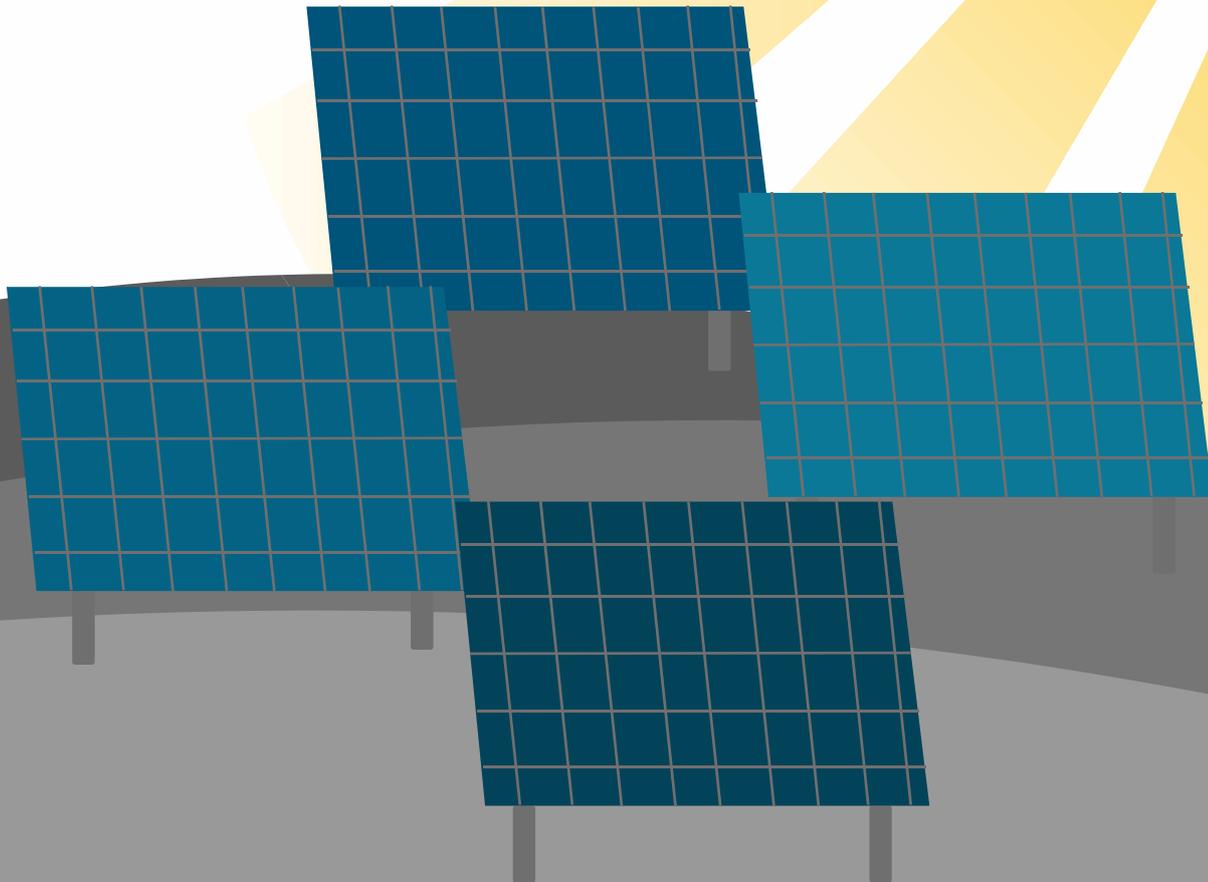


Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



Viabilidade e Projeto para Sistema Fotovoltaico Residencial com 2,7kW, Oliveira (MG)

ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: Lucas Almeida de Jesus
ORIENTADOR: Prof. Me. Rodrigo Cassio de Barros
Viçosa, 05 de setembro de 2022.

Aluno Lucas Almeida de Jesus

Viabilidade e Projeto para Sistema Fotovoltaico Residencial com 2,7kW, Oliveira (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 Cassio de Barros

Viçosa, 08 de setembro de 2022.

ATA DE APROVAÇÃO

Aluno Lucas Almeida de Jesus

Viabilidade e Projeto para Sistema Fotovoltaico

Residencial com 2,7kW, Oliveira (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 08 de setembro de 2022.

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

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Ma. Shirleny Pedrosa Freitas

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Eng. Diuary Gonçalves

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais Marcos e Marilene, que nunca mediram esforços para que eu possa ir em busca dos meus sonhos. Minha namorada Maíra, com quem compartilho a vida há 8 anos, e entende meu esforço desde a faculdade, dedico também a minha equipe de trabalho, onde aprendi muito e me proporcionam o sentimento de ser engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFV e ao GESEP pelo grande serviço prestado, aos professores e colaboradores que fizeram possível a realização desse curso com tamanha qualidade. Aos colegas de turma sempre dedicados e prestativos no auxílio de dúvidas e informações pertinentes, proporcionando uma experiência única de conhecer as peculiaridades da energia fotovoltaica em todos os cantos do país.

RESUMO

Com a necessidade de novas fontes energéticas, o mundo se abre para fontes limpas e renováveis. Vindo em amplo crescimento, a energia solar fotovoltaica apresenta exatamente isso para os usuários, trazendo economia e comodidade. No Brasil, apesar de ser privilegiado com um grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, e com inúmeras empresas prestadoras de serviço de instalação e homologação, tem em suas estatísticas que residências com tal sistema, são a minoria. Este trabalho apresenta o projeto elétrico de um sistema fotovoltaico para um cliente da microgeração residencial com 2,7kW de potência, que será instalado na cidade de Oliveira (MG), onde será demonstrado a viabilidade econômica de uma instalação residencial com consumo relativamente baixo, trazendo um conjunto de baixo custo e retorno financeiro rápido.

Palavras-chave: Projeto, residencial, Sistema Fotovoltaico, viabilidade econômica.

Lista de Figuras

Figura 1 - Média de consumo do cliente.....	13
Figura 2 - Imagem de satélite da UC (<i>Google Earth Pro</i>).....	14
Figura 3 - Medidor de energia da UC e ramal de ligação.....	15
Figura 4 - Disjuntor do medidor de energia.....	15
Figura 5 - Local de instalação do inversor	16
Figura 6 - Local de instalação dos módulos fotovoltaicos.	17
Figura 7 - Geração e consumo do consumidor.....	17
Figura 8 - Inversor Goodwe 3KB-XS.....	20
Figura 9 - Gancho para instalação em telhado colonial.....	23
Figura 10 - Vista por satélite do local de instalação Fonte: <i>Google Maps</i>	30
Figura 11 - Planta de localização.....	31
Figura 12 - Simbologia e legenda utilizada no DUB.	32
Figura 13 - Padrão de entrada de acordo com a ND 5.1 CEMIG.	33
Figura 14 - Placa de advertência que deve ser no padrão de entrada da concessionária com medidas de 25 x 18 cm.....	34
Figura 15 - Diagrama unifilar básico da instalação fotovoltaica.	36
Figura 16 - Vista da UC <i>Google Earth Pro</i>	39
Figura 17 - Unidade consumidora, vista por satélite (<i>Google Earth Pro</i>).....	42

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Custos mínimos e manutenção	25
Tabela 2 - Taxas e reajustes previstos.....	26
Tabela 3 - Dados para fluxo de caixa	27
Tabela 4 - Informações de receitas e despesas	27
Tabela 5 - Fluxo de caixa.....	28
Tabela 6 - Dados sobre o retorno financeiro.....	28
Tabela 7 - Dados do cliente.....	37
Tabela 8 - Dados do responsável técnico.....	38
Tabela 9 - Instalação no Inversor	40

