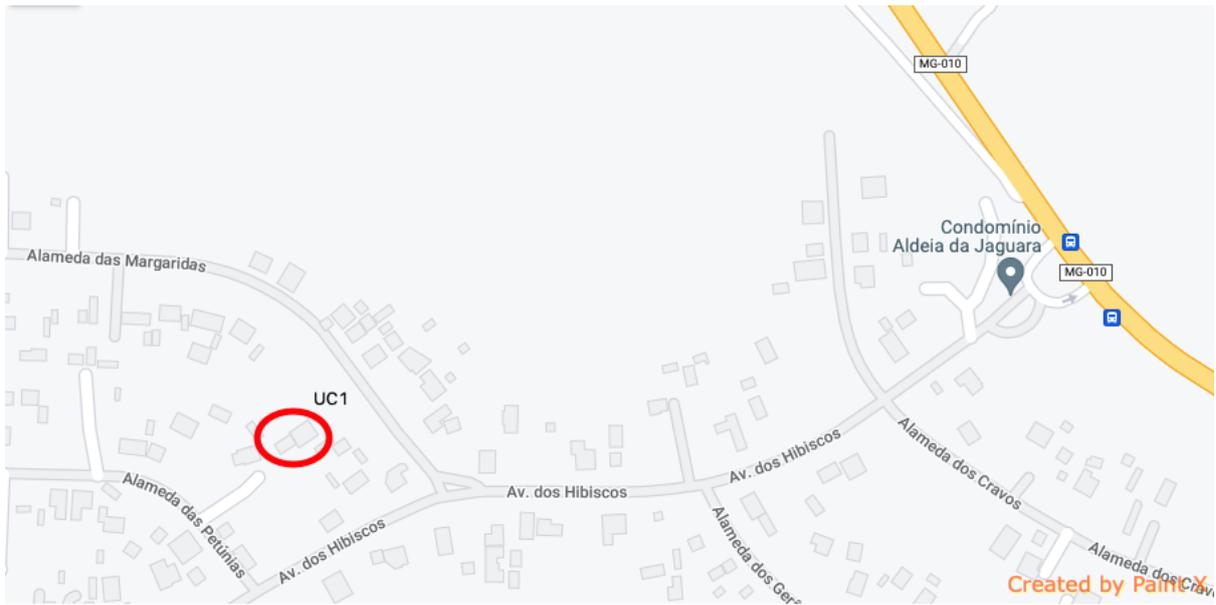


Figura 13: Local da instalação da UF, obtido do Aplicativo Google Maps.

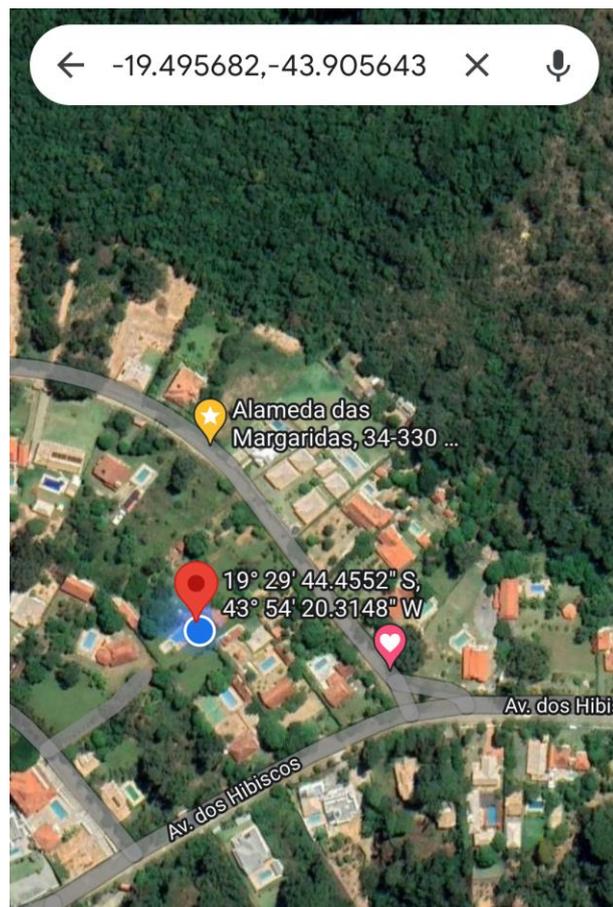


Figura 14: Detalhe do local da UF com as coordenadas geográficas, obtido no Google Maps.

