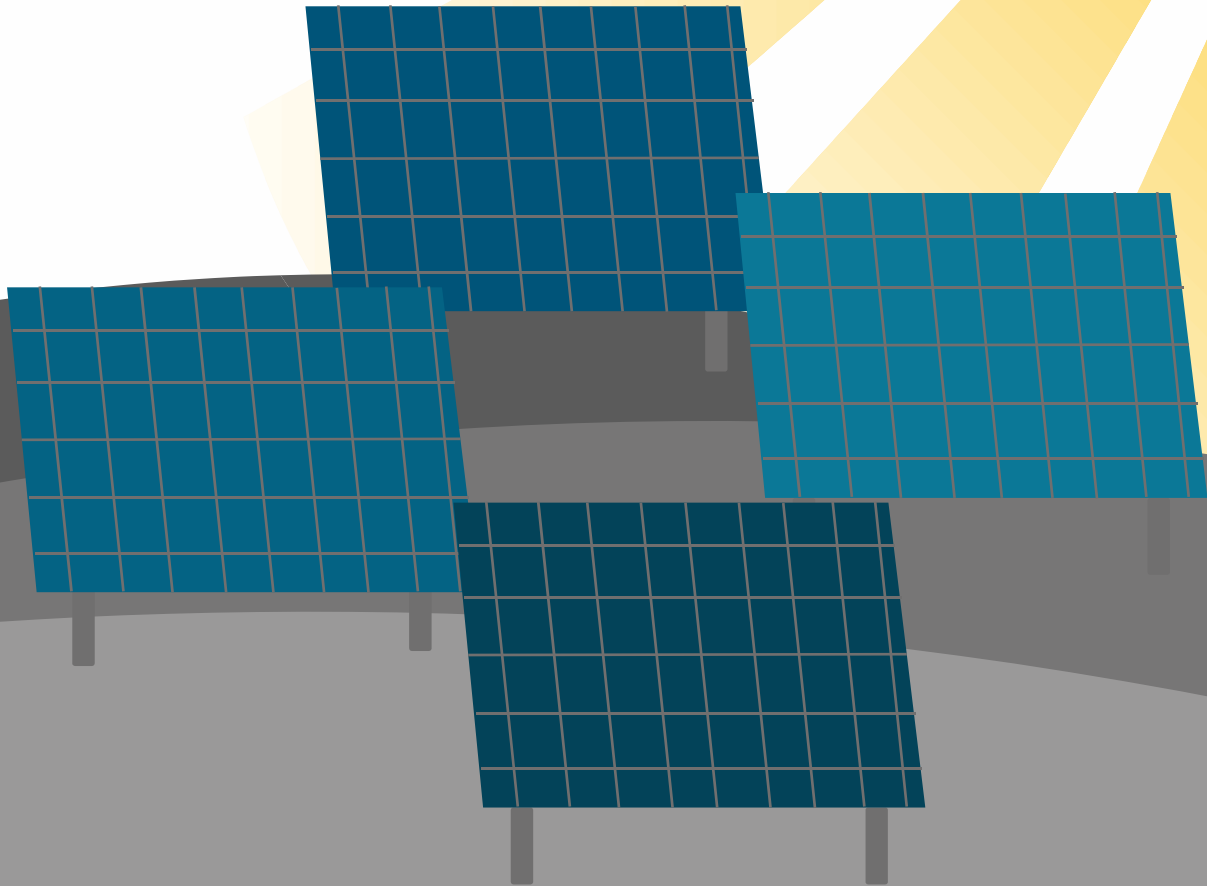




Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



Sistema de Micro Geração Solar Fotovoltaica, de 1,85kWp, conectado à rede de distribuição de baixa tensão, em Barbacena-MG

ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Orestes Gonçalves Junior

ORIENTADOR: Prof. Me. Willian Caires Silva Amorim

Viçosa, 22 de setembro de 2022.

Orestes Gonçalves Junior

Sistema de Micro Geração Solar Fotovoltaica, de 1,85kWp, conectado à rede de distribuição de baixa tensão, em Barbacena-MG

Usina Orestes Gonçalves Junior

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. Willian Caires Silva Amorim

Viçosa, 22 de setembro de 2022.

ATA DE APROVAÇÃO

Orestes Gonçalves Junior

Sistema de Micro Geração Solar Fotovoltaica, de 1,85kWp, conectado à rede de distribuição de baixa tensão, em Barbacena-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 22 de setembro de 2022.

Presidente e Orientador: Prof. Me. Willian Caires Silva Amorim

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Itabirito

Membro Titular: Prof. Me. João Marcus Soares Callegari

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Eng. Diuary Gonçalves

Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A minha esposa Márcia e a meu filho Gustavo, que sempre estiveram junto da minha caminhada, apoiando, incentivando, ajudando, motivando, participando, me fortalecendo e reconhecendo a necessidade de algumas ausências e da dedicação para a finalização do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e persistência para superar os obstáculos. À minha família, principalmente a minha esposa Márcia e ao meu filho Gustavo, por me apoiarem e entenderem a necessidade da minha ausência e da dedicação para que o trabalho fosse finalizado. Ao amigo Otacilio Lotte de Magalhães Junior, que me apresentou e incentivou a realização desta especialização. Aos meus professores por toda paciência e empenho ao passar os ensinamentos e ao meu Orientador, Professor Me. William Caires Silva Amorim, pela paciência e dedicação para que eu conseguisse finalizar este trabalho e pelo conhecimento compartilhado.

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema de microgeração de energia elétrica fotovoltaica, para uso em uma residência, participando do sistema de geração distribuída, apresentando o projeto elétrico, seu dimensionamento e instalação.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado considerando o perfil de consumo do cliente durante um ano, permitindo analisar toda a variação de consumo decorrente da utilização de energia elétrica em situações variáveis ao longo do ano, considerando variações de irradiância solar com as estações do ano.

A unidade consumidora tem um consumo médio mensal de 164kWh/mês, a um custo de R\$1,08 por kW, tendo um custo médio mensal de R\$177,12, mais contribuição para iluminação pública de R\$35,89, gerando um custo mensal médio de R\$213,01.

Com a implementação do sistema de geração fotovoltaica, o custo seria em torno de R\$50,00 de custo de disponibilidade, mais R\$35,89 de iluminação pública, com um custo mensal total de R\$85,89. Uma redução mensal de R\$127,12, ou 59,68%. Além de que o sistema projetado irá gerar 266,63kWh/mês, superior à média de consumo. Esse superávit na geração permitirá ao cliente alterar o seu padrão de consumo, melhorando a qualidade de vida familiar, sem alterar a despesa com energia elétrica.

A energia gerada e entregue à rede é convertida em créditos de energia elétrica e ficam registrados na conta de energia elétrica. Dessa forma a energia gerada e não utilizada na unidade será entregue à rede elétrica da Cemig Distribuição S.A. e os créditos de energia serão utilizados para abater à energia fornecida pela concessionária e utilizada pela unidade consumidora em momentos em que a geração de energia fotovoltaica for insuficiente para suprir o consumo da unidade consumidora.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Sistema Fotovoltaico, Sistemas On-Grid, Microgeração compartilhada.

Lista de Figuras

Figura 1: Histórico de consumo de energia.	15
Figura 2: Imagem de satélite da UC retirada go google <i>maps</i>	17
Figura 3: Local de instalação dos módulos fotovoltaicos, voltados para o norte geográfico.	18
Figura 4: Medidor de energia da UC.....	18
Figura 5: Disjuntor do medidor de energia.....	19
Figura 6: Local de instalação do inversor.....	19
Figura 7: Posicionamento dos módulos fotovoltaicos.....	20
Figura 8: Módulo Fotovoltaico TRINA, TSM-375DE08M(II)	23
Figura 9: Detalhes das hastes de aterramento	34
Figura 10: Equipotencialização do Aterramento	34
Figura 11: Estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos (fonte: aldosolar)	35
Figura 12: Planta de localização	47
Figura 13: Vista de satélite da localização	48
Figura 14: Planta de situação.....	49
Figura 15: Legenda utilizada no projeto	50
Figura 16: Diagrama Unifilar.....	50
Figura 17: Layout do padrão de entrada.....	52
Figura 18: Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).	53
Figura 19: Diagrama multifilar da instalação. Simbologia conforme figura 15.	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Irradiação solar diária média (kWh/m ² .dia), para a cidade de Barbacena.	14
Tabela 2: Irradiação solar diária média (kWh/m ² .dia), para a cidade de Barbacena, considerando o ângulo de inclinação.	14
Tabela 3: Média de consumo	16
Tabela 4: Perdas no sistema fotovoltaico	21
Tabela 5: Irradiância solar (kWh/m ² .dia)	22
Tabela 6: Parâmetros dos módulos fotovoltaicos	23
Tabela 7: Consumo x geração	24
Tabela 8: Parâmetros do inversor Growatt MIC3000TL-X.....	25
Tabela 9: Dimensionamento do disjuntor CA.....	27
Tabela 10: Dimensionamento dos Cabos CC	28
Tabela 11: Método de instalação	29
Tabela 12: Capacidade de condução de corrente.....	29
Tabela 13: Resistência elétrica de cabos de cobre	30
Tabela 14: Dimensionamento dos cabos CA.....	31
Tabela 15: Capacidade de condução de corrente de condutores de cobre	32
Tabela 16: Resistência elétrica de cabos de cobre	32
Tabela 17: Variáveis financeiras	36
Tabela 18: Custos com o sistema de geração fotovoltaica	37
Tabela 19: Projeção de consumo x geração de energia elétrica	37
Tabela 20: Custo com energia elétrica antes da implantação do sistema fotovoltaico	38
Tabela 21: Custo com energia elétrica depois da implantação do sistema fotovoltaico....	39
Tabela 22: Economia com o sistema fotovoltaico	39
Tabela 23: Projeção de custos	40
Tabela 24: Fluxo de Caixa	40
Tabela 25: Variáveis financeiras	41
Tabela 26: Custo do sistema de geração fotovoltaico	42
Tabela 27: Custos anuais com energia elétrica	42
Tabela 28: Relação consumo x geração (%)	43
Tabela 29: Fluxo de Caixa	44
Tabela 30: Análise de fluxo de caixa	44
Tabela 31: Payback e viabilidade do investimento	45

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Irradiação solar diária média (kWh/m ² .dia), para a cidade de Barbacena.	14
Gráfico 2: Irradiação solar diária média (kWh/m ² .dia), para a cidade de Barbacena, considerando o ângulo de inclinação.	15
Gráfico 3: Consumo x Geração (kWh/ano).....	38
Gráfico 4: Fluxo de Caixa	41
Gráfico 5: PayBack simples.....	45
Gráfico 6: PayBack Descontado.....	46

Lista de Abreviação

TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
UV	Usina Fotovoltaica
MFV	Módulo Fotovoltaico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

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
$\eta_{\text{módulo}}$	Eficiência do módulo fotovoltaico
C	Consumo de Energia
N	Número de módulos
P_{inversor}	Potência CC máxima 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
$P_{\text{módulo}}$	Potência do módulo
$I_{n\text{fusível}}$	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.....	15
1.2	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
1.3	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO	20
2-	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	22
2.1	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	22
2.2	DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES	25
2.3	DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO	26
2.4	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.....	27
2.5	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.....	31
2.6	ATERRAMENTO	33
2.7	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	35
3-	Análise de Viabilidade Econômica	36
3.1	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO	37
3.2	ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS	39
3.3	FLUXO DE CAIXA.....	40
3.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE.....	41
4-	Projeto Elétrico	47
4.1	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO.....	47
4.2	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR.....	49
4.3	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR	53
4.4	MEMORIAL DESCRITIVO.....	54
5-	Referências Bibliográficas	56

1- Análise do Local da Instalação

O sistema proposto será montado em uma residência localizada à Rua José Maria de Andrada Serpa, na cidade de Barbacena, em Minas Gerais. A residência possui três moradores e um consumo médio mensal de 164kWh/mês.