Lista de Abreviação

BEP	Barramento de Equipotencialização
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DUB	Diagrama Unifilar Básico
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
PVC	Policloreto de Vinila
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
UV	Usina Fotovoltaica
MFV	Módulo Fotovoltaico
UC	Unidade Consumidora

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
ε	Eficiência do módulo fotovoltaico
φ	Eficiência do sistema
N	Número de módulos
P_{inversor}	Potência CC máxima do inversor
P_{arranjo}	Potência da <i>string</i>
V_{invmax}	Tensão CC máxima do inversor
I_{inv}	Corrente CC máxima do inversor
I_{isc}	Corrente de curto circuito do módulo
V_{oc}	Tensão de circuito aberto dos módulos
$P_{\text{módulo}}$	Potência do módulo
$I_{n_{\text{fusível}}}$	Corrente nominal do fusível
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.....	17
2-	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	18
2.1	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	18
2.2	DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES	19
2.3	DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO	21
2.4	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.....	22
2.5	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.....	22
2.6	ATERRAMENTO	23
2.7	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO.....	23
3-	Análise de Viabilidade Econômica.....	24
3.1	CONSUMO APÓS A INSTALAÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA.....	24
3.2	ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS 25	
3.3	FLUXO DE CAIXA	26
3.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE	28
4-	Projeto Elétrico.....	30
4.1	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO.....	30
4.2	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR	31
4.3	MEMORIAL DESCRITIVO.....	37
	4.3.1 <i>Dados iniciais</i>	37
	4.3.2 <i>Informações do cliente</i>	37

4.3.3	<i>Informações do responsável técnico</i>	38
4.3.4	<i>Descrição da unidade consumidora</i>	38
4.3.5	<i>Descrição geral da geração distribuída</i>	39
4.3.6	<i>Previsão de produção de energia</i>	41
4.3.7	<i>Planta situação com descrição do padrão de entrada da UC</i>	42
5-	Referências Bibliográficas	43

1- Análise do Local da Instalação

Este capítulo tem objetivo de informar ao leitor sobre o estudo do local de instalação da usina fotovoltaica (UV) do tipo *on-grid*, na rua Goiás, número 340, na cidade de Oliveira-MG, incluindo as análises do consumo de energia da unidade consumidora, descrição da área de instalação, assim como os efeitos de sombreamento e outras perdas no sistema de geração.

1.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

O fornecimento de energia elétrica do cliente é de responsabilidade da concessionária CEMIG, sendo fornecido em rede de baixa tensão 220V entre fases, e tendo o transformador mais próximo à 90 metros de distância da residência.

O histórico de consumo de energia elétrica da residência, considerando o período entre junho de 2021 e junho de 2022, está demonstrado na Figura 1. Com base nos dados, tem-se que a média de consumo do local é de 286 kWh/mês ou 9,50kWh/dia.

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
JUN/22	273	9,10	30
MAI/22	314	9,81	32
ABR/22	244	8,41	29
MAR/22	288	9,60	30
FEV/22	282	9,09	31
JAN/22	314	10,12	31
DEZ/21	251	8,96	28
NOV/21	297	9,28	32
OUT/21	276	9,51	29
SET/21	307	9,90	31
AGO/21	351	10,63	33
JUL/21	278	9,58	29
JUN/21	317	9,90	32

Figura 1 - Média de consumo de energia elétrica do cliente.

1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A Figura 2 apresenta a vista por satélite da unidade consumidora, cuja localização em coordenadas no formato UTM, sendo, zona 23 K, longitude 517634.00 E, latitude 7712333.00 S.

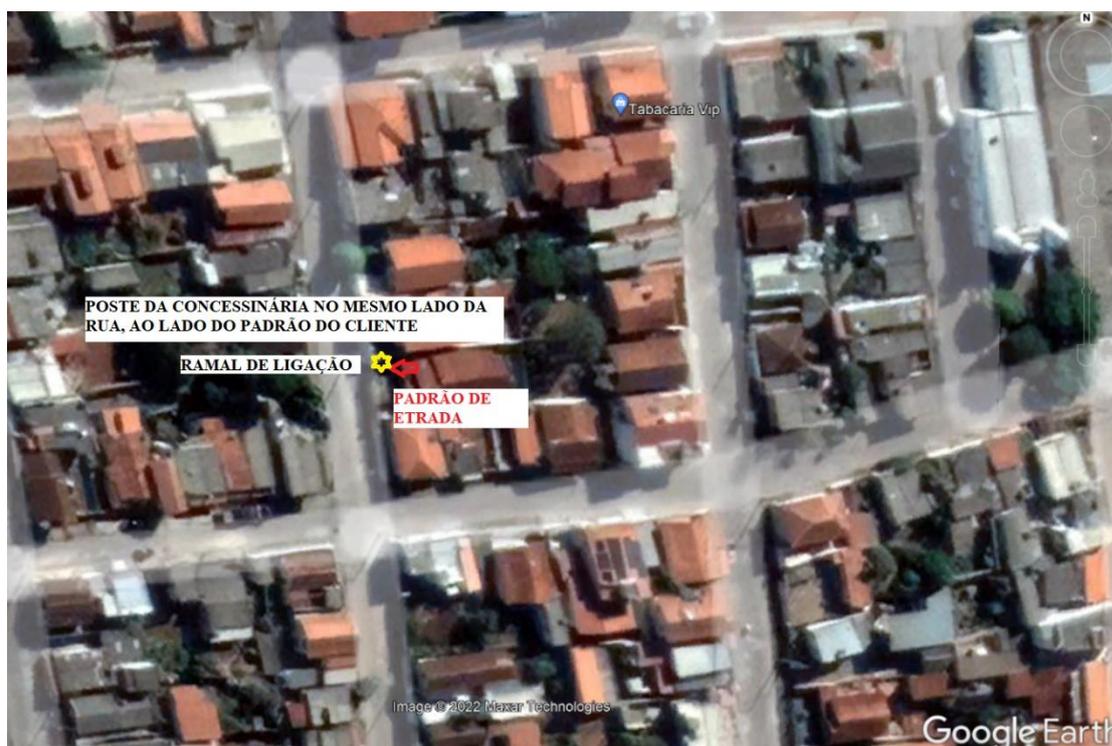


Figura 2 - Imagem de satélite da UC (Google Earth Pro).

O padrão de medição fica na parte externa da residência, conforme exigência da concessionária e mostrada na Figura 3. Tem suas ligações por ramal aéreo, está ao lado do poste de fornecimento da concessionária, a caixa do tipo que é CM-2 apresenta bom estado de conservação.



Figura 3 - Medidor de energia da UC e ramal de ligação.

A Figura 4 representa o disjuntor presente na instalação, um disjuntor Nema, GE bipolar de 60A.



Figura 4 - Disjuntor do medidor de energia.

O local da instalação do inversor proposto é na garagem da residência como mostra a Figura 5, local arejado e com fácil acesso ao telhado tanto para

conexões CC, e também para acesso ao quadro de distribuição para conexões CA.