## 4.2 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

O diagrama unifilar da UF consiste na representação simplificada do projeto elétrico, em termos das conexões dos seus componentes, cabos e eletrodutos. Símbolos gráficos são utilizados para representar os diversos componentes destes sistemas. A Figura 15 apresenta a simbologia e a legenda comumente adotada em projetos elétricos fotovoltaicos. Toda planta elétrica deve conter: margem, conforme norma; etiqueta com todas as identificações do proprietário e informações básicas; legenda com a simbologia e especificação técnica; esquema unifilar ou multifilar, quando aplicável; detalhes de montagem, quando necessário; e especificação dos componentes elétricos.

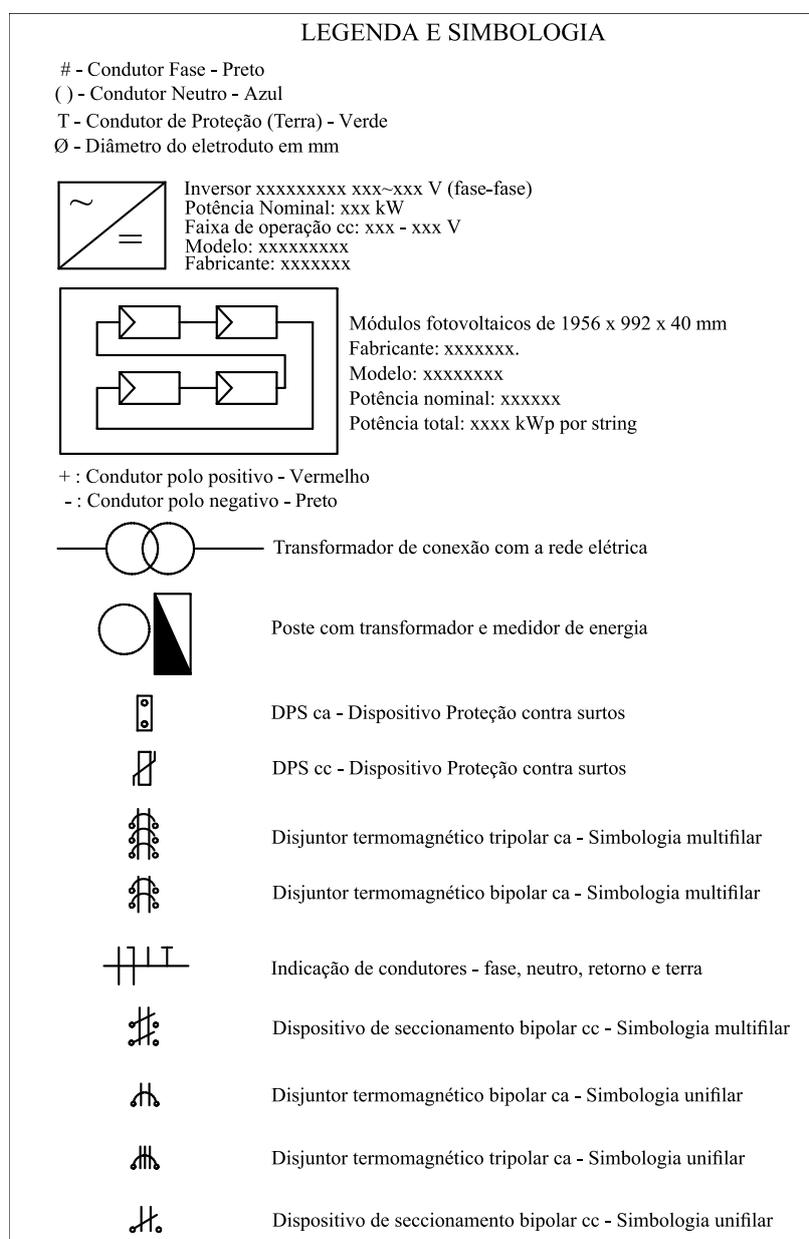


Figura 15: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas.

O medidor de energia será instalado no padrão de entrada UC1, entre o disjuntor de entrada e o ponto de conexão com a rede da concessionária. O sistema de medição de energia deve ser bidirecional, de forma que a energia ativa injetada e a consumida da rede são apuradas, para gerar descontos e créditos na fatura de energia.