Foi analisada a média de consumo de energia, considerando as variações sazonais e periódicas de consumo além de uma probabilidade de aumento no consumo de energia ao longo do tempo.

Identificação da unidade consumidora:

- **Finalidade do projeto:** Geração de energia solar fotovoltaica
- **Cliente:** Orestes Gonçalves Junior
- **CPF:** 682.698.626-49
- **Endereço:** Rua José Maria de Andrada Serpa, 130, CS
- **Bairro:** Diniz II
- **Município e Unidade da Federação:** Barbacena - MG
- **Cep:** 36.202-186
- **Classe:** Residencial trifásico
- **Subclasse:** Residencial
- **Número da Instalação (UC):** 3000756212
- **Coordenadas geográficas:** 21°12'38.7"S 43°46'47.3"W
- **Coordenadas geográficas decimais:** -21.210738530974723, -43.779813218906995
- **Coordenadas geográficas UTM:** Fuso 23, Abscissa (E) 626640, Ordenada (N) 7654041

Utiliza-se como base para análise dos índices de insolação o Município de Barbacena/MG, localizado na região conhecida com Campo das Vertentes, em Minas Gerais.

Localidades próximas

Latitude: 21,210739° S
Longitude: 43,779813° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta		
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez
<input checked="" type="checkbox"/>	Barbacena	Barbacena	MG	BRASIL	21,201° S	43,749° O	3,4	5,45	5,76	4,81	4,30	3,73	3,67	3,77	4,65	4,87	5,09	4,84	5,50	4,69	2,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Barbacena	Barbacena	MG	BRASIL	21,201° S	43,849° O	7,3	5,47	5,79	4,84	4,35	3,78	3,64	3,61	4,72	4,92	5,14	4,91	5,53	4,74	2,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Antonio Carlos	Antonio Carlos	MG	BRASIL	21,301° S	43,749° O	10,5	5,38	5,72	4,77	4,26	3,68	3,54	3,73	4,61	4,83	5,05	4,80	5,52	4,66	2,18

Tabela 1 - Irradiação solar diária média (kWh/m².dia), para a cidade de Barbacena.

Analisando a tabela 1 chegamos a uma irradiação média de 4,74 kWh/m²/dia em uma inclinação de 0°.

Este cenário foi utilizado para a realização dos cálculos.

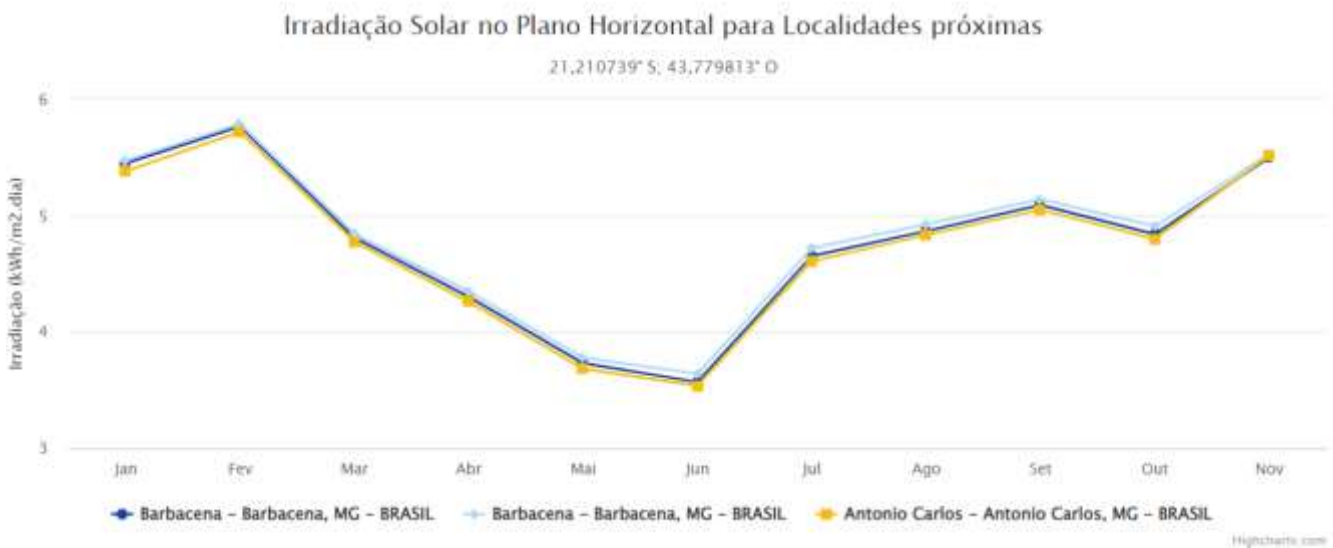


Gráfico 1: Irradiação solar diária média (kWh/m².dia), para a cidade de Barbacena.

Estação: Barbacena
Município: Barbacena, MG - BRASIL
Latitude: 21,201° S
Longitude: 43,749° O
Distância do ponto de ref. (21,210739° S; 43,779813° O): 3,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,45	5,76	4,81	4,30	3,73	3,67	3,77	4,65	4,87	5,09	4,84	5,50	4,69	2,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	21° N	4,97	5,51	4,91	4,78	4,49	4,50	4,68	5,42	5,15	4,97	4,48	4,95	4,90	1,02
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,00	5,53	4,92	4,77	4,46	4,47	4,64	5,40	5,14	4,98	4,51	4,90	4,90	1,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	21° N	4,97	5,51	4,91	4,78	4,49	4,50	4,68	5,42	5,15	4,97	4,48	4,95	4,90	1,02

Tabela 2: Irradiação solar diária média (kWh/m².dia), para a cidade de Barbacena, considerando o ângulo de inclinação.

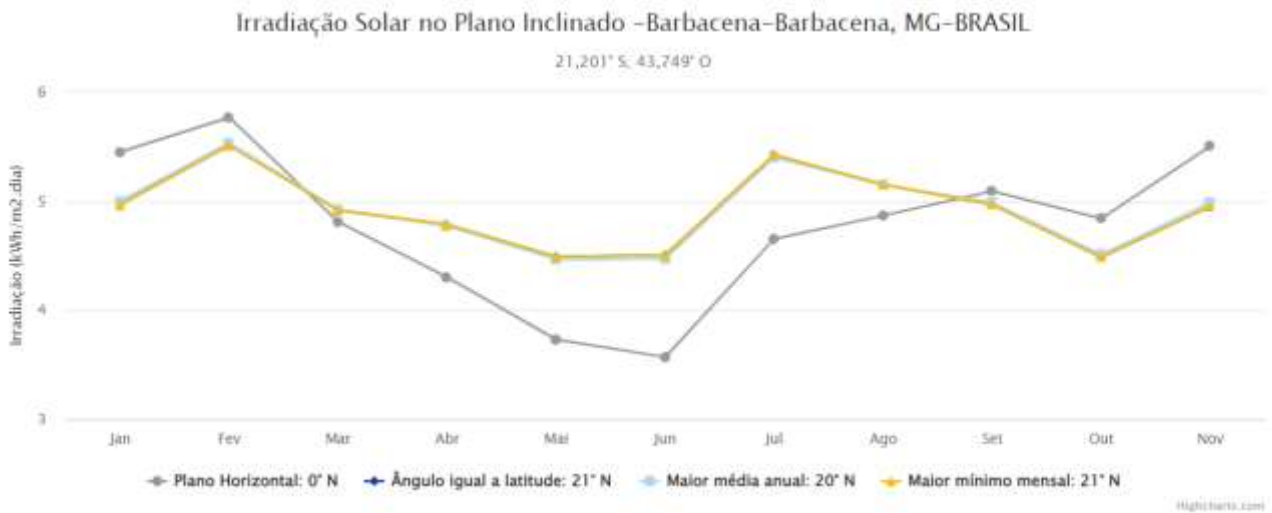


Gráfico 2: Irradiação solar diária média (kWh/m².dia), para a cidade de Barbacena, considerando o ângulo de inclinação.

1.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

O Histórico de consumo de energia elétrica entre setembro/2020 e setembro/2021 é apresentado na Figura 1, que foi recortada da conta de energia elétrica do mês de setembro/2021.

Para o dimensionamento do sistema, foi considerado a média de consumo dos últimos 12 meses e consumo anual, demonstrado na Tabela 3.

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias
SET/21	114	3,45	33
AGO/21	95	3,06	31
JUL/21	126	4,34	29
JUN/21	145	4,53	32
MAI/21	122	4,35	28
ABR/21	152	4,90	31
MAR/21	170	5,31	32
FEV/21	173	6,17	28
JAN/21	185	5,96	31
DEZ/20	159	5,12	31
NOV/20	210	7,00	30
OUT/20	243	8,10	30
SET/20	193	6,03	32

Figura 1: Histórico de consumo de energia.

		Consumo de energia (kWh)	
		Mês	kWh
Ano	Janeiro		185
	Fevereiro		173
	Março		170
	Abril		152
	Maio		122
	Junho		145
	Julho		126
	Agosto		95
	Setembro		193
	Outubro		243
	Novembro		210
	Dezembro		159
Média (mês)			164
Média (dia)			5,4
Consumo anual - kWh			1.973

Tabela 3: Média de consumo

De acordo com os cálculos apresentados na Tabela 3, o consumo médio da residência é de 164kWh/mês, com um consumo anual de 1973kWh/ano. Considerando um consumo diário em torno de 5,4kWh/dia.

1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema será montado à Rua José Maria de Andrada Serpa, Bairro Diniz II, na cidade de Barbacena, em Minas Gerais, cujo mapa de localização foi inserido na Figura 2. As coordenadas da residência são -21.21° de latitude e -43.78° de longitude.

O melhor rendimento do módulo fotovoltaico instalado no hemisfério sul, ocorre quando ele está voltado para o norte e em um ângulo de inclinação que coincida com a latitude da região onde será realizada a instalação. Neste caso, os módulos serão montados no telhado da residência, buscando o melhor rendimento possível.

Será montada uma base de metalon 50x30 em um ângulo de 20°, voltado para o norte geográfico, conforme Figura 3. Os trilhos de fixação dos módulos fotovoltaicos serão montados sobre essa base e alinhados de modo a receberem os módulos na melhor orientação possível.

Como a montagem será sobre o telhado, não haverá obstáculos que provoquem o sombreamento durante todo o período considerado de geração.