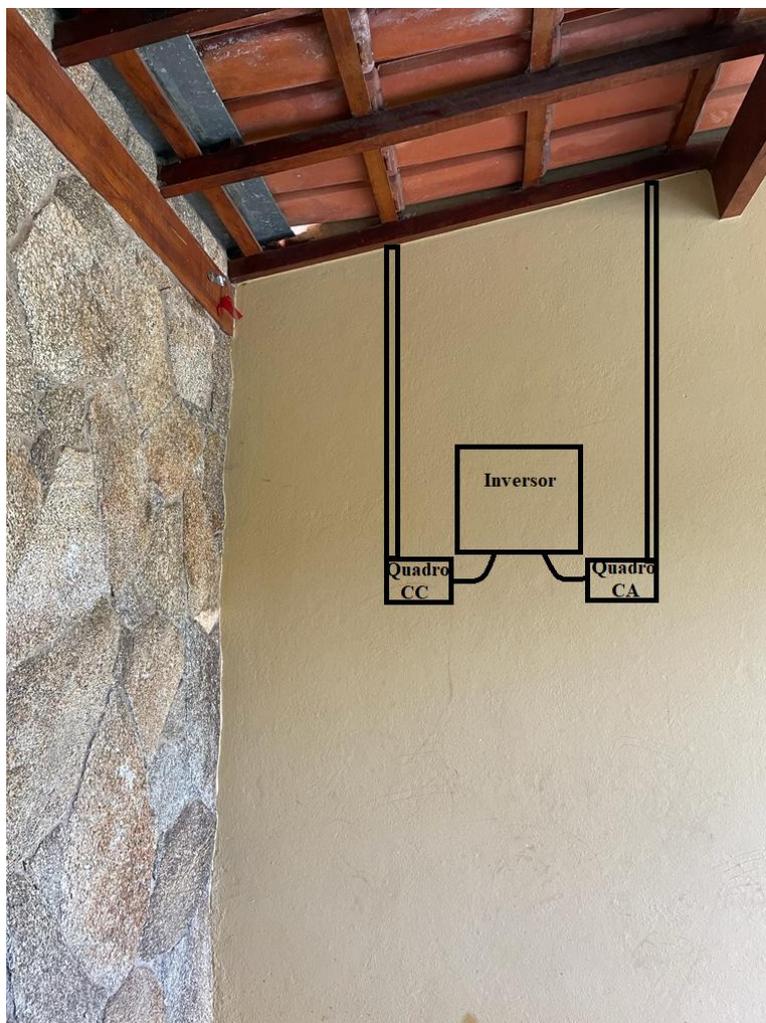


Figura 5 - Local de instalação do inversor.

O local apresenta telhado colonial, com duas águas principais, sendo uma voltada ao norte e outra para o sul. Para instalação em questão, será utilizada a face do telhado voltada ao norte, para melhor desempenho do sistema e obter a melhor geração possível.

O telhado para instalação dos módulos tem inclinação de 20°, tem telhas em cerâmica e estrutura de madeira, como demonstrado na Figura 6, o acesso à instalação será por escada, e o local ainda apresenta um alçapão que facilitará a instalação e conexões abaixo do telhado.



Figura 6 - Local de instalação dos módulos fotovoltaicos.

1.3 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Através de simulações feitas no *software* PVSol, foi possível obter a geração estimada do gerador fotovoltaico proposto para suprir a necessidade do cliente.

A simulação apresentou que o rendimento do sistema será de 83,77%, já calculadas as perdas pela orientação que é de 351° Norte, inclinação do telhado que é de 20° e sombreamento por muros e árvores próximas. Com isso, a usina geradora proposta, irá proporcionar uma geração de 3.788kWh/ano. Que é superior ao consumo no mesmo período de tempo, como observamos na figura 7.

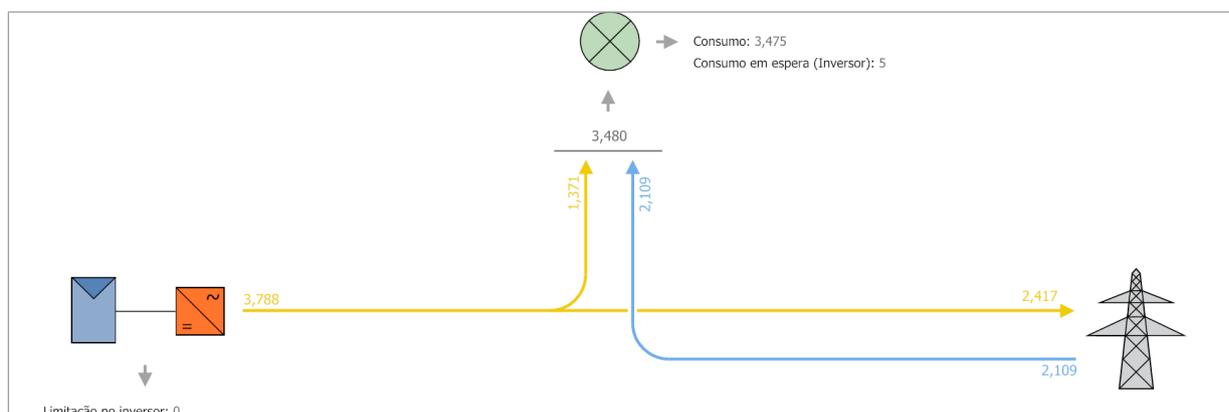


Figura 7 - Geração e consumo do consumidor, obtido pelo *software* PVSol

2- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O atual capítulo tem por objetivo a escolhas dos componentes utilizados na unidade geradora de energia fotovoltaica, sendo demonstrados os critérios de dimensionamento utilizados. Serão definidos o modelo e número dos módulos fotovoltaicos, estruturas de fixação dos módulos, a potência do inversor, dimensionamentos com condutores elétricos CA e CC, dimensionamento dos dispositivos de proteção, além da estrutura utilizada para o aterramento.

2.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo escolhido para o sistema é o modelo do fabricante DAH de 450W com tecnologia Mono Perc e construção de meia célula, a escolha de tal modelo se dá pela alta tecnologia empregada, juntamente com qualidade e ótimo custo-benefício.

Tabela 1 - Parâmetros do Módulo Fotovoltaico modelo DHM72L9 450W do fabricante DAH.

Parâmetros	Valor
Potência do módulo em condição de testes padrão (STC) [W]	450
Eficiência do módulo fotovoltaico - ϵ [%]	20,70
Área do módulo fotovoltaico [m ²]	2,173
Tensão de circuito aberto [V]	49,30
Tensão de máxima potência [V]	42,11
Corrente de curto-circuito [A]	11,35
Corrente de máxima potência [A]	10,61
Tensão máxima do sistema [Vdc]	1500

Considerando a eficiência do sistema como 80%, tem-se:

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

$$W_{\text{modulo}} = 5 \times (2,173) \times 0,2070 \times 0,80$$

$$W_{\text{modulo}} = 1,799 \text{ kWh/dia}$$

Onde W_{modulo} representa a geração de um módulo, a Irradiância local é Irradiância na cidade de Oliveira/MG, que foi obtida através do aplicativo *Estimate*, a eficiência do módulo é definida por ϵ , e φ representa a eficiência do sistema.

O consumo apresentado é de 9,5kWh/dia, com isso podemos obter a quantidade de módulos necessários para suprir a necessidade da residência.

$$\text{Número de módulos} = \frac{9,5}{1,799} = 5,28 \approx 6 \quad (2)$$

Como demonstrado na equação 2, serão necessários 6 módulos com potência de 450W, totalizando uma potência de pico do sistema de 2,7kW.

2.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Para a definição do inversor, deve-se considerar alguns parâmetros de dimensionamento de tensão e corrente e potência máxima de entrada, cujo os cálculos, estão descritos abaixo:

Cálculo de corrente de curto-circuito que o inversor deve suportar:

$$I_{\text{inv}} > 1,1 \times I_{\text{SC}} \quad (3)$$

$$I_{\text{inv}} > 1,1 \times 11,35$$

$$I_{\text{inv}} > 12,485$$

Tem-se que I_{inv} é corrente máxima na entrada do inversor, I_{SC} representa a corrente de curto-circuito.