Antes da adesão ao sistema de compensação de energia, o padrão de entrada da unidade consumidora deve estar de acordo com as normas das concessionárias competentes. No caso da CEMIG, as normas de distribuição ND 5.1, 5.2 e 5.5 precisam ser atendidas para o acesso à rede de distribuição. A Figura 16 apresenta o padrão de entrada de acordo com as exigências da CEMIG. Caso seja constatado qualquer procedimento irregular do padrão de entrada, ele deve ser readequado.

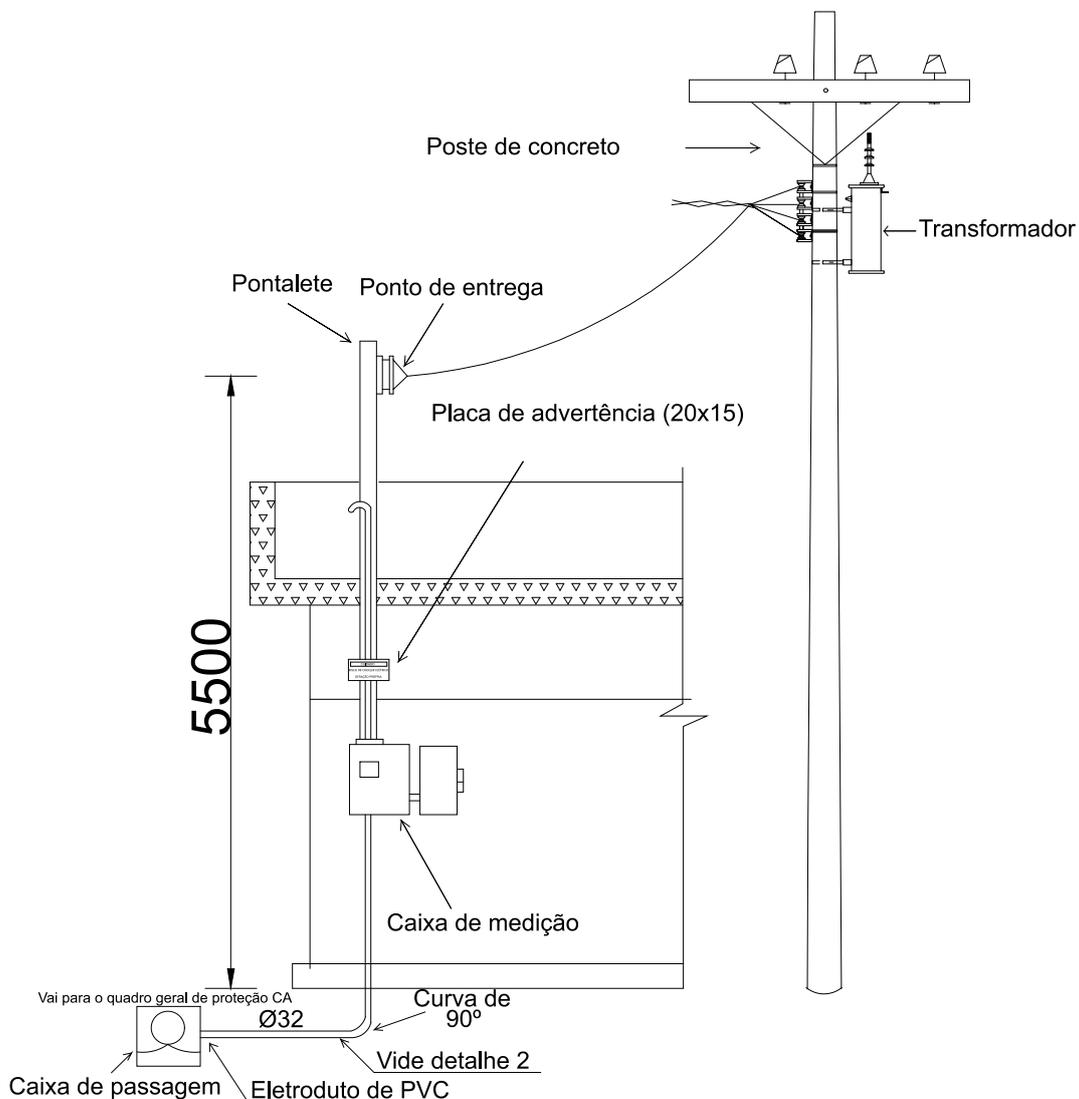


Figura 16: Padrão de entrada com caixa de medição e medidor bidirecional.