O local também proporciona fácil acesso pelo telhado e o próprio proprietário realizará a limpeza dos módulos, no mínimo 5 vezes por ano, ou sempre que achar necessário, de modo a reduzir a perda por sujeira dos módulos.



Figura 2: Imagem de satélite da UC retirada do google maps.



Figura 3: Local de instalação dos módulos fotovoltaicos, voltados para o norte geográfico.

O padrão de entrada da unidade consumidora conta com poste de aço galvanizado, de 4,5m, caixa de medição padrão CM-2, com visor voltado para a calçada da via pública, conforme demonstrado na Figura 4, e disjuntor bipolar de 63A, padrão IEC, visto na Figura 5.



Figura 4: Medidor de energia da UC.



Figura 5: Disjuntor do medidor de energia.

O inversor e o *stringbox* de proteção serão montados na garagem do imóvel, em um local de fácil acesso, que permite fácil visualização e manutenção, em caso de necessidade, bem como religar algum disjuntor que possa ter desarmado por qualquer surto transitório, conforme figura 6.



Figura 6: Local de instalação do inversor.

1.3 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Os módulos fotovoltaicos serão montados no telhado do imóvel, sobre um suporte de metalon. Não há edificações mais altas ou árvores próximas que possam provocar um sombreamento no sistema.

Para a análise da eficiência do sistema, serão considerados as perdas por sombreamento parcial, devido a sujeidade nos módulos fotovoltaicos, uma vez que não foram constatados obstáculos próximos aos módulos.

Além do sombreamento, serão consideradas perdas nos cabos, e perdas por posicionamento geográfico devido ao ângulo horário e à declinação solar de acordo com o horário do dia.

Buscando diminuir o máximo possível o sombreamento provocado por poeira, ou qualquer sujeidade nos módulos, foi acertado com o proprietário a realização de limpeza dos módulos periodicamente, pelo menos 5 vezes ao ano.



Figura 7: Posicionamento dos módulos fotovoltaicos.

Para determinar a eficiência final do sistema seguiremos o descrito na tabela 4.

Parâmetros do dimensionamento da usina	
Irradiação Solar (kWh/m ² dia)	4,74
Perdas sombreamento (sujidade)	2,0%
Perdas geografia (não seguir trajetória solar)	9,0%
Perdas nos cabos	4,0%
Radiação considerada (kWh/m ² dia)	4,03
Eficiência do sistema	85,00%

Tabela 4: Perdas no sistema fotovoltaico

Portanto, será considerado uma eficiência geral de 85%.

2- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Para a realização do projeto de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, é importante primeiramente escolher o tipo de configuração que será utilizada, observar a orientação dos módulos em relação ao caminho solar, a disponibilidade do recurso solar (nível de irradiação solar), a quantidade de energia utilizada, possibilidades de aumento de carga, e diversos outros fatores.

Para analisar a irradiância solar, foram observadas as características de latitude do imóvel e determinando as especificidades de orientação e ângulo de inclinação dos módulos, obtem-se o local de instalação adequado de forma a produzir um melhor rendimento.

Os módulos fotovoltaicos serão dimensionados com base no consumo médio mensal do imóvel. Na conclusão do capítulo 1, a quantidade média mensal de energia elétrica utilizada pelo imóvel é de 164kWh/mês.

Ainda no capítulo 1, tomando como base a localização do imóvel, na cidade de Barbacena, em Minas Gerais e, consultando o site Crecesb/Cepel, verificou-se uma irradiação solar média de 4,74 kWh/m²/dia.

2.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A fonte utilizada para a consulta dos dados é a SunData, e pode ser verificada através de [4].

Para o local onde o sistema será instalado, na latitude - S e longitude - W encontra-se como base para análise mais próxima o próprio município de Barbacena/MG, localizado na região conhecida com Campo das Vertentes, em Minas Gerais.

Analisando a tabela 5, chegamos a uma irradiação média de 4,74 kWh/m²/dia e a de pior caso de 3,57 Wh/m²/dia em uma inclinação de 0° ao norte.

Localidades próximas

Latitude: 21.210730° S
Longitude: 43.779813° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Barbacena	Barbacena	MG	BRASIL	21,201° S	43,749° O		3,4	5,45	5,76	4,81	4,30	3,73	3,57	3,77	4,65	4,87	5,00	4,84	5,50	4,69	2,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Barbacena	Barbacena	MG	BRASIL	21,201° S	43,849° O		7,3	5,47	5,79	4,84	4,35	3,78	3,64	3,81	4,72	4,92	5,14	4,91	5,53	4,74	2,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Antonio Carlos	Antonio Carlos	MG	BRASIL	21,301° S	43,749° O		10,6	5,38	5,72	4,77	4,26	3,68	3,54	3,73	4,61	4,83	5,05	4,80	5,52	4,66	2,18

Tabela 5: Irradiância solar (kWh/m².dia)

Através de pesquisa de mercado, analisando disponibilidade, custo x benefício, representante no Brasil, conformidade às normas brasileiras (ABNT), garantia, rendimento e padrão de instalação, define-se os módulos fotovoltaicos a serem utilizados, que no caso serão os módulos TRINA, modelo TSM-375DE08M(II), conforme figura 8, com 20,5% de rendimento e 375Wp.

Consultando o datasheet do módulo, conforme figura 8, obtém-se as características demonstradas na tabela 6:

DADOS ELÉTRICOS (STC)					
Potência de Pico em Watts- P_{MAX} (Wp) *	360	365	370	375	380
Tolerância de Potência- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Tensão Máxima de Potência- V_{MPP} (V)	33.6	33.9	34.2	34.4	34.7
Corrente de Potência Máxima- I_{MPP} (A)	10.70	10.76	10.82	10.89	10.96
Tensão de Circuito Aberto- V_{OC} (V)	40.7	41.0	41.3	41.6	41.9
Corrente de Curto-Circuito- I_{SC} (A)	11.24	11.30	11.37	11.45	11.52
Eficiência de Módulo η_m (%)	19.6	19.9	20.2	20.5	20.7

STC: Irradiância 1000W/m², Temperatura da Célula 25°C, Massa de Ar AML5
* Tolerância de medição: ± 3%

Figura 8: Módulo Fotovoltaico TRINA, TSM-375DE08M(II)

Parâmetros	Valor
Potência do módulo em condição de testes padrão (STC) [W]	375
Eficiência do módulo fotovoltaico - ϵ [%]	20,5
Área do módulo fotovoltaico [m ²]	1,80
Tensão de circuito aberto [V]	41,6
Tensão de máxima potência [V]	34,4
Corrente de curto-circuito [A]	11,45
Corrente de máxima potência [A]	10,89

Tabela 6: Parâmetros dos módulos fotovoltaicos

Para definir a quantidade de módulos, utilizaremos a seguinte fórmula:

$$E_{md} = \frac{164}{30} \quad E_{md} = 5,47 \text{ kWh/dia} \quad (1)$$

$$N = \frac{E_{md}}{I_m \cdot A \cdot \eta \cdot \varphi} \quad N = \frac{5,47}{4,47 \cdot 1,80 \cdot 0,205 \cdot 0,85} \quad N = 3,90 \quad (2)$$

- N: Número de módulos fotovoltaicos;
 E_{md} : Energia Média Diária;
 I_m : Irradiância média diária (fonte: Crecesb);
A: Área do módulo fotovoltaico;
 η : Rendimento do módulo fotovoltaico;
 ϕ : Fator de perda do sistema;

Para o sistema a quantidade proposta é de 4 módulos fotovoltaicos.

O cliente optou por adquirir 5 módulos, com vistas a um possível aumento de consumo futuro.

A tensão em corrente contínua (Vdc) máxima do sistema, considerando os módulos ligados em série, será de 208V.

Considerando 5 módulos fotovoltaicos de 375wp, teremos uma geração máxima de aproximadamente 1.875Wp.

Desse modo, as características de geração de energia de um string com 5 módulos fotovoltaicos serão:

Descrição	Valor
Potência diária gerada (Wh/dia)	$1875 * 4,74 = 8.887,5$
Potência mensal gerada (Wh/mês)	$8887,5 * 30 = 266.625$
Potência em kWh/mês	$266.625 / 1000 = 266,63$
Área total (m ²)	$1,80 * 5 = 9$

Tabela 7: Consumo x geração

Então tem-se uma geração média mensal de 266,63kWh.

2.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Para a definição de utilização entre inversor ou microinversor foram analisados disponibilidade, custo x benefício, rendimento, conformidade com as normas brasileiras (ABNT), possibilidades de sombreamento no local da instalação, instalação, manutenção, possibilidade de futuro aumento na potência de geração.

Considerando os fatores mencionados, decidiu-se pela utilização do inversor Growatt, modelo MIC3000TL-X, de 3kW, cujas características estão dispostas na tabela 6:

Parâmetros	Valor
Máxima potência em condição de testes padrão (STC) [W]	4200
Máxima tensão CC [V]	550
Faixa de operação SPMP (MPPT) [m ²]	65~550
Tensão CC de partida [V]	80
Corrente CC máxima [A]	13
Número de Strings / Número de SPMP(MPPT)	1/1
Potência CA nominal [W]	3000
Máxima Potência CA [W]	3000
Saída nominal CA [Vca]	180-280
Máxima Eficiência [%]	97,1
Eficiência SPMP (MPPT) [%]	>97,6
Corrente máxima de saída (A)	14,3

Tabela 8: Parâmetros do inversor Growatt MIC3000TL-X.

Para atestar a compatibilidade do inversor, utilizamos os conceitos de que a corrente máxima de entrada do inversor deve ser maior que 110% da corrente máxima dos módulos fotovoltaicos, demonstrada pela fórmula $I_{\max inversor} > 1,1 \times I_{SC \max arranjo}$.

$$I_{\max inversor} > 1,1 \times I_{SC \max arranjo} \quad 13A > 1,1 \times 11,45 \quad 13A > 12,60A \rightarrow OK \quad (3)$$

A tensão máxima suportada pelo inversor deve ser 120% da tensão máxima Voc do conjunto dos módulos fotovoltaicos ligados em série, demonstrado pela fórmula $V_{\max inversor} > 1,2 \times V_{OC \ arranjo}$.

$$V_{\max inversor} > 1,2 \times V_{OC \ arranjo} \quad 550V > 1,2 \times 5 \times 41,6 \quad 550 > 249,60V \rightarrow OK \quad (4)$$

A Potência máxima de entrada suportada pelo inversor deve ser maior que a soma das potências máximas dos módulos fotovoltaicos ligados em série, demonstrado pela fórmula $P_{\max inversor} > P_{\max arranjo}$.

$$P_{\max inversor} > P_{\max arranjo} \quad 4200W > 5 \times 375 \quad 4200W > 1875W \rightarrow OK \quad (5)$$

2.3 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO

Características da Proteção CC

A caixa de conexão CC, conhecida como string-box é o conjunto de componentes responsáveis pela segurança e manobra do sistema. O inversor contará com uma string-box para proteção da string CC, facilitando a manutenção caso necessária e aumentando a segurança do sistema.