Afim de se verificar o nível de tensão exigida para o inversor, realiza-se os cálculos representados na equação 4, onde, V_{invmax} , é tensão máxima na entrada do inversor, N representa o número de módulos fotovoltaicos instalados em série, e VOC a tensão de circuito aberto dos módulos.

$$V_{invmax} > N \times VOC \quad (4)$$

$$V_{invmax} > 6 \times 49,3$$

$$V_{invmax} > 295,8V$$

Considerando os cálculos acima, tem-se que o inversor deve suportar uma corrente de entrada superior a 12,49A, uma tensão de entrada maior que 295,8V, e deverá suportar uma potência de 2.700W.

Com isso, o inversor escolhido para o sistema é o Goodwe 3KB-XS, representado na Figura 8, que cumpre todas as exigências dos cálculos acima, apresenta ótimo custo benefício, além de passar segurança, por ser de uma marca reconhecida mundialmente por sua qualidade.



Figura 8 - Inversor Goodwe 3KB-XS.

Tabela 2 -Parâmetros do Inversor Fotovoltaico modelo GW3KB-XS da fabricante Goodwe.

Parâmetros	Valor
Máxima potência em condição de testes padrão (STC) [W]	3000
Máxima tensão CC [V]	600
Faixa de operação SPMP (MPPT) [m ²]	50~550
Tensão CC de partida [V]	50
Corrente CC máxima [A]	13

Número de Strings / Número de SPMP(MPPT)	1/1
Potência CA nominal [W]	3000
Máxima Potência CA [W]	3300
Saída nominal CA [Vca]	207-244
Máxima Eficiência [%]	97,6
Eficiência SPMP (MPPT) [%]	>99,9

2.3 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO

Para a proteção em corrente contínua, será utilizado a string box CLAMPER Solar SB 1-2 E/1S 600V 20A, que acompanha os kits de inversores em diversas distribuidoras no país, apresentando segurança, qualidade de construção e funcionamento, sendo o equipamento o responsável por desempenhar a função de seccionamento do sistema caso seja necessário o desligamento para alguma manutenção junto ao o inversor ou atuando diante de sobrecargas anormais e a proporcionando a proteção dos equipamentos, em especial o inversor, contra raios e surtos elétricos.

Como características e parâmetros, da string box, temos:

Uma entrada CC, uma saída CC, 600 Volts como máxima tensão de operação, máxima corrente por entrada de 32A.

O dispositivo de proteção contra surtos (DPS) apresenta classe II, tecnologia de proteção tipo Varistor de Óxido Metálico, nível de proteção de 2,7kV, tempo de resposta típico menor que 25ns, tensão máxima de operação contínua de 600 Volts, corrente de descarga nominal de 18kA, corrente de descarga máxima 40kA e grau de proteção IP20;

A chave seccionadora foi fabricada conforme a norma IEC 60947-3, apresenta dois polos, corrente máxima de 50A, tensão nominal de isolamento de 1000 Volts, suportando tensão nominal de pulso 8kV, além de grau de proteção IP20.

Todos os dispositivos estão dentro de uma caixa de proteção, que conta com grau de proteção IP65, é fabricada em policarbonato com proteção UV,

apresenta dimensões externas (C x A x P) 308,3mm X 253,3mm X 112,5mm e peso aproximado de 1,8Kg;

No dimensionamento da proteção em corrente alternada poderia ser considerado a instalação de um disjuntor bipolar 16A. Porém o manual do fabricante recomenda para o inversor em questão a instalação de um disjuntor bipolar 25A curva B, logo será obedecida a recomendação do fabricante. O DPS do sistema é embutido no inversor, descrito como tipo III.

2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.

Considerando uma distância de 15 metros entre a conexão com o módulo fotovoltaico, até a entrada do inversor, fica dimensionado através do cálculo de capacidade de transmissão de corrente, utilizando o *software Electrical Calculations*, uma bitola mínima para a seção do condutor CC de 2,5mm². Entretanto, comercialmente no Brasil é muito difícil encontrar condutor específico para energia fotovoltaica menor que 4mm², por tanto será utilizado o cabo com 4mm² devida a sua maior facilidade de obtenção no mercado, além de ser a recomendação dos fabricantes de módulos e inversores.

2.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.

O condutor CA do sistema em questão, tem um circuito com 10 metros de distância, entre o inversor e o quadro de proteção geral da residência, o condutor de cobre terá 4mm², foi dimensionado com auxílio do *software Electrical Calculations através do método de queda de tensão*, essa espessura para o cabo também é a recomendação do fabricante do inversor e será instalado dentro de eletroduto galvanizado exposto, com 3/4" de diâmetro.

2.6 ATERRAMENTO

O aterramento do sistema deve ser equipotencializado com o da residência, como é uma construção antiga, a mesma não apresenta eletrodo de aterramento, ou seja, o aterramento que chega até o quadro de distribuição é o condutor que vem do padrão de entrada da concessionária. Portanto afim de obter os melhores níveis de segurança possíveis para o caso (tendo em vista não ser possível acessar a fundação nem criar um anel para o aterramento), serão instaladas 3 hastes de aterramento em cobre, juntamente com a instalação de um barramento de equipotencialização (BEP) no quadro de distribuição, e interligação com o aterramento da concessionária. O cabeamento de aterramento dos módulos e do inversor terão bitola de 6mm^2 em cobre protegido, o condutor utilizado para interligar as hastes e conectar ao BEP, tem 16mm^2 em cobre nu.

2.7 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

Para a instalação em telhado colonial, o gancho "Hook", como demonstrado na Figura 9, é sempre a melhor opção, devido ao seu formato, ele proporciona uma instalação livre de furos nas telhas, fixação direta à estrutura do telhado além de apresentar boa ventilação traseira aos módulos, o que melhora seu desempenho.



Figura 9 - Gancho para instalação em telhado colonial.

3- Análise de Viabilidade Econômica

O objetivo deste capítulo é verificar a viabilidade econômica da implantação da usina fotovoltaica na residência proposta. A análise financeira depende de vários fatores, desde a forma de pagamento, que pode ser à vista ou financiada, à manutenção periódica da usina, que dependendo das condições do ambiente, podem necessitar de maior frequência de limpeza dos módulos. Apesar de cada sistema ter suas peculiaridades, no geral o retorno financeiro e a viabilidade econômica se apresentam muito atrativos. No fim do capítulo será apresentado um estudo do fluxo de caixa, onde é observado taxa de retorno do investimento e o tempo em que o cliente recupera o valor empregado.

3.1 CONSUMO APÓS A INSTALAÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA

Quando se instala uma usina fotovoltaica em uma unidade consumidora, o modo como a energia é consumida, tem uma pequena mudança, em relação as instalações sem usinas instaladas. Este fato acontece devido ao “consumo instantâneo”, ou seja, o consumo de energia elétrica consumida durante o dia, onde a usina está em plena geração, não é contabilizado pela concessionária, pois o inversor alimenta diretamente os equipamentos, além disso, toda energia gerada que excede o consumo instantâneo é injetada na rede elétrica da concessionária, ficando demonstrada no medidor de energia representada pelo “código 103”.

Por outro lado, durante a noite, quando não existe geração de energia, ou em dias chuvosos, onde a geração de energia do sistema fica bastante reduzida, o consumo de energia do consumidor vem da concessionária de energia, sem nenhuma diferença ou percepção por parte de quem está na residência. Neste contexto, a energia consumida fica registrada no medidor e é representada pelo “código 03”.

