

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MAYKON ROBERT NUNES GOMES

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UM SISTEMA ISOLADO**

SANTOS /SP

2018

MAYKON ROBERT NUNES GOMES

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UM SISTEMA ISOLADO**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario e coorientação do Prof. Dr. Luiz Augusto Pereira Fernandes.

SANTOS/SP

2018

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Gomes, Maykon Robert Nunes.
Estudo de viabilidade para implantação de geração de energia fotovoltaica em um sistema isolado / Maykon Robert Nunes Gomes - 2017

69 pag.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario.
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Pereira Fernandes

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2018.

1. Falta de energia elétrica 2. Energia alternativa 3. Polícia Militar 4. Painéis fotovoltaicos I. Mario, Mauricio Conceição, II. Fernandes, Luiz Augusto Pereira III. Estudo de viabilidade para implantação de geração de energia fotovoltaica em um sistema isolado.

Elaborada pelo SIBi - Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe e o meu padrasto por todo incentivo, à minha esposa e ao meu filho, que me apoiaram de diversas maneiras durante esta importante etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado durante esta trajetória.

A minha mãe e o meu padrasto que me apoiaram, a minha esposa Andreia e o meu filho José pelo amor, paciência, pela compreensão nos momentos que precisei me dividir entre família, trabalho e estudo.

Ao meu avô José Nunes Filho por me dar educação e me conduzir na minha trajetória.

Ao Professor Prof. Dr. Mauricio Conceição Mario, pelas informações prestadas e ter acreditado no meu potencial.

Ao coorientador Prof. Dr. Luiz Augusto Pereira Fernandes, por me incentivar, me motivar, pela paciência e disposição no auxílio neste trabalho.

A Sandra Paiva Bruno, que quando pequeno me ajudou a ter o interesse em seguir o caminho da engenharia elétrica.

Sandra Helena Aparecida de Araújo e Imaculada Scorza, sempre prestativas, com simpatia.

Aos colegas mestrando, pela amizade, pelos momentos de felicidade e troca de experiências.

A Polícia Militar do Estado de São Paulo, onde eu tenho orgulho de trabalhar, que me deu espaço para o estudo deste trabalho, sempre me incentivando.

A Universidade Santa Cecília, por ter me proporcionado um ambiente de ensino e aprendizagem.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a viabilidade de implantação de células fotovoltaicas em uma edificação da Polícia Militar do estado de São Paulo. A relevância do estudo está relacionada à garantia do atendimento de ocorrências atendidas pela PM, mesmo quando houver falta de energia elétrica. A opção pelo uso de células fotovoltaicas se justifica por se tratar de energia renovável, não poluente, e que pode ter o excedente não utilizado armazenado em baterias. Foram consideradas duas possibilidades: na primeira foi feito o dimensionamento da energia fotovoltaica isolada; na segunda opção foi acrescentado ao estudo um circuito comutador com a finalidade de intercalar com o conjunto de baterias a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, com as baterias injetando na rede da concessionária o excedente acumulado. Como resultado o estudo faz uma análise técnica econômica dos experimentos, descrevendo os fatores favoráveis e desfavoráveis de cada opção no estudo de caso.

Palavras Chave: Falta de energia elétrica. Energia alternativa. Polícia Militar. Painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT

This work presents a case study on the feasibility of implantation of photovoltaic cells in a building of the Military Police of the state of São Paulo. The relevance of the study is related to the guarantee of attendance of occurrences attended by the PM, even when there is a lack of electricity. The option to use photovoltaic cells is justified because it is renewable, non-polluting energy, and may have unused surplus stored in batteries. Two possibilities were considered: the first one was the dimensioning of the isolated photovoltaic energy; in the second option a switching circuit was added to the study in order to interleave the energy produced by the photovoltaic modules with the batteries, injecting the accumulated surplus into the utility network. As a result the study makes an economic technical analysis of the experiments, describing the favorable and unfavorable factors of each option in the case study.