Segue abaixo alguns dados deste dispositivo:

- String Box CC: PROAUTO DEHN SB-2E-4E-2S-1010VDC QUADRO 4 ENTRADAS 2 SAIDA 4STR 1000V (2 MPPT)
 - Modelo: SB-2E-4E-2S-1010VDC
 - Índice de proteção mínimo: IP66
 - Chave seccionadora: Corrente continua com corrente nominal mínima de 16A e 1000VDC de tensão nominal mínima
 - DPS: Tensão nominal de 1000VDC, corrente nominal de 20kA, classe II
 - Dimensões: 320×310×170 (mm)
 - Peso: 3,0 kg
 - Dispositivo de Proteção Contra Surto: PROT CONTR SOBRETEN P/ SISTEMAS PV SCI 1000Vdc
 - Modelo DPS: 950530 - DGYPVSCI1000 DEHN
 - Classe de proteção: (conforme a IEC 62103) / Categoria de sobre tensão (conforme a IEC 60664-1) I / III.

Características da Proteção CA

A proteção CA foi calculada baseando-se na corrente máxima de saída do inversor, que é de 14,3A.

Comercialmente, o minidisjuntor bipolar com capacidade de corrente superior a 14,3A mais próximo é de 16A.

Dimensionamento de minidisjuntores		
Dados de entrada para dimensionamento		
Altitude da instalação	1000	m
Temperatura ambiente	20	°C
Número de disjuntores agrupados	1	qtd.
Corrente nominal do condutor fase (Iz)	14	A
Corrente projeto (Ib)	12,17532468	A
Corrente projetada nominal do disjuntor (In)	16	A

Tabela 9: Dimensionamento do disjuntor CA

O sistema contará com uma stringbox para proteção CA em para o inversor, contando com disjuntor de 16A e DPS.

- Disjuntor de proteção: Bipolar de 16A
- Modelo: EAZY9 2P 16A
- Dispositivo de Proteção Contra Surto AC: DPS
- Modelo: Clamper VCL SLIM Classe II
- Tensão de operação: 275 V
- Máxima Tensão de Operação Contínua: 280 Vac
- Disjuntor CA

2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.

A corrente elétrica no circuito CC considerada será a corrente de curto-circuito dos módulos fotovoltaicos, que no caso, é de 11,45A.

As informações foram inseridas na planilha de dimensionamento de cabos CC e CA estão demonstrados na tabela 10.

Dados de entrada para dimensionamento cabo c.c.		Valor	
Método de referência		mp1	
Isolação		XLPE/EPR	
Temperatura ambiente/solo		40	°C
Dados c.c. da usina FV		Valor	Unidade
Potência nominal do módulo fotovoltaico		375	W
Tensão no ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico		34,4	V
Corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico		11,45	A
Número de módulos fotovoltaicos em série		5	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		1875	W
Corrente de projeto da série fotovoltaica		17,175	A
Corrente de projeto do arranjo fotovoltaico		14,3125	A
Distância máxima de cabo da série fotovoltaica		15	m
Distância máxima de cabo do arranjo fotovoltaico		10	m
Queda de tensão admissível no MPP		3	%
Condutividade do cobre em 90° C		44	m/Ohm.mm ²
Dimensionamento do cabo da série fotovoltaica			
Critério seção mínima		2,5	mm ²
Critério da capacidade de condução de corrente		1,5	mm ²
Critério da queda de tensão		2,5	mm ²
Seção final		2,5	mm ²
Dimensionamento do cabo do arranjo fotovoltaico			
Critério seção mínima		2,5	mm ²
Critério da capacidade de condução de corrente		1,5	mm ²
Critério da queda de tensão		1,5	mm ²
Seção final		2,5	mm ²

Tabela 10: Dimensionamento dos Cabos CC

Pelo critério da seção mínima, estabelecido pela norma NBR 5410, para circuitos de força é de 2,5mm².

Pelo critério da capacidade de condução de corrente, de acordo com a norma NBR5410, o método de instalação utilizado é o B1, cabos unipolares instalados em eletroduto sobre parede, conforme tabela 11:

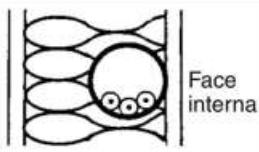

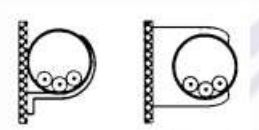
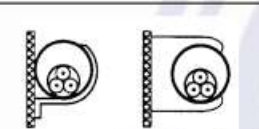
Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2

Tabela 11: Método de instalação

Temos 2 condutores carregados, de cobre instalados pelo método B1, o cabo seria do de 1,5mm², conforme tabela 11:

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39

Tabela 12: Capacidade de condução de correte

Pelo critério da queda de tensão, a queda máxima admissível é de 4%. Para calcular a queda de tensão temos que $\Delta V = Z_c \times I_B \times L$, onde ΔV é a queda de tensão em Volts, Z_c é a impedância do condutor em Ohm/km, I_B é a 150% da corrente de projeto em Amperes, e L é o comprimento total do condutor em km;

Para calcular a impedância do condutor temos que $Z_c = \frac{\Delta V}{I_B \times L}$ então:

A distância L entre os módulos fotovoltaicos e o inversor é de aproximadamente 15m, além disso, foi considerado 10m de cabo para a interconexão entre os módulos.

$$L = \frac{2 \times 25}{1000} \quad L = 0,05 \text{ km} \quad (6)$$

$$I_B = 11,45 \times 1,5 \quad I_B = 17,18 \text{ A} \quad (7)$$

$$Z_c = \frac{\Delta V}{I_B \times L} \quad Z_c = \frac{0,04 \times 172}{17,18 \times 0,05} \quad Z_c = 8,01 \Omega / \text{km} \quad (8)$$

De acordo com a tabela 13, a seção de cabo com resistência ôhmica imediatamente menor que a impedância de 8,01Ω/km é o cabo de 2,5mm².

Seção nominal (mm ²)	Classe encondimento	Diâmetro do condutor (mm)	Espessura da isolamento (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Resistência elétrica 20°C (Ωm/km)	Disponibilidade
0,5	C4	0,9	0,6	2,1	39	Rolo, bobina, carretel
0,75	C4	1,1	0,6	2,3	26	Rolo, bobina, carretel
1	C4	1,3	0,6	2,5	19,5	Rolo, bobina, carretel
1,5	C4	1,5	0,7	2,9	13,3	Rolo, bobina, carretel
2,5	C4	1,9	0,8	3,5	7,98	Rolo, bobina, carretel
4	C4	2,5	0,8	4	4,95	Rolo, bobina, carretel
6	C4	3	0,8	4,6	3,3	Rolo, bobina, carretel

Tabela 13: Resistência elétrica de cabos de cobre

Porém, os cabos fornecidos junto com o kit de instalação dos módulos fotovoltaicos são os cabos Energyflex solar 6mm², com isolamento para 1,8kV e capacidade de condução de corrente de 41A.

Segundo a tabela 12, esses cabos possuem resistência ôhmica de 3,3 Ω/km, portanto, atendem com folga ao projeto:

- Tipo de cabo: Energyflex solar 6mm², com isolamento para 1,8kV.
- Seção do condutor: 6mm²
- Normas: ABNT NBR 20.03-036
- Raio min. de curvatura (mm): 30
- Diâmetro nominal externo: 7,4mm
- Peso aproximado (kg/km): 80
- Cor: Preto e Vermelho

2.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.

A corrente máxima de saída do inversor é de 14,3A.

Colocando as informações na planilha de dimensionamento de cabos CC e CA, chegamos ao cabo de 2,5mm², conforme tabela 14.

Dados de entrada para dimensionamento cabo c.a.		Valor	
Método de referência		m_B1	
Isolação		PVC	
Temperatura ambiente/solo**		20	
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		12,17532468	A
Distância do transformador		30	m
Queda de tensão admissível do ponto de entrega		2	%
Impedância mínima nestas condições		12,04622222	V/Akm
Condutor fase			
Critério seção mínima		2,5	mm ²
Critério da capacidade de condução de corrente		1	mm ²
Critério da queda de tensão		2,5	mm ³
Seção final		2,5	mm ²

Tabela 14: Dimensionamento dos cabos CA.

Pelo critério da seção mínima, estabelecido pela norma NBR 5410, para circuitos de força é de 2,5mm².

Pelo critério da capacidade de condução de corrente, de acordo com a norma NBR5410, o método de instalação utilizado é o B1, cabos unipolares instalados em eletroduto sobre parede, temos 2 condutores carregados, de cobre instalados pelo método B1, o cabo seria do de 1,0mm², conforme tabela 15:

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39

Tabela 15: Capacidade de condução de corrente de condutores de cobre

Pelo critério da queda de tensão, aplicando a fórmula para calcular a impedância do condutor temos que $Z_c = \frac{\Delta V}{I_B \times L}$ então:

$$L = \frac{2 \times 25}{1000} \quad L = 0,05 \text{ km} \quad (9)$$

$$I_B = 14,3 \times 1,5 \quad I_B = 21,45 \text{ A} \quad (10)$$

$$Z_c = \frac{\Delta V}{I_B \times L} \quad Z_c = \frac{0,04 \times 220}{21,45 \times 0,05} \quad Z_c = 8,21 \Omega / \text{km} \quad (11)$$

De acordo com a tabela 16, a seção de cabo com resistência ôhmica imediatamente menor que a impedância de 8,20Ω/km é o cabo de 2,5mm².

Seção nominal (mm ²)	Classe encondimento	Dilâmetro do condutor (mm)	Espessura da isolamento (mm)	Dilâmetro Externo (mm)	Resistência elétrica 20°C (Ohm/km)	Disponibilidade
0,5	C4	0,9	0,6	2,1	39	Rolo, bobina, carretel
0,75	C4	1,1	0,6	2,3	26	Rolo, bobina, carretel
1	C4	1,3	0,6	2,5	19,5	Rolo, bobina, carretel
1,5	C4	1,5	0,7	2,9	13,3	Rolo, bobina, carretel
2,5	C4	1,9	0,8	3,5	7,98	Rolo, bobina, carretel
4	C4	2,5	0,8	4	4,95	Rolo, bobina, carretel
6	C4	3	0,8	4,6	3,3	Rolo, bobina, carretel

Tabela 16: Resistência elétrica de cabos de cobre

Neste caso, o cliente já possuía na obra cabos unipolares de 6mm², com isolamento de PVC para 750V.

Segundo a tabela 16, esses cabos possuem resistência ôhmica de 3,3 Ω/km, atendendo às especificações de projeto então, por uma questão de economia, aproveitamento de material e evitar o desperdício, optamos por utilizar o cabo disponível, uma vez que supera as especificações de projeto.

2.6 ATERRAMENTO

O inversor relacionado no projeto conta com isolação galvânica interna.

Este tipo de isolação se dá quando um lado do circuito é eletricamente desconectado do outro, de modo que não há possibilidade de choque elétrico ou curto-circuito entre eles, no caso, os circuitos CC e CA.

O aterramento interno do inversor também é separado, de forma que o circuito CC é conhecido como ponto flutuante, pois não está conectado ao aterramento da concessionária. Este aterramento diz respeito somente ao circuito interno do inversor.