No fim do ciclo de leitura, a concessionária subtrai o que foi injetado, pelo que foi consumido, gerando créditos para o consumidor se a injeção foi maior que o consumo, ou cobrando pelo kWh consumido, caso o consumo seja maior que a injeção de energia.

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

Uma unidade consumidora que tem geração própria, já apresenta uma grande economia na fatura de energia elétrica, porém não fica isento de cobranças, e a chamada “taxa mínima” de consumo tem influência direta do retorno financeiro. As taxas da concessionária são basicamente duas, iluminação pública (onde existe sistema de iluminação nas ruas), e a taxa de consumo mínimo, que para clientes com fornecimento bifásico, é de 50kWh, sendo que anualmente essas taxas são reajustadas.

Além disso, apesar de ser um sistema que não demanda de muito tempo de manutenção, o sistema fotovoltaico, assim como qualquer outro bem de consumo, exige alguns cuidados, principalmente limpeza dos módulos e uma inspeção visual com certa regularidade no inversor, o que também tem um custo, já que é necessário contratar um profissional para esse serviço. Na Tabela 3, estão apresentados os custos gerais de uma instalação fotovoltaica, sendo que os custos de disponibilidade e de iluminação pública são pagos para a concessionária de energia, e a manutenção para uma empresa especializada contratada.

Tabela 3 - Custos mínimos e manutenção.

Atividade	Valor
Custo de disponibilidade (1 kWh = R\$ 1,00)	R\$50,00/Mês
Iluminação pública	R\$20,00/Mês
Manutenção da usina (3 vezes ao ano)	R\$25,00/Mês

Para a realização do estudo financeiro relacionado a sistemas fotovoltaicos, as taxas expostas na Tabela 4 são necessárias.

Tabela 4 – Taxas e reajustes previstos.

Taxas	% a.a.
Taxa de reajuste do preço da energia	5
Taxa de reajuste dos valores monetários	5
Taxa de diminuição de eficiência dos módulos	1
Taxa Mínima de Atratividade - TMA*	9

Os valores de reajustes apresentados na tabela, são baseados no histórico dos últimos anos no Brasil, sendo que o valor do kWh de energia pode sofrer maior variação maior caso aconteçam catástrofes climáticas, ou mudanças nas políticas de preço dos governos. A taxa de reajuste dos valores monetários, pode sofrer variações devido a inflação e características de mercado local. O valor de diminuição da eficiência dos módulos varia de acordo com cada fabricante e tecnologia de fabricação dos mesmos, mas as variações não são muito diferentes de 1% ao ano, durante os 20 primeiros anos, como apresentado na Tabela 4. A Taxa mínima de atratividade, corresponde ao mínimo que um investidor se propõe a ganhar, para cálculos de retorno em sistemas fotovoltaicos a TMA utilizada normalmente é de 9%.

3.3 FLUXO DE CAIXA

O custo para instalação do sistema é de R\$ 14.000,00, considerando, os materiais necessários, homologação e instalação.

Na Tabela 5 temos, na primeira coluna o ano, que inicia a contagem a partir da homologação do sistema, na coluna dois, o valor do investimento, que inicialmente é de R\$14.000,00, e podendo acontecer a substituição do inversor no décimo primeiro ano, com um custo de R\$3.000,00, na terceira coluna o custo do kWh na região de homologação do sistema, que como pode-se observar, aumenta anualmente, nas colunas quatro, cinco e seis,

apresentam-se os custos mínimos anuais da usina, que também são reajustados anualmente, e por fim na sétima coluna é apresentada a produção anual de energia elétrica, que tem uma redução anual, devido à queda de eficiência dos módulos, como já foi citado anteriormente.

Tabela 5 - Dados para fluxo de caixa

Ano	Investimento Inicial	R\$/kWh	Iluminação pública R\$	Pagamento Mínimo	Despesa Manutenção R\$	Produção kWh
1	14.000	1	240	600	300	3.935
2	-	1,1	264,6	662	315	3.896
3	-	1,16	277,8	695	331	3.857
4	-	1,22	291,7	729	347	3.818
5	-	1,28	306,3	766	365	3.780
6	-	1,34	321,6	804	383	3.742
7	-	1,41	337,7	844	402	3.705
8	-	1,48	354,6	886	422	3.668
9	-	1,55	372,3	931	443	3.631
10	-	1,63	390,9	977	465	3.595
11	3.000*	1,71	410,5	1.026	489	3.559

*Possível substituição do inversor.

A Tabela 6, apresenta os dados de receita e custos mínimos da usina, considerando os onze primeiros anos, onde podemos observar o acréscimo nas receitas anuais e também o aumento das despesas, de acordo com os reajustes previstos na Tabela 4.

Tabela 6 - Informações de receitas e despesas

Ano	Energia expirada (kWh)	Saldo Energia 5 anos	Receita R\$	Pagamento do Financiamento	Despesa Total R\$
1	-	416	3.519	-	1.140
2	-	792	3.880	-	1.241
3	-	1.130	4.074	-	1.303
4	-	1.429	4.277	-	1.368
5	-	1.690	4.491	-	1.437
6	416	1.274	4.716	-	1.509

7	377	897	4.952	-	1.584
8	338	560	5.199	-	1.663
9	299	261	5.459	-	1.746
10	261	-	5.732	-	1.834
11	223	- 223	6.019	-	1.925

Na Tabela 7, são demonstrados os fluxos de caixa simples e o descontado, onde pode-se observar que a partir do sexto ano, o sistema já se pagou e começa a apresentar lucro.

Tabela 7 - Fluxo de caixa

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo Acumulado	Fluxo Descontado	Fluxo Descontado
1	-R\$ 11.621	-R\$ 11.621	-R\$ 11.621	-R\$ 11.621
2	R\$ 2.639	-R\$ 8.982	R\$ 2.221	-R\$ 9.400
3	R\$ 2.771	-R\$ 6.212	R\$ 2.139	-R\$ 7.261
4	R\$ 2.909	-R\$ 3.303	R\$ 2.061	-R\$ 5.200
5	R\$ 3.055	-R\$ 248	R\$ 1.985	-R\$ 3.215
6	R\$ 3.207	R\$ 2.959	R\$ 1.912	-R\$ 1.302
7	R\$ 3.368	R\$ 6.327	R\$ 1.842	R\$ 540
8	R\$ 3.536	R\$ 9.862	R\$ 1.775	R\$ 2.314
9	R\$ 3.713	R\$ 13.575	R\$ 1.709	R\$ 4.024
10	R\$ 3.898	R\$ 17.474	R\$ 1.647	R\$ 5.671
11	R\$ 1.093	R\$ 18.567	R\$ 424	R\$ 6.094

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE

Como é possível observar nas Tabelas 7 e 8, o sistema é viável e apresenta retorno financeiro atrativo, considerando os primeiros onze anos de funcionamento da instalação, tendo em vista que a usina tem uma garantia de funcionamento de vinte e cinco anos, se não existir algum imprevisto, o lucro obtido será ainda maior, além de trazer benefícios de utilizar uma energia limpa e inesgotável.

Tabela 8 - Dados sobre o retorno financeiro

VPL (TMA = 9%)	R\$ 7.689
TIR	22,07%
Payback simples	5,1 (61 meses)
Payback descontado	6,7 (80 meses)

Na tabela 8, apresentam-se os valores de retorno para o cliente, onde na linha um, tem-se o valor presente líquido, que traz para a data atual todos os fluxos de caixa do investimento, os soma ao valor do investimento inicial, usando como taxa de desconto a TMA do investimento, com isso o retorno de R\$ 7.689,00 é apresentado.

Como já descrito anteriormente, a TMA, que é a taxa mínima de atratividade, representa o mínimo que um investimento deve ser remunerado para que seja considerado viável economicamente, no caso da instalação fotovoltaica, 9% ao ano.