Junto ao padrão de entrada de energia, próximo à caixa de medição, será instalada uma placa de advertência conforme mostrado na Figura 17.



Figura 17: Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).

A Figura 18 apresenta o digrama unifilar da UC1 com a instalação da UF e seus componentes. A UC1 é uma instalação elétrica bifásica (2F+N) com tensão fase-fase (ou de linha) de 220 V eficaz. Seguem as principais características do projeto elétrico:

- ✓ Disjuntor bipolar CA de 60 A do padrão de entrada;
- ✓ Carga da instalada existente na unidade consumidora;
- ✓ Condutores CA fase de bitola 16 mm<sup>2</sup> e neutro 10 mm<sup>2</sup>, isolação PVC 500 V em eletrodutos de 32 mm, no padrão de entrada;
- ✓ Medidor de energia bidirecional;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos de 275 V (fase-terra), classe 2, corrente máxima de 40 kA;
- ✓ Condutores CA fase de bitola 4 mm<sup>2</sup>, isolação PVC 500V, dispostos em eletroduto de 1" (conecta a saída CA do inversor ao quadro geral da instalação);
- ✓ Disjuntor Bipolar de 20 A no lado CA da string box;
- ✓ Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 4 mm<sup>2</sup>, isolação XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- ✓ Dispositivo de seccionamento e dispositivo de proteção contra surtos CC, na "string box" lado CC integrada no inversor;
- ✓ Inversor FV 3,0 kW CA, 220V CA, e faixa de operação CC 50-550V, com 01 MPPT;
- ✓ Módulos fotovoltaicos 545 Wp dispostos em 01 "string" de 04 MFV cada, totalizando 2,18 kWp de potência CC instalada.

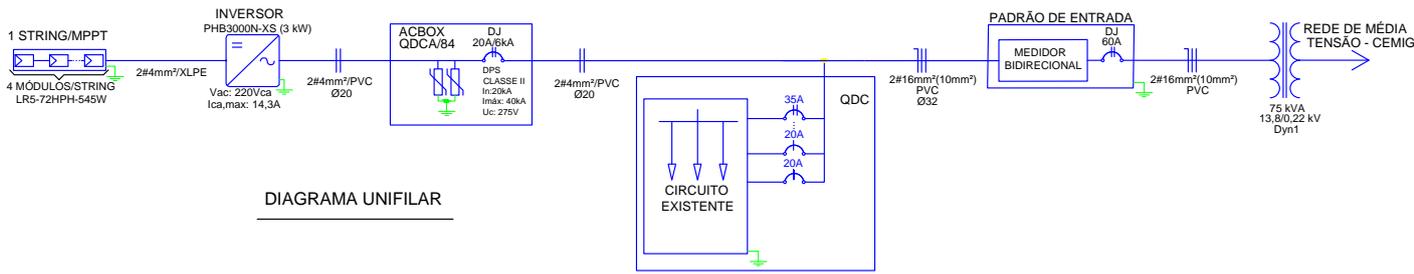


Figura 18: Diagrama unifilar da UC1 após a instalação da usina solar fotovoltaica.

### 4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR

O diagrama multifilar é funcional, visto que apresenta todas as conexões e detalhes do projeto e poderá ser apresentado, caso requerido pela concessionária. A Figura 19 apresenta o diagrama multifilar da UC, com enfoque nas ligações elétricas entre os componentes da UF. As simbologias utilizadas são específicas para o diagrama multifilar como mostradas na Figura 15.