Todos os módulos e estruturas metálicas a eles conectados ou ao inversor devem ser aterradas, para escoar qualquer descarga atmosférica ou possível falha no isolamento destes componentes.

É um método eficaz de separar os circuitos, prevenindo que correntes indesejadas fluam entre duas seções que compartilham um mesmo aterramento.

A isolação galvânica também é utilizada para segurança evitando assim choques acidentais.

Todo o sistema é devidamente aterrado, e todo o aterramento é equipotencializado ao aterramento do padrão, formando um aterramento do tipo TN-S, conforme figura 9.

As hastes de aterramento e sua interconexão estão de acordo com a norma NBR 5410, conforme figura 10.

Afim de dar a proteção necessária ao sistema ao longo de toda a sua via útil e também aos moradores da residência, demonstrado na figura 11.

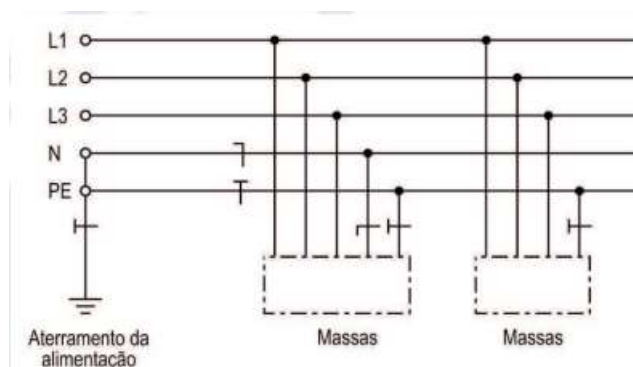


Figura 9: Aterramento TN-S. (fonte: NBR 5410)

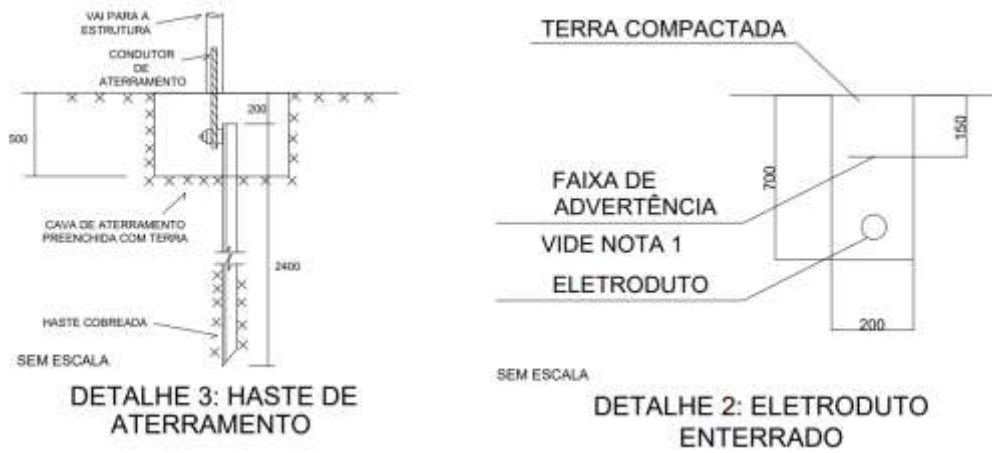


Figura 10: Detalhes das hastes de aterramento

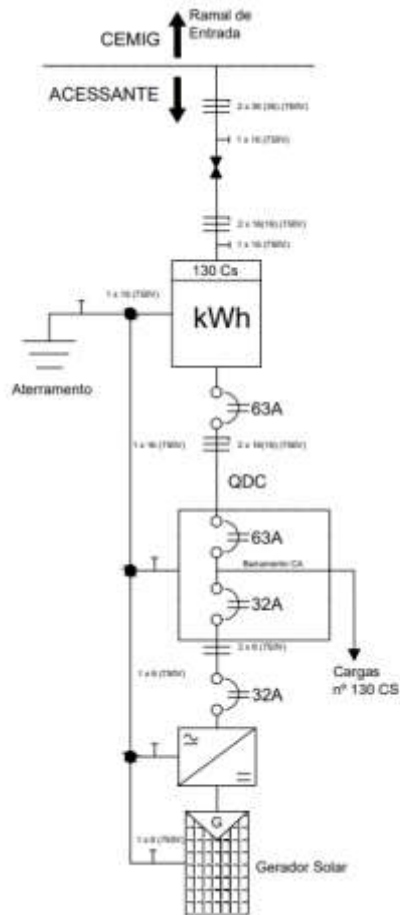


Figura 11: Equipotencialização do Aterramento

2.7 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

Os módulos fotovoltaicos serão fixados através de estruturas metálicas de metalon, montadas sobre o telhado da residência, alinhadas ao pólo norte e em uma inclinação de 20°, sobre os quais serão montados os perfis de alumínio anodizado, de alta resistência, com suportes de aço galvanizado e parafusos em aço inoxidável, da marca Romagnole, visto na figura 12.

Os suportes de alumínio e os acessórios para fixação são fornecidos no kit de geração fotovoltaico.

Serão montadas de modo a otimizar a geração de energia ao longo de todo o ano.

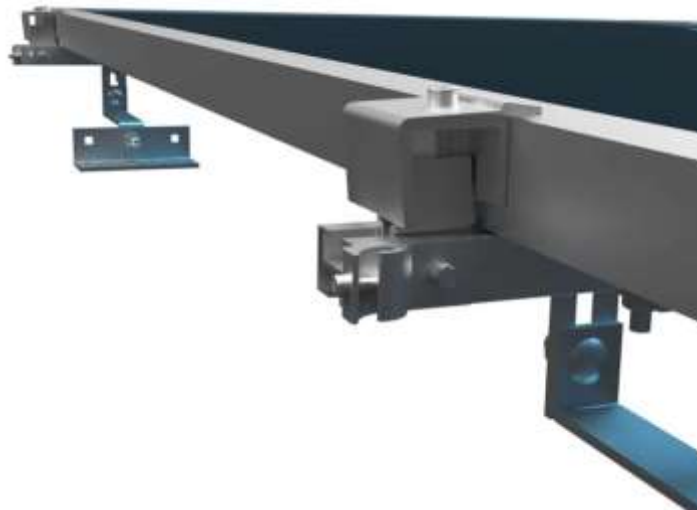


Figura 12: Estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos (fonte: aldosolar)

3- Análise de Viabilidade Econômica

Para a análise de viabilidade econômica, foram considerados o custo do kit fotovoltaico, a manutenção periódica, e a troca do inversor no décimo primeiro ano do sistema.

A limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos será realizada pelo proprietário. Como são 5 módulos, o custo para sua realização não será determinante para a viabilidade do sistema.

Será considerado um reajuste anual de 5% no valor da conta de energia e uma Taxa Mínima de Atratividade de 9%.

A tarifa de energia considerada inicialmente será de R\$1,08, a tarifa de iluminação pública em R\$35,89, o Custo de disponibilidade para o circuito bifásico é de R\$50,00.

Os custos com a concessionária estão resumidos na tabela 17, abaixo.

As despesas com o kit de geração fotovoltaica, a montagem, instalação e homologação junto à concessionária de energia estão dispostos na tabela 18.

Será considerado ainda a substituição do inversor no 11º ano de funcionamento do sistema. Neste caso, será adicionado o valor de R\$2899,00 à despesa no 11º ano de funcionamento do sistema.

Variáveis Financeiras	
Reajuste da conta de energia:	5%
Número de trafos	1
TMA	9%
Tarifa Energia (R\$)	1,08
Iluminação pública (R\$)	35,89
Mínimo - Bifásico	50

Tabela 17: Variáveis financeiras

Item	Descrição	Qte	Valor
1	Módulo Fotovoltaico TRINA TSM-375DE18M(II) de 375Wp	5	R\$5.465,90
2	Inversor Growatt MIC3000TL-X de 3kW	1	
3	Conectores MC4 e Cabo CC Energiflex de 6mm ²	-	
4	Stringbox CC	1	
5	Stringbox CA	1	
6	Estruturas de fixação e acessórios	-	
7	Mão de obra de montagem e homologação	1	R\$1.600,00
Custo Total			R\$7.065,90

Tabela 18: Custos com o sistema de geração fotovoltaica

3.1 PERCENTUAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO

Para a verificação das projeções de geração e consumo, será considerado uma perda de geração nos módulos de 1% ao ano. O Cliente não relatou necessidade de aumento de consumo, mas para efeitos de projeção, vamos considerar um aumento de 2% no consumo anual, conforme visto na tabela 19.

Ano	Consumo (kWh)	Geração (kWh)	Percentual Geração x Consumo (%)
1	1973,00	3199,56	162,17
2	2012,46	3167,56	157,40
3	2052,71	3135,89	152,77
4	2093,76	3104,53	148,28
5	2135,64	3073,49	143,91
6	2178,35	3042,75	139,68
7	2221,92	3012,32	135,57
8	2266,36	2982,20	131,59
9	2311,68	2952,38	127,72
10	2357,92	2922,85	123,96
11	2405,08	2893,63	120,31

Tabela 19: Projeção de consumo x geração de energia elétrica

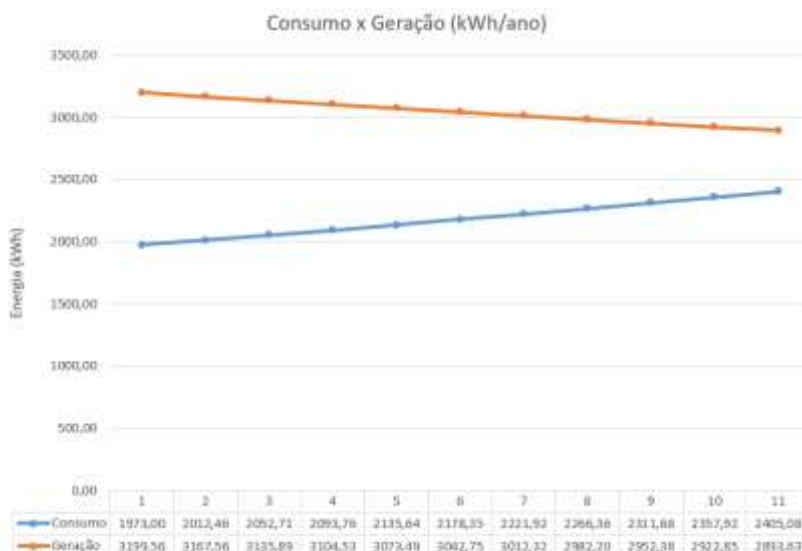


Gráfico 3: Consumo x Geração (kWh/ano)

Analisando a tabela 20, a produção de energia elétrica fotovoltaica está acima do consumo médio do cliente e se manterá assim até o final do período analisado.

Na tabela 21, abaixo, estão descritos o custo com energia elétrica antes da implantação do sistema fotovoltaico. A tabela 20 traz o custo com energia depois da implantação do sistema e a tabela 21 mostra a economia gerada pela utilização da energia fotovoltaica.