Já a taxa interna de retorno, indica a porcentagem de juros na qual o valor presente líquido (VPL) do investimento é zero, ou seja, a taxa em que o investimento apenas se pagaria, sem considerar lucros adicionais, a taxa apresentada após, os cálculos foi de 22,07%, que representa um retorno considerado muito bom em relação a aplicações em mercados tradicionais.

Por fim, na linha três, temos o resultado em tempo, onde obtem-se o *Payback* simples, que representa o *Payback* calculado sem descontar os fluxos de caixa futuros, apresentando retorno de sessenta e um meses. Na linha quatro apresenta-se *Payback* descontado, que é quando o cálculo utiliza a TMA, com isso tem-se um retorno de 80 meses.

4- Projeto Elétrico

Neste capítulo serão apresentadas as partes do projeto tal qual as concessionárias de energia exigem, sendo o projeto elétrico da usina fotovoltaica, planta de localização, diagrama unifilar, além do memorial descritivo.

4.1 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

O local de instalação é em um bairro residencial na cidade de Oliveira/MG. A Figura 10 mostra a vista de satélite do local, que foi utilizada para realização de simulação em 3D no software PVSol, a imagem original foi obtida através do *Google Maps*, latitude -20.688396° , longitude -44.830607 .



Figura 10 - Vista por satélite do local de instalação Fonte: *Google Maps*.

Na Figura 11 fica demonstrada a planta de localização da unidade consumidora, detalhando pontos importantes, como a localização dos módulos,

o padrão de entrada e a conexão com a rede da concessionária, além das coordenadas geográficas do local.

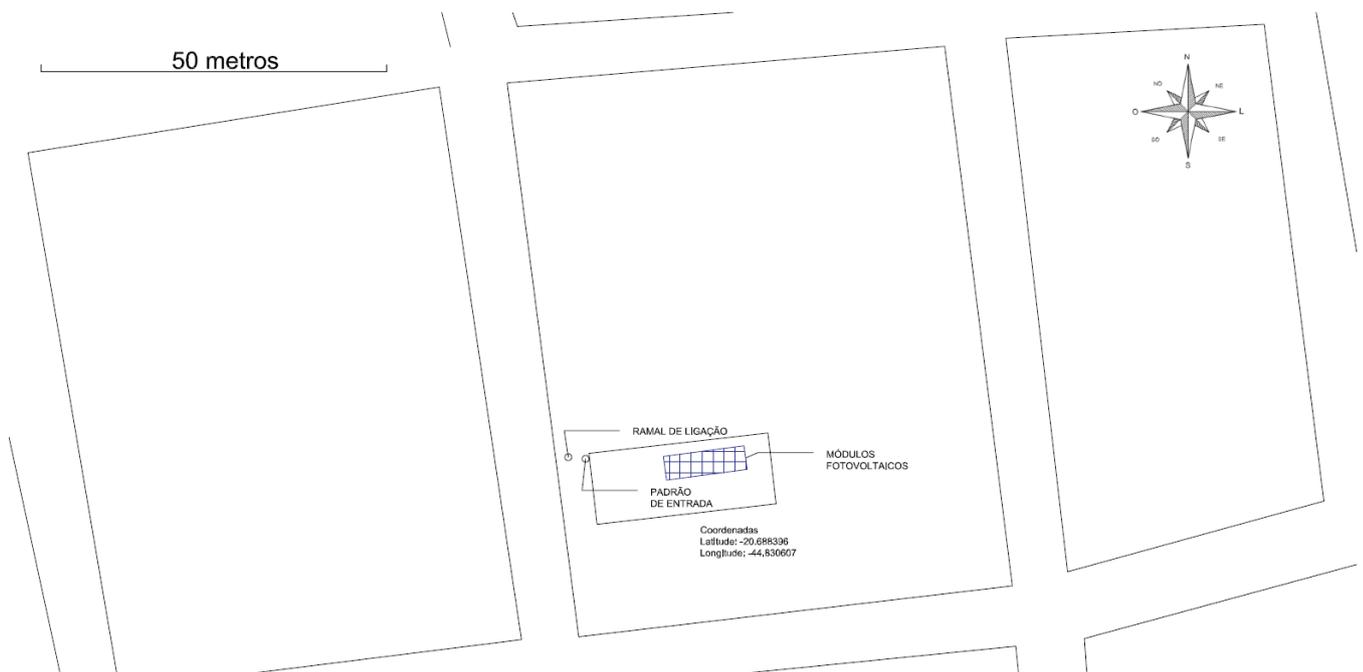


Figura 11 - Planta de localização da UC.

4.2 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

Com o objetivo de facilitar e generalizar o entendimento dos projetos elétricos fotovoltaicos, os componentes do sistema são representados através de símbolos, utilizados no diagrama unifilar básico (DUB). Na Figura 12 estão demonstrados através da legenda, os símbolos adotados no projeto elétrico fotovoltaico desta unidade consumidora.

LEGENDA	
Símbolo	Descrição
	Poste de entrada de serviço
	Medidor bidirecional
	Disjuntor geral de entrada - 2 Pólos
	Disjuntor CA: 2 Pólos
	Disjuntor CC: 2 Pólos
	Inversor de tensão e corrente para sistema solar fotovoltaico
	DPS CA: 2 Pólos - Classe II - 275Vac / 20-40kA
	DPS CC: 3 Pólos - Classe II - 1000Vcc / 20-40kA
	Gerador fotovoltaico de energia elétrica com XX módulos ligados em série
	Interligação de aterramento
	Transformador
	Cabeamento e dimensões - fase, neutro e terra (mm ²)
	Dimensão do eletroduto
	Cabo solar para CC - 2#4mm ²

Figura 12 - Simbologia e legenda utilizada no DUB.



Figura 14 - Placa de advertência que deve ser no padrão de entrada da concessionária com medidas de 25 x 18 cm.

A Figura 15 apresenta o digrama unifilar básico da instalação elétrica fotovoltaica na residência, apresentando desde o padrão de entrada do local com tensão fase-fase 220 V, até a usina solar fotovoltaica e seus componentes, de onde as seguintes características elétricas do sistema podem ser enumeradas:

- Disjuntor bipolar CA de 60 A do padrão de entrada;
- Carga instalada existente na unidade consumidora de 13 kW;
- Condutores CA fase de bitola 16 mm² e neutro 16 mm², isolação PVC 500 V em eletrodutos de 32 mm, no padrão de entrada;
- Medidor de energia bidirecional;
- Dispositivo de proteção contra surtos de 175 V (fase-terra), classe 2, corrente nominal de 45 kA;
- Condutores CA fase de bitola 4 mm², isolação PVC 500V, dispostos em eletroduto de 20mm (conecta a saída CA do inversor ao quadro geral da instalação);
- Disjuntor CA de 25 A no lado CA da *string box*;

- Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 4 mm², isolação XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- Dispositivo de seccionamento CC de 16 A, tensão máxima de 600 V de isolação no lado CC da *string box*;
- Dispositivo de proteção contra surtos CC de 600 V, classe 2, corrente nominal de 40 kA;
- Inversor Fotovoltaico 3 kW CA, 220V CA, e faixa de operação CC 50-550V, com uma MPPT;
- Módulos fotovoltaicos 450 Wp conectados em uma série com 6 unidades, gerando uma potência de 2,7 kWp.