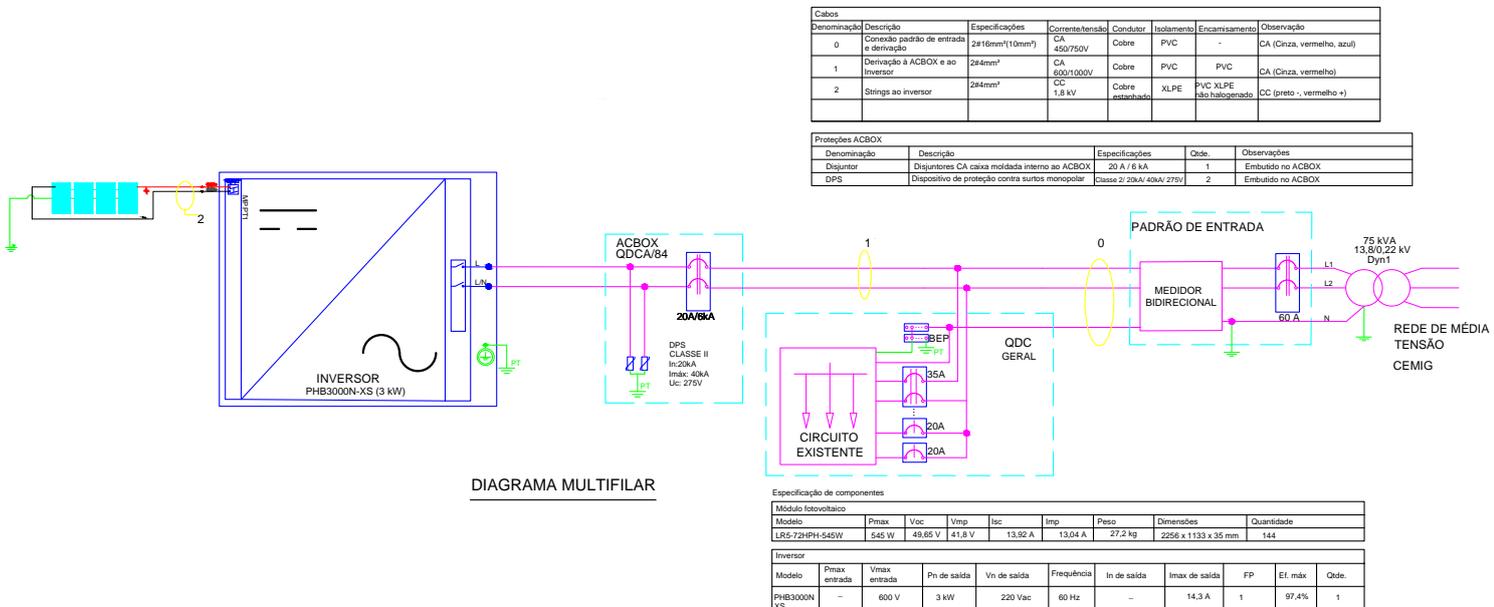


Figura 19: Diagrama multifilar da UC1 após a instalação da usina solar fotovoltaica.

#### 4.4 MEMORIAL DESCRITIVO

O memorial descritivo é um documento elaborado antes de efetuar a instalação da usina solar fotovoltaica, na qual as informações do projeto devem estar descritas de forma detalhada e aprofundada. O objetivo, portanto, consiste em descrever os componentes presentes no sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica em uma unidade consumidora de pessoa física. Os seguintes itens devem ser abordados neste documento:

✓ Dados do projetista, devidamente registrado no Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CREA), e da empresa responsável pelo projeto (se aplicável);

✓ Dados do titular da unidade consumidora e localização da UC (coordenadas geográficas, número da instalação, classe e característica de atendimento). O tipo de atividade desenvolvido na UC também é exigido, isto é, se é uma residência, escritório, escola, comércio, zona rural ou industrial, granja ou outra atividade econômica. O histórico ou média anual de consumo da UC pode ser anexado, em kWh/mês;

✓ Foto nítida do disjuntor do padrão de entrada deve ser anexada ao documento (deve permitir a identificação da corrente nominal do disjuntor);

✓ Descrição detalhada técnica dos módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de fixação, dispositivo de proteção, aterramento e outros componentes pertinentes;

✓ Previsão da produção energética da usina solar fotovoltaica anual;

✓ Anexos: folha de dados dos módulos fotovoltaicos, inversores, certificação de conformidade do inversor, formulário de solicitação de acesso, projeto elétrico e ART.

## 5- Referências Bibliográficas

- [1] Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) [Online].
- [2] Carneiro, Joaquim e Passos, Mário, "SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: FUNDAMENTOS SOBRE DIMENSIONAMENTO" 2020.
- [3] Villalva, Marcelo Gradella, "ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES" 2017.
- [4] PHB. [Online]. Available: <https://www.energiasolarphb.com.br/inversor-monofasico-phb3000-ns.php>.
- [5] Gf2. [Online]. Available: <https://gf2.ind.br/>.
- [6] Creder, Hélio, "Instalações Elétricas", 11a. Edição, 1991.



Coordenadoria de  
Educação Aberta e a Distância