Custos antes da implantação do sistema fotovoltaico			
Descrição	kWh/mês	Custo por Kwh	Custo mensal
Consumo médio mensal	164	R\$ 1,08	R\$ 177,12
Contribuição mensal para iluminação Pública			R\$ 35,89
Custo mensal total			R\$ 213,01

Tabela 20: Custo com energia elétrica antes da implantação do sistema fotovoltaico

Custos depois da implantação do sistema fotovoltaico	
Custo de disponibilidade	R\$ 50,00
Contribuição mensal para iluminação Pública	R\$ 35,89
Custo Mensal total	R\$ 85,89

Tabela 21: Custo com energia elétrica depois da implantação do sistema fotovoltaico

Economia mensal	R\$ 127,12
Economia anual	R\$ 1525,44
Redução percentual no custo	59,68%

Tabela 22: Economia com o sistema fotovoltaico

Além da economia imediata, o sistema foi projetado com uma geração muito acima do consumo mensal médio do cliente. Isso foi solicitado pelo cliente, pois pretende adquirir equipamentos de ar condicionado para a residência, além de outros equipamentos para melhorar a qualidade de vida da família e também substituir o uso de gás de cozinha por fogões e fornos elétricos.

3.2 ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS

Os custos com iluminação pública, disponibilidade e projeção de troca de equipamentos estão dispostos na tabela 23, abaixo, considerando uma projeção de 11 anos.

A limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos será realizada pelo próprio proprietário, uma vez que são apenas 5 módulos. Foi acertado com o proprietário que, para um melhor rendimento do sistema, seria necessário realizar a limpeza pelo menos 5 vezes por ano.

Ano	Valor por kWh (R\$)	Valor Iluminação Pública (R\$)	Custo de disponibilidade (R\$)	Despesas com Manutenção (R\$)	Substituição do inversor (R\$)	Despesa total (R\$)
1	1,08	430,68	447,00	0	0	877,68
2	1,13	452,21	469,35	0	0	921,56
3	1,19	474,82	492,82	0	0	967,64
4	1,25	498,57	517,46	0	0	1016,02
5	1,31	523,49	543,33	0	0	1066,83
6	1,38	549,67	570,50	0	0	1120,17
7	1,45	577,15	599,02	0	0	1176,18
8	1,52	606,01	628,97	0	0	1234,98
9	1,60	636,31	660,42	0	0	1296,73
10	1,68	668,13	693,44	0	0	1361,57
11	1,76	701,53	728,12	0	R\$2899,00	4328,65

Tabela 23: Projeção de custos

3.3 FLUXO DE CAIXA

Para análise do fluxo de caixa vamos considerar o investimento inicial no sistema de geração fotovoltaico, o custo anual pela disponibilidade da rede de energia elétrica e iluminação pública, e a economia mensal pela geração de energia elétrica. Também foi considerada a substituição do inversor, projetada para o 11º ano de funcionamento do sistema, conforme tabela 24.

Ano	Despesas Totais (R\$)	Energia Gerada (kWh)	Economia no custo da Energia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	877,68 + 7065,90*	3199,56	3455,52	-4422,16
2	921,56	3167,56	3592,01	2670,45
3	967,64	3135,89	3733,90	2766,26
4	1016,02	3104,53	3881,39	2865,37
5	1066,83	3073,49	4034,71	2967,89
6	1120,17	3042,75	4194,08	3073,91
7	1176,18	3012,32	4359,74	3183,57
8	1234,98	2982,20	4531,96	3296,97
9	1296,73	2952,38	4710,97	3414,24
10	1361,57	2922,85	4897,04	3535,47
11	1429,65 + 2899,00**	2893,63	5090,49	761,84
Total de economia				24113,82

Tabela 24: Fluxo de Caixa

*Compra dos equipamentos e montagem

** Troca do inversor

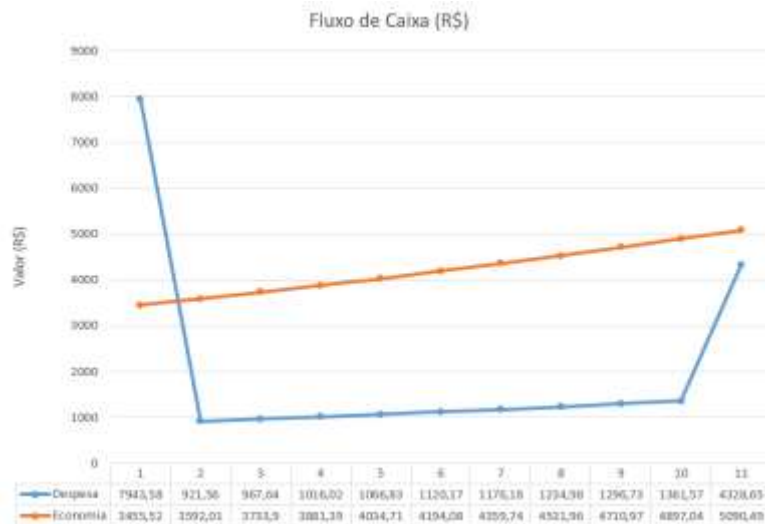


Gráfico 4: Fluxo de Caixa

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE

Para a análise de viabilidade econômica, vamos considerar as variáveis financeiras conforme descrito na tabela 25, abaixo.

Descrição do parâmetro	Valor
Reajuste anual da conta de Energia	5%
Aumento anual no consumo de energia	2%
Perda anual de eficiência dos módulos fotovoltaicos	1%
Tarifa inicial de energia elétrica	R\$1,08
Custo inicial com iluminação pública	R\$35,89
Custo inicial de disponibilidade bifásico	R\$50,00
Troca do inversor no 11º ano	R\$2899,00

Tabela 25: Variáveis financeiras

O Custo do equipamento será considerado conforme tabela 26, abaixo:

	Descrição	Qte	Valor
Kit Fotovoltaico	Módulos fotovoltaicos de 375Wp	5	R\$5.465,90
	Inversor Growatt MIC3000TL-X de 3kW	1	
	Estrutura de alumínio anodizado Romagnole, suportes de fixação e parafusos	1	
	Cabo Energyflex solar 6mm ² , com isolamento para 1,8kV.	20	
	Stringbox com disjuntores para proteção CA e DPS	1	
	Stringbox com fusíveis para proteção CC e chave seccionadora	1	
	Mão de obra para instalação	1	R\$1.600,00
Custo Total			R\$7.065,90

Tabela 26: Custo do sistema de geração fotovoltaico

A manutenção do sistema basicamente se trata da limpeza periódica. Como são poucos módulos e de acesso relativamente fácil, o próprio proprietário fará a limpeza. Foi orientado que a limpeza deve ser executada pelo menos 5 vezes por ano, para uma melhor eficiência do sistema, ou quando este perceber que os módulos estão muito sujos.

Então o custo com a limpeza poderá ser desconsiderado do custo do projeto.

A projeção de custos anuais com energia elétrica está demonstrada na tabela 27, abaixo:

Ano	Valor da Tarifa (R\$)	Iluminação Pública Mensal (R\$)	Iluminação Pública Anual (R\$)	Disponibilidade Mensal (R\$)	Disponibilidade Anual (R\$)	Custo anual (R\$)
1	1,08	35,89	430,68	50,00	600,00	1030,68
2	1,13	37,68	452,21	52,50	630,00	1082,21
3	1,19	39,57	474,82	55,13	661,50	1136,32
4	1,25	41,55	498,57	57,88	694,58	1193,14
5	1,31	43,62	523,49	60,78	729,30	1252,80
6	1,38	45,81	549,67	63,81	765,77	1315,44
7	1,45	48,10	577,15	67,00	804,06	1381,21
8	1,52	50,50	606,01	70,36	844,26	1450,27
9	1,60	53,03	636,31	73,87	886,47	1522,78
10	1,68	55,68	668,13	77,57	930,80	1598,92
11	1,76	58,46	701,53	81,44	977,34	1678,87

Tabela 27: Custos anuais com energia elétrica

A tabela 28 demonstra a projeção da relação consumo x geração da unidade consumidora, em kWh anual por um período de 11 anos.

Ano	Valor da Tarifa (R\$)	Projeção Energia média consumida (kWh)	Projeção Custo anual energia consumida (R\$)	Projeção Energia média Gerada (kWh)	Projeção Economia Gerada (R\$)	Relação Consumo x Geração (%)
1	1,08	1973,00	2130,84	3199,56	3455,52	162,17%
2	1,13	2012,46	2282,13	3167,56	3592,01	157,40%
3	1,19	2052,71	2444,16	3135,89	3733,90	152,77%
4	1,25	2093,76	2617,69	3104,53	3881,39	148,28%
5	1,31	2135,64	2803,55	3073,49	4034,71	143,91%
6	1,38	2178,35	3002,60	3042,75	4194,08	139,68%
7	1,45	2221,92	3215,79	3012,32	4359,74	135,57%
8	1,52	2266,36	3444,12	2982,20	4531,96	131,59%
9	1,60	2311,68	3688,64	2952,38	4710,97	127,72%
10	1,68	2357,92	3950,54	2922,85	4897,04	123,96%
11	1,76	2405,08	4231,03	2893,63	5090,49	120,31%

Tabela 28: Relação consumo x geração (%)

A Tabela 29 demonstra o fluxo de caixa nos próximos 11 anos. No primeiro ano temos um fluxo negativo devido à despesa com os equipamentos e instalação do sistema. A partir do segundo ano a economia com a energia gerada pelo sistema supera as despesas com energia, tornando o saldo positivo. Foi planejado ainda a substituição do inversor no décimo primeiro ano, mas mesmo nessa situação, o fluxo de caixa ainda é positivo para o cliente.

Ano	Despesas Totais (R\$)	Economia no custo da Energia (R\$)	Fluxo de caixa(R\$)
1	8096,58	3455,52	-4641,06
2	1082,21	3592,01	2509,80
3	1136,32	3733,90	2597,58
4	1193,14	3881,39	2688,25
5	1252,80	4034,71	2781,92
6	1315,44	4194,08	2878,64
7	1381,21	4359,74	2978,53
8	1450,27	4531,96	3081,69
9	1522,78	4710,97	3188,19
10	1598,92	4897,04	3298,12
11	1678,87	5090,49	3411,62
Total Economia (R\$)			24773,28

Tabela 29: Fluxo de Caixa

A análise do fluxo de caixa é demonstrada na tabela 30. Para a análise de viabilidade do sistema, é considerado um payback simples em 2,9 anos e um payback descontado em 3,4 anos e a energia gerada a um custo de R\$0,79 por kWh. O que torna o investimento viável.

Nos gráficos 5 e 6 podemos visualizar o Payback Simples e o PayBack Descontado e o retorno do investimento.

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo Acumulado	Fluxo Simples	Fluxo Descontado
1	-4641,06	-4641,06	-4641,06	-4641,06
2	2509,80	-2131,26	2112,45	-2528,61
3	2597,58	466,32	2005,81	-522,80
4	2688,25	3154,57	1904,42	1381,63
5	2781,92	5936,49	1808,05	3189,68
6	2878,64	8815,13	1716,44	4906,12
7	2978,53	11793,66	1629,36	6535,48
8	3081,69	14875,35	1546,59	8082,07
9	3188,19	18063,53	1467,93	9550,00
10	3298,12	21361,65	1393,16	10943,16
11	3411,62	24773,28	1322,12	12265,28

Tabela 30: Análise de fluxo de caixa

Para a análise de PayBack e viabilidade do investimento, foi considerado uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 9%, trazendo o Valor Presente Líquido par R\$13.786,85 e uma Taxa Interna de Retorno de 56,71%, o que torna o investimento rentável ao longo dos anos, sendo que o PayBack descontado, ou seja, descontando o fluxo de caixa futuro, ocorre com 3,4 anos, o que é bastante interessante para o cliente. Demonstrado na tabela 31.