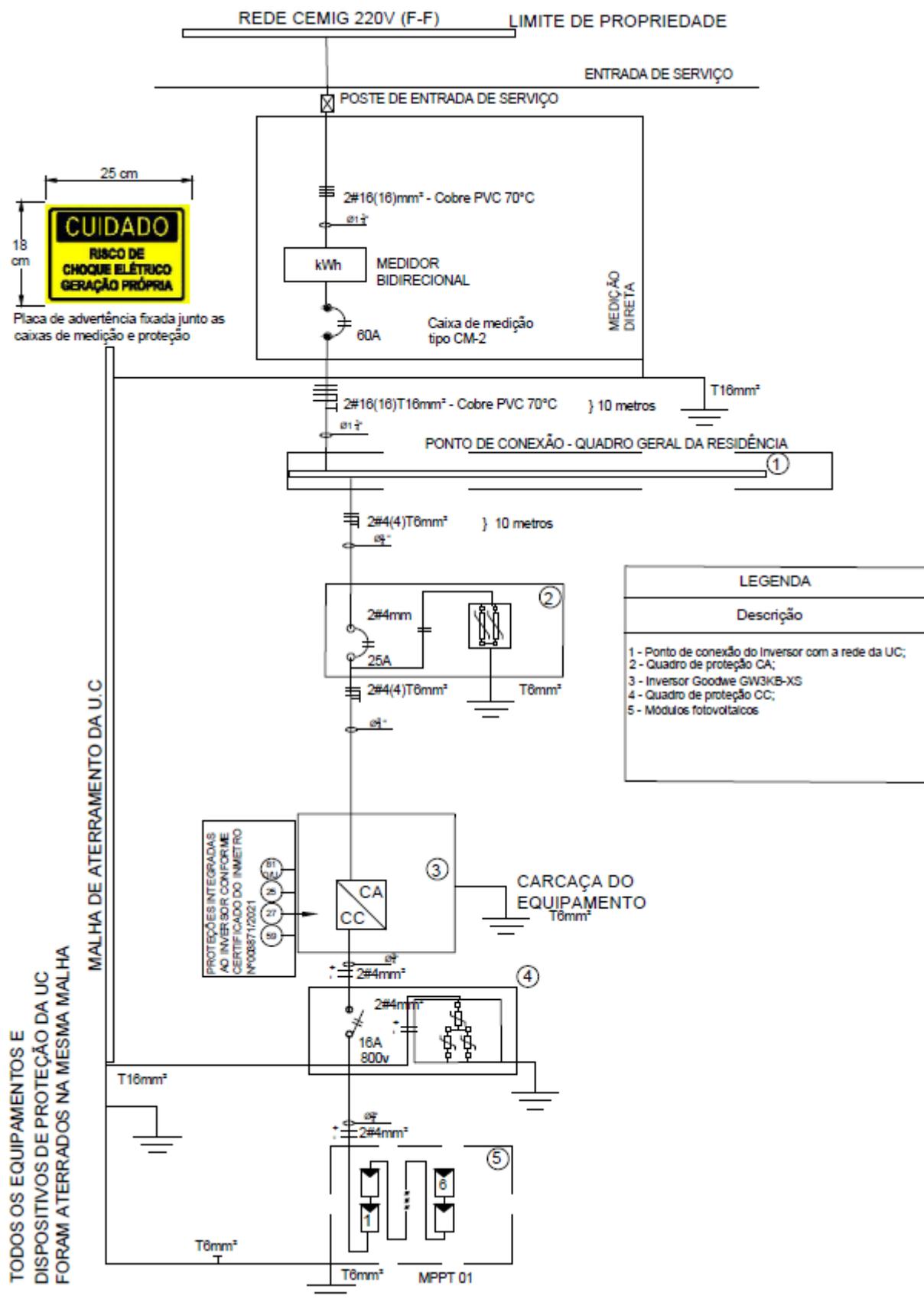


Figura 15 - Diagrama unifilar básico da instalação fotovoltaica. Simbologia adotada conforme Figura 12.

4.3 MEMORIAL DESCRITIVO

O memorial descritivo é o documento exigido pela concessionária e elaborado antes de efetuar a instalação da usina solar fotovoltaica, neles estão todas as informações do projeto. Portanto, esse documento consiste em descrever os componentes presentes no sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica na unidade consumidora.

4.3.1 Dados iniciais

Este memorial tem por objetivo descrever o projeto para instalação elétrica de um sistema com microgeração fotovoltaica (FV) do tipo *on-grid* em uma unidade consumidora residencial. Localizada na Rua Goiás, número 340, bairro Rosário – Oliveira/MG. Será instalado um sistema fotovoltaico com capacidade de 2,7 kWp, com os módulos FV voltados para o norte.

4.3.2 Informações do cliente

Tabela 9 - Dados do cliente.

Nome:	Lucas Almeida de Jesus
CPF/CNPJ	101.648.076-83
Nº do Cliente	7200622684
Nº da Instalação	3003377266
Finalidade do Projeto	Geração de energia fotovoltaica
Cidade	Oliveira
Endereço	Rua Goiás, 340, Rosário
CEP:	35540-000
Telefone:	(37) 99909-5543
E-mail:	lucasalmeidaj@hotmail.com

Consumo médio (Kwh):	286
----------------------	-----

4.3.3 Informações do responsável técnico

Tabela 10 - Dados do responsável técnico.

Nome do Responsável:	Lucas Almeida de Jesus
CREA:	255194/D
Telefone:	(37) 99938-2073
Email:	engenharia@autosol.com.br
Endereço:	Av. Maracanã 1052, Centro – Oliveira/MG

4.3.4 Descrição da unidade consumidora

- Características de atendimento: Residencial bifásico;
- Tipo de atividade do cliente: Residencial;
- Disjuntor atual: 2x60A;
- Coordenadas UTM: 23k, longitude 517634, latitude 7712333, representada na Figura 16;
- Ponto de atendimento do mesmo lado da rua da rede da concessionária.



Figura 16 - Vista da UC *Google Earth Pro*.

4.3.5 Descrição geral da geração distribuída

Os módulos fotovoltaicos são do fabricante DAH Solar, modelo DHM-72L9, com 450W cada. Os módulos apresentam tensão de máxima potência de 42,11 V, tensão de circuito aberto de 49,30 V, corrente em máxima potência igual a 10,69A, corrente de curto circuito de 11,35A, e eficiência de 20,70%. Os módulos são conectados em série, com o intuito de gerar a energia proposta e obter a tensão CC adequada para a entrada do inversor.

A fixação dos mesmos, será realizada através de estruturas metálicas de alumínio anodizado com alta resistência à corrosão. Elas serão montadas o telhado de telhas em cerâmica, utilizando parafusos auto atarraxantes que se fixam na estrutura de madeira que o sustenta, proporcionando uma alta resistência a ventos.

As conexões elétricas intermediárias e finais entre os módulos serão executadas por conector do tipo MC4 de engate rápido.

O inversor instalado será da marca Goodwe, modelo GW3KB-XS. O papel principal do inversor fotovoltaico no sistema é inverter a energia elétrica gerada pelos painéis, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O seu papel secundário é garantir a segurança do sistema sincronizando a energia CA com a energia fornecida pela concessionária, o inversor também tem importante papel na medição da energia gerada afim de se ter um registro para comparar com o desconto fornecido pela companhia.

O equipamento receberá a conexão de 06 módulos, em 1 MPPT sendo, conforme demonstrado na Tabela 9 e diagrama unifilar anexo. Eles proporcionarão uma tensão máxima de circuito aberto de 295,8 V em cc ou 252,66 V em cc em operação sob carga máxima. Estes valores se enquadram na faixa operacional para tensão de entrada CC do inversor FV.

Tabela 11 - Instalação no Inversor.