VPL (TMA = 9%)	R\$ 13.786,85
TIR	56,71%
Payback Simples	2,90
Payback Descontado	3,40
LCOE R\$/ kWh	0,79

Tabela 31: Payback e viabilidade do investimento

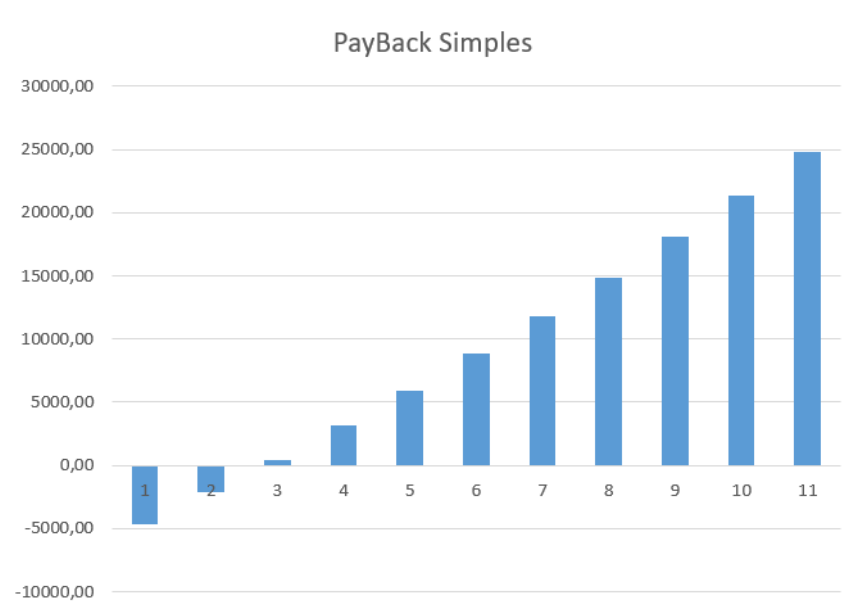


Gráfico 5: PayBack simples

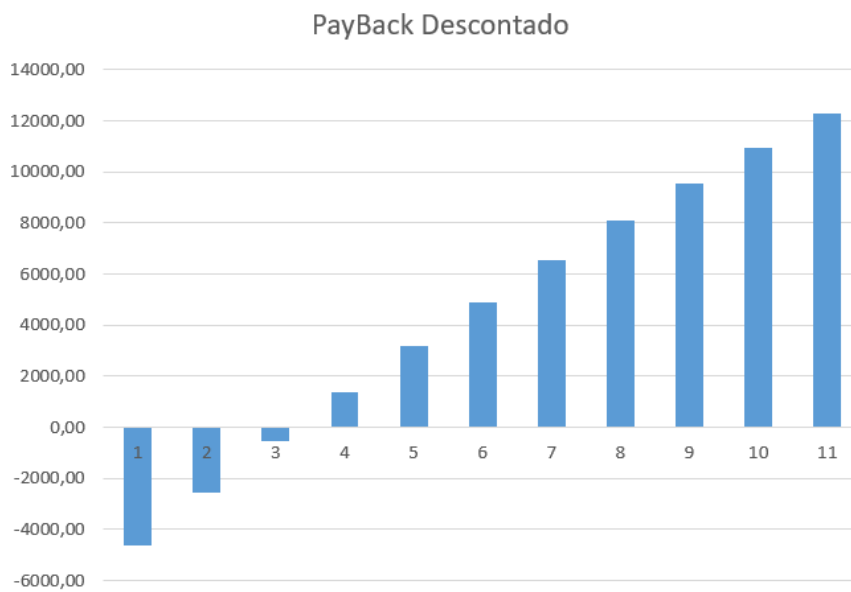


Gráfico 6: PayBack Descontado

4- Projeto Elétrico

Abaixo serão apresentados o projeto elétrico da instalação, constando a planta de localização, o diagrama unifilar, o diagrama multifilar e o memorial descritivo.

4.1 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

A Figura 13 mostra a planta de localização da unidade consumidora, na cidade de Barbacena, em Minas Gerais.

A instalação está situada à Rua José Maria de Andrada Serpa, no bairro Diniz II.

Dados de localização:

- Número da Instalação (UC): 3000756212
- Coordenadas geográficas decimais: -21.210738530974723, -43.779813218906995
- Coordenadas geográficas (latitude e longitude): 21°12'38.7"S 43°46'47.3"W
- Coordenadas geográficas UTM: Fuso 23, Abscissa (E) 626640, Ordenada (N) 7654041

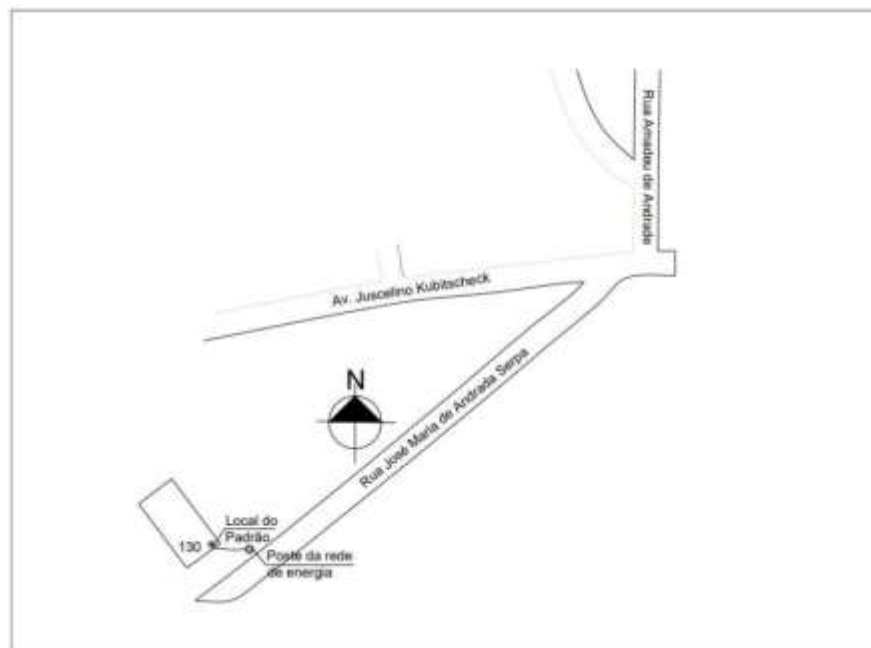


Figura 13: Planta de localização

Na Figura 14 mostra a vista aérea, a partir do Google Maps e a localização da residência está marcada no mapa:



Figura 14: Vista de satélite da localização

A Figura 15 mostra a planta de situação da unidade consumidora, a localização do padrão em relação ao terreno e a localização do poste da concessionária e o ramal de entrada em relação a via pública e ao terreno.

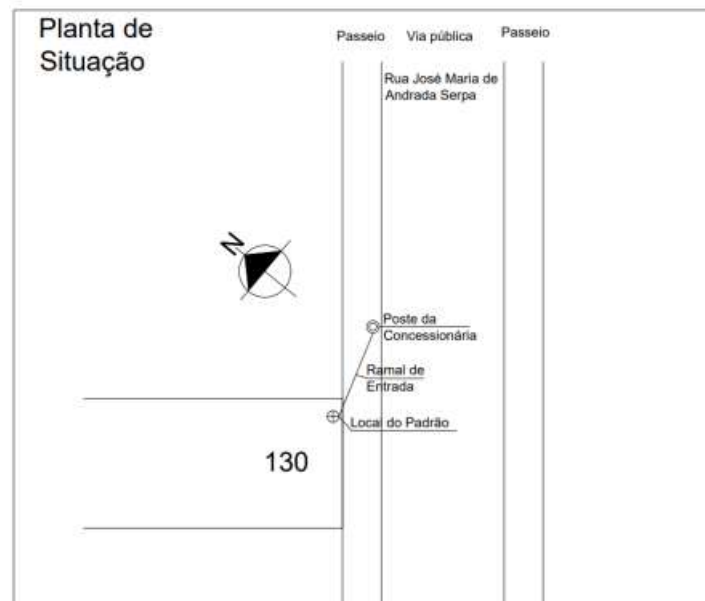


Figura 15: Planta de situação

4.2 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

O diagrama unifilar, além de uma exigência da concessionária, é de extrema importância para o entendimento do projeto, suas proteções, segurança, viabilidade técnica. Esse diagrama representa, de uma maneira simplificada e de fácil entendimento, todo o arranjo final escolhido para o sistema, e as suas interações com a instalação elétrica do cliente e a rede da concessionária.

Na Figura 16 é mostrada a legenda com a simbologia utilizada no projeto.

Na Figura 17 tem-se o diagrama unifilar do sistema proposto.

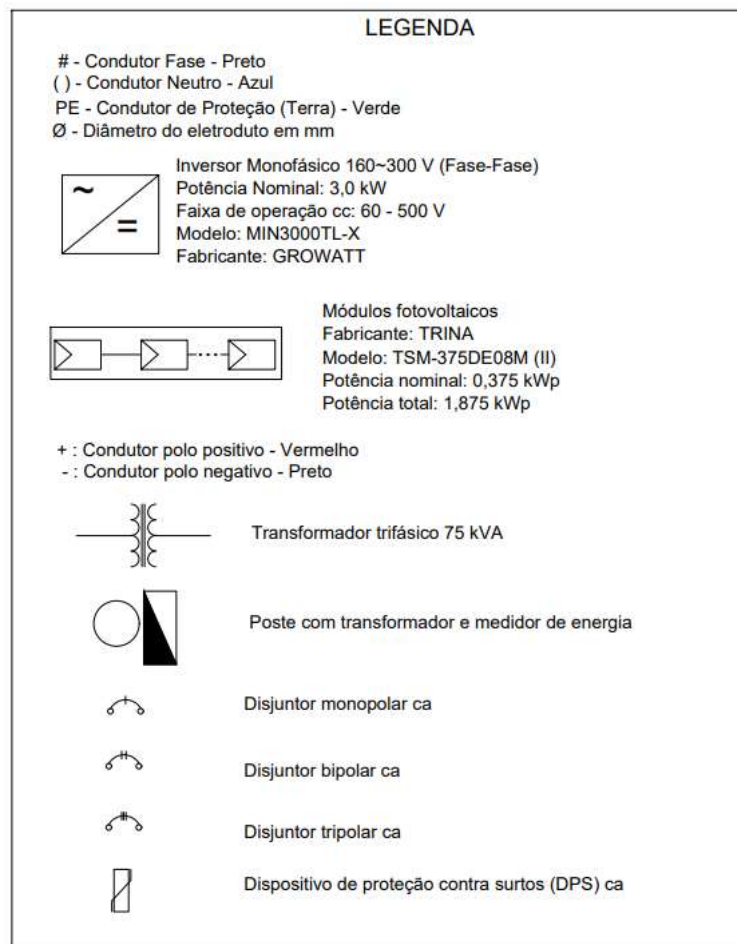


Figura 16: Legenda utilizada no projeto

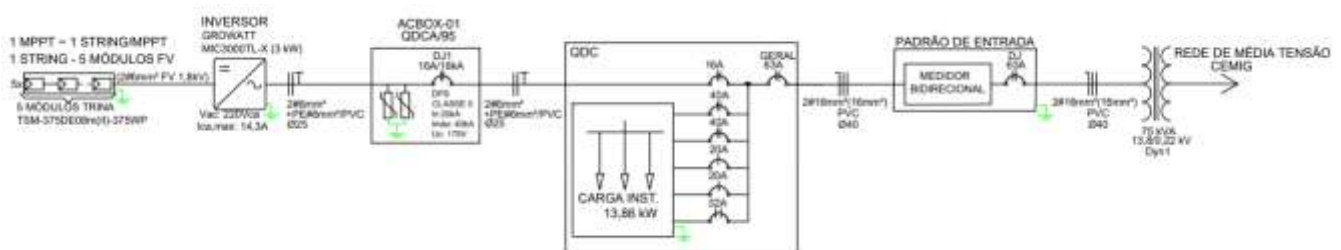


Figura 17: Diagrama Unifilar

O diagrama unifilar, mostrado na figura 17 evidencia todo o sistema fotovoltaico e sua conexão ao sistema elétrico da residência e da concessionária, seu cumprimento a todas as normas e regulamentos técnicos da Cemig.

Abaixo seguem as características do sistema:

- Tensão de linha: 220V;
- Tipo de instalação: 2F + N;
- Disjuntor CA do padrão de entrada: bipolar de 63A, padrão IEC;
- Carga instalada na unidade consumidora: 13,86kW;
- Condutores do padrão de entrada: Todos os condutores de padrão (fase, neutro e aterramento) e do padrão até o quadro de distribuição da residência são de 16mm², com isolamento de PVC para 750V;
- Medidor de energia bidirecional;
- DPS (Dispositivos de proteção contra surtos: 175V, Classe 2, 20kA;
- Condutores CA da usina fotovoltaica: 6mm², com isolamento de PVC para 750V;
- Dispositivo de proteção na stringbox: Disjuntor bipolar de 32A, padrão IEC;
- Disjuntor de proteção no quadro de distribuição: Disjuntor bipolar de 16A, padrão IEC;
- Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 6 mm², isolamento XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- Dispositivo de seccionamento CC: 32 A, tensão máxima de 1000 V de isolamento no lado CC da string box;
- Dispositivo de proteção contra surtos CC de 1000 V, classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20 kA;
- Inversor Fotovoltaico: Growatt MIN3000TL-X, 3 kW, 220V CA, e faixa de operação CC 50-550V, com uma entrada MPPT;
- Módulos fotovoltaicos: TRINA, TSM-375DE08M(II), 375 Wp, ligados em uma string com 5 módulos ligados em série, totalizando 1,875 kWp de potência cc instalada.

O layout do padrão de entrada é importante para representar o modelo do padrão utilizado na residência, a potência, os detalhes da instalação do padrão e sua conformidade às normas da concessionária, que, no caso é a ND5.1 da Cemig Distribuição S.A. O disjuntor de proteção do padrão está representado no diagrama unifilar.

Quando da homologação do sistema de geração fotovoltaica pela concessionária, é instalado um medidor bidirecional, que registra tanto o consumo quanto da geração de energia elétrica entregue à concessionária, de modo a gerar os créditos de energia que serão utilizados.

O Layout do padrão de entrada está demonstrado na figura 18.

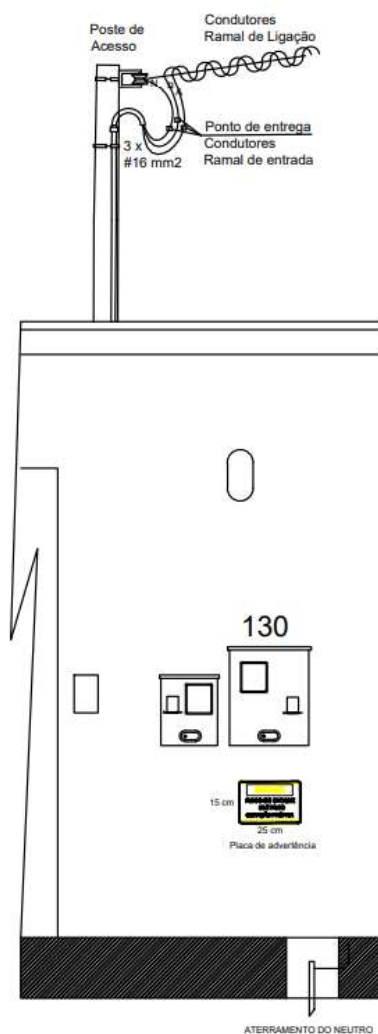


Figura 18: Layout do padrão de entrada.

Abaixo da caixa de Medição, junto ao padrão de entrada deverá ser instalada uma placa de advertência conforme norma ND 5.30 da Cemig Distribuição S.A. mostrado na Figura 19.



Figura 19: Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).

4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR

O diagrama multifilar não é exigido pela Cemig, mas é de extrema importância para a instalação. Nele são modelados os equipamentos, o cabeamento, as conexões, os dispositivos de proteção e todos os componentes do sistema de uma forma mais detalhados.

Sua função também é ajudar o instalador em caso de dúvidas, pois ele traduz fielmente a instalação, mostrando as conexões de forma bem clara e objetiva.

O diagrama multifilar da instalação é demonstrado na Figura 20:

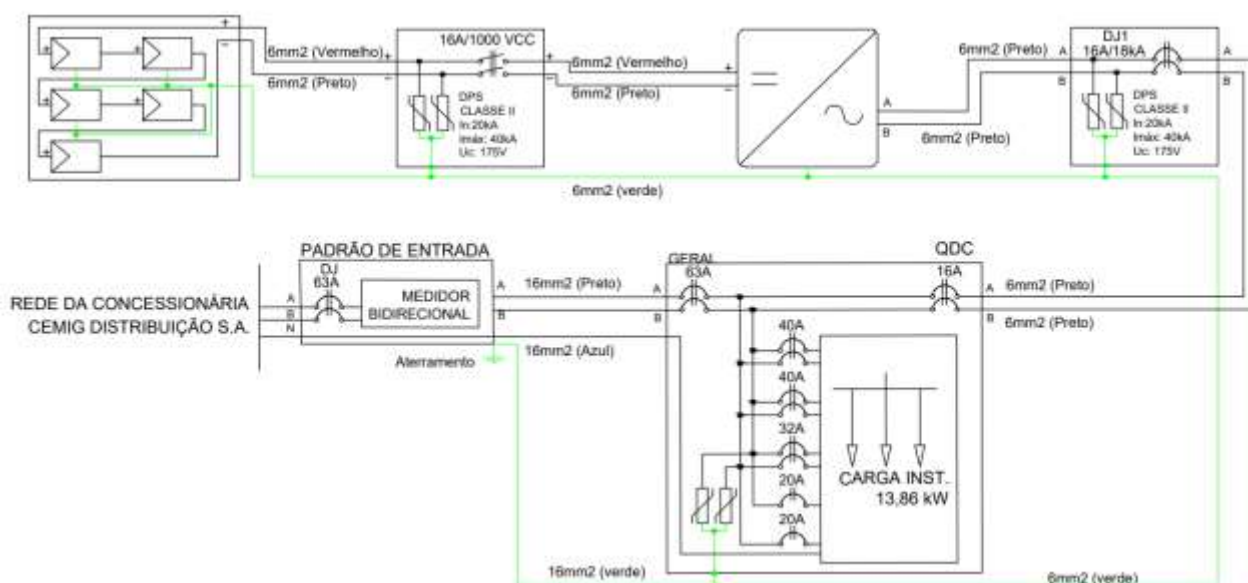


Figura 20: Diagrama multifilar da instalação. Simbologia conforme figura 15.

4.4 MEMORIAL DESCRITIVO

O Memorial descritivo faz parte da documentação exigida pela concessionária para a homologação do projeto. Sua importância também está no fato de o memorial descrever todos os detalhes do projeto, nele constam a identificação do responsável pela instalação, do cliente, o local da instalação, detalhes de acesso e pontos de referência, planta de situação, mapas, cálculos e descrição de todas as normas e documentação utilizada no projeto.

Dados do Projetista:

- Responsável Técnico/Projetista: Orestes Gonçalves Junior
- CREA/MG: 225004
- Anotação de Responsabilidade Técnica: MG20210750600 CREA/MG

Dados do proprietário:

- Proprietário: Orestes Gonçalves Junior
- Endereço: Rua José Maria de Andrada Serpa
- Bairro: Diniz II
- Cidade: Barbacena
- Cep: 36.202-186
- Estado: Minas Gerais

Dados da Unidade Consumidora:

- Número da Instalação (UC): 3000756212
- Coordenadas geográficas decimais: -21.210738530974723, -43.779813218906995
- Coordenadas geográficas (latitude e longitude): 21°12'38.7"S 43°46'47.3"W
- Coordenadas geográficas UTM: Fuso 23, Abscissa (E) 626640, Ordenada (N) 7654041
- Consumo médio mensal: 164kWh/mês
- Consumo médio anual: 1968kWh/ano
- Padrão: Poste de aço galvanizado, modelo PA2 de 4,5m, visto na figura 4
- Proteção do padrão: Disjuntor bipolar de 63A, conforme figura 5

Dados da instalação:

- Fabricante dos módulos fotovoltaicos: TRINA
- Modelo dos Módulos Fotovoltaicos: TSM-375MDE08M(II)
- Potência nominal dos módulos fotovoltaicos: 375Wp
- Quantidade de módulos da instalação: 5
- Potência total de pico: 1875Wp
- Fabricante do inversor: GROWATT
- Modelo do inversor: MIC3000TL-X
- Potência do inversor: 3kW
- Geração mensal: 266,63kWh/mês
- Geração anual: 3199,56kWh/ano

5- Referências Bibliográficas

- [1] Greener, “ESTUDO ESTRATÉGICO MERCADO FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA,” 2019.
- [2] ANEEL, [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>.
- [3] ANEEL, [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/prodist>.
- [4] Sundata.[Online]. Available: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. [acesso em 15/09/2022].
- [5] CEMIG. [Online]. Available: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/manual-solicitacao-acesso.aspx>. [Acesso em 05 09 2018].
- [6] Gf2. [Online]. Available: <https://gf2.ind.br/>.
- [7] Growatt. [Online]. Available: <https://www.ginverter.pt/show-40-640.html>.
- [8] Wladimir, “WR | Prates,” 2016. [Online]. Available: https://www.wrprates.com/o-que-e-vpl-valor-presente-liquido/#Formula_do_VPL. [Acesso em 02 09 2018].



cead_{UFV}

Coordenadoria de
Educação Aberta e a Distância