Modelo do Inversor	Número de módulos	Potência instalada
GOODWE GW3KB-XS	6 unidades	2,7 kW

Como proteção, caso a rede da concessionária opere fora das faixas toleradas para a tensão e frequência (ABNT 60149,2013) o inversor será bloqueado e desconectados da rede através do relé de proteção interno em um intervalo de tempo inferior a 2 segundos. Esta proteção é conhecida como "anti-ilhamento" e após o reestabelecimento da rede pela concessionária o religamento do inversor é executado em 180 segundos, conforme exigência da companhia.

Também serão instalados quadros de proteção, conhecido como String Box, com proteções na entrada CC (módulos FV até o inversor) e na saída em CA (do inversor até a rede da concessionária), conforme apresentado no diagrama unifilar.

A proteção da parte CC é projetada para absorver surtos provenientes de descargas atmosféricas que possam incidir diretamente sobre os módulos fotovoltaicos e propagar até a entrada do inversor. A proteção é executada por Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS 600 V - 40kA), além chave seccionadora de 16A e 600Vcc que permite o desligamento da entrada do inversor para execução de serviço de manutenção.

O lado CA é composto por um disjuntor bipolar de 25A e dispositivo de proteção contra surto por fase (DPS 175Vca 45kA).

O ponto de injeção da energia gerada será fases principais (L1, L2), localizadas no quadro de proteção geral, obtendo assim um melhor aproveitamento e segurança. O ponto de conexão está localizado a 10 metros do Padrão de entrada da Cemig.

4.3.6 Previsão de produção de energia

Com dados da simulação no *software* PVsol, foi obtida uma média na geração, de 324kWh, sendo este valor variável de acordo com época do ano, conforma demonstrado no gráfico 1.

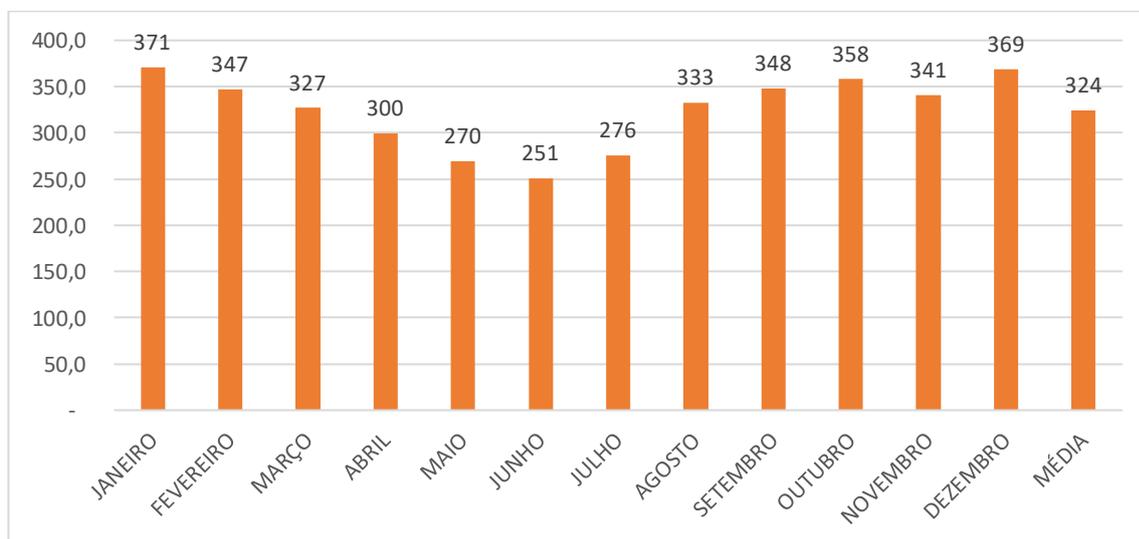


Gráfico 1 - Produção estimada (kWh).

4.3.7 Planta situação com descrição do padrão de entrada da UC

A unidade consumidora que vai receber a instalação do sistema fotovoltaico está demonstrada na figura 17, vista por satélite, cuja localização em coordenadas no formato UTM apresenta zona 23 K, longitude 517634, e latitude 7712333.

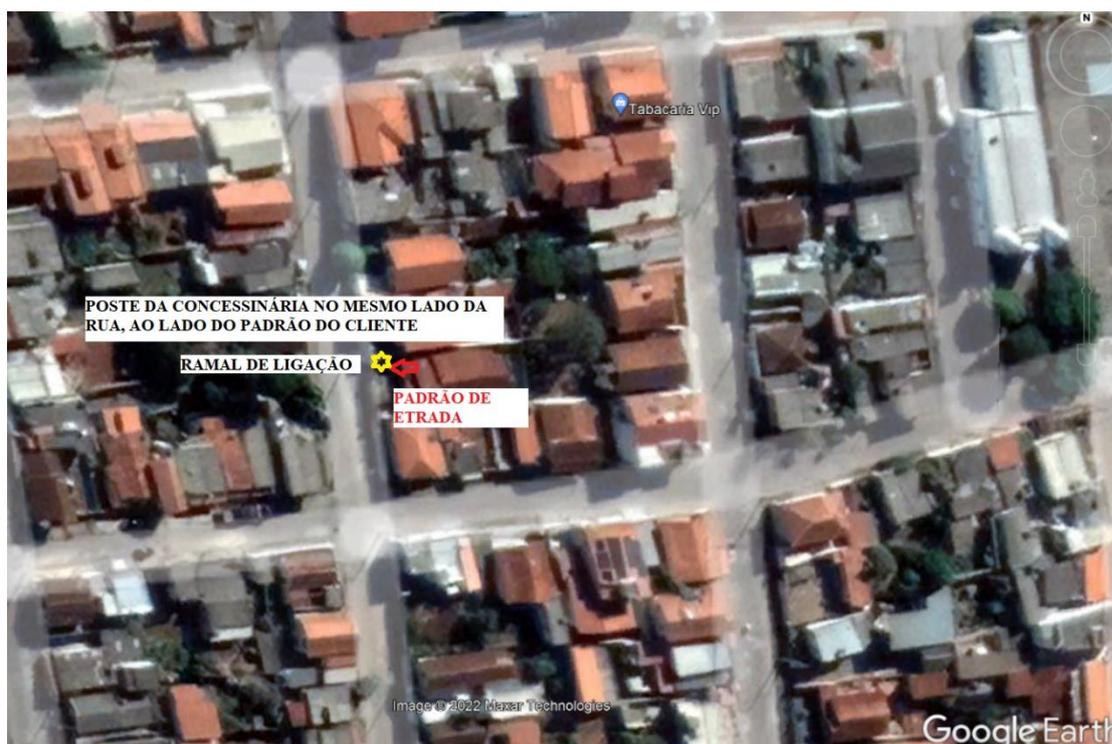


Figura 17 – Unidade consumidora, vista por satélite (Google Earth Pro).

5- Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL, [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>.
- [2] ANEEL, [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/prodist>.
- [3] CEMIG. [Online]. Available: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/manual-solicitacao-acesso.aspx>. [Acesso em 05 09 2018].
- [4] CEMIG, “ND 5.1,” CEMIG, 2017. [Online]. Available: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd5_1_000001p.pdf.
- [5] Goodwe, “GW3KB-XS,” 2022. [Online]. Available: https://br.goodwe.com/Ftp/Downloads/Datasheet/PT/GW_XS_Datasheet-PT.pdf.
- [6] DAH, “DHM-72L9,” 2022. [Online]. Available: www.dahsolarpv.com.
- [7] A. B. D. N. TÉCNICAS, “NBR16149 Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição,” 01 03 2013.



Coordenadoria de
Educação Aberta e a Distância