Keywords: Lack of electricity. Alternative energy. Military police. Photovoltaic panels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - COPOM.	2
Figura 2 – Centro de Atendimento 190 (COPOM).....	3
Figura 3 - Sistema Fotovoltaico.	4
Figura 4 - Efeito fotoelétrico.	4
Figura 5 - Painel Solar Fotovoltaico Monocristalino.	5
Figura 6 - Painel Solar Fotovoltaico Policristalino.	6
Figura 7 - Painel Solar de Silício Amorfo.....	7
Figura 8 - Sistema isolado ou autônomo: 1) Painel Fotovoltaico; 2) Controlador de Carga; 3) Baterias; 4) Inversor DC/AC.	8
Figura 9 - Sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede: 1) Painel Solar; 2) Inversor Solar;3) Quadro de Luz; 4) Distribuição da energia gerada para o uso na casa; 5) Excesso de energia vai para a rede elétrica gerando créditos.	9
Figura 10 - Controlador de Carga.....	10
Figura 11 - Inversor Solar PROwatt SW 1000	11
Figura 12 - Tela de Escolha da Localidade.	12
Figura 13 - Tela de entrada manual dos dados de localização.	13
Figura 14 - Localização - Irradiância (W/m ²).	13
Figura 15 - Radiação Solar Mensal.	14
Figura 16 - Irradiação Média (KWh/m ² /dia) - Irradiância Média (W/m ²).	14
Figura 17: Organograma da Polícia Militar do Estado de São Paulo.	16
Figura 18 - Localização da 4 ^a Cia. do 8 ^o BPMM CPC (<i>AutoCad</i>).....	18
Figura 19 - Imagem da 4 ^a Cia. do 8 ^o BPMM CPC (<i>Google Maps</i>).	18
Figura 20 – Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.	19
Figura 21 - – Irradiação solar no plano inclinado na cidade de São Paulo.....	19
Figura 22 - Radio Comunicador de base fixa (Motorola).....	20
Figura 23 - Rádio Comunicador de base móvel.	21
Figura 24: Foto do local de atendimento ao público da unidade PM.....	21
Figura 25: Planta baixa.	22
Figura 26 - Cobertura e módulos.....	23
Figura 27: Condutor de cobre estanhado.	23
Figura 28: Estrutura e montagem.....	24
Figura 29: Diagrama multifilar.	26
Figura 31 - Bateria Estacionária Moura Clean 12MF220.	31
Figura 32- Circuito comutador de rede.....	34
Figura 33: Irradiação solar.	36
Figura 34- Retorno financeiro do sistema isolado (hipótese 1).	37
Figura 35- Retorno financeiro com sistema fotovoltaico isolado utilizando o circuito comutador (hipótese 2).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.	7
Tabela 2: Levantamento do consumo.	20
Tabela 6 - Circuito de corrente contínua.	24
Tabela 7: Circuito de corrente alternada.	24
Tabela 5: Principal característica da bateria estacionária.	28
Tabela 6: Custo estimado para a implantação do sistema isolado fotovoltaico de energia solar na unidade militar.	30
Tabela 7: Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.....	32
Tabela 8: Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.....	35
Tabela 9 - Irradiação solar.	35
Tabela 7: Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APE	Autoprodutor de Energia
BEM	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CAJ	Coordenadoria de Assuntos Jurídicos
CCB	Comando do Corpo de Bombeiros
CComSoc	Centro de Comunicação Social da Polícia Militar
CIPM	Centro de Inteligência da Polícia Militar
Cmt G	Comandante Geral
CoordOp PM	Coordenador Operacional da Polícia Militar
Correg PM	Corregedoria da Polícia Militar
CPAmb	Comando de Policiamento Ambiental
CPC	Comando de Policiamento da Capital
CPChq	Comando de Policiamento de Choque
CPI	Comando de Policiamento do Interior
COM	Comando de Policiamento Metropolitano
CPRv	Comando de Policiamento Rodoviário
CPTran	Comando de Policiamento de Trânsito
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DMA	Divisão de Clima e Meio Ambiente
EM/PM	Estado-Maior da Polícia Militar
FDI	Fator de dimensionamento de inversores
FRE	Fonte renovável de energia
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
Gab Cmt G	Gabinete do Comandante Geral
GRPAe	Grupamento de Radiopatrulha Aérea da Polícia Militar

GT-GDSP	Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos
HEPR	High Module EPR
IEA-PVPS	Photovoltaic Power Systems Programme
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Grau de proteção
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
PIE	Produtor Independente de Energia
PVC	Policloreto de vinil
SFCR	Sistema Fotovoltaico conectado à rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
SOLARCAD	Pacote de programas de projetos de sistemas de energia solar e seus componentes
STC	Condições padrão de teste
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
T&D	Transmissão e Distribuição
UVB	Ultra Violeta B

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
A	Amperes
AM	Massa de Ar
a-Si	Silício amorfo
As	Ângulo Azimutal do Sol
Aw	Ângulo Azimutal da Superfície
c-Si	Silício monocristalino
Cu	Cobre
Gap	Intervalo entre bandas permitidas em um metal ou semicondutor
GW	Gigawatt
J	Joule
KWp	Potência de pico em Kilowatt
m-Si	Silício monocristalino
MW	Megawatt
μc-Si	Silício microcristalino
n-Si	Silício nano-amorfo
p-Si	Silício policristalino
Se	Selênio
Si	Silício
TWh	Terawatt hora
V	Volts
Wp	Potência de pico em Watt
Δ	Declinação Solar
Γ	Ângulo de incidência
A	Altura Solar
B	Inclinação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Fundamentação Teórica	1
1.1.1 COPOM	1
1.1.2 Energia Solar Fotovoltaica	3
1.1.3 Componentes do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	9
1.1.4 Insolação da região da Cidade de São Paulo	11
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Organização da Dissertação	15
2 MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 Considerações gerais	16
2.2 A unidade militar	16
2.3 Localização geográfica da unidade militar	17
2.2 Principais fontes de consumo de energia elétrica da unidade militar	19
2.3 Desenvolvimento do projeto na unidade militar	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1. Análise de custo	30
3.2 Retorno de investimento	32
3.3 Projeto do sistema fotovoltaico utilizando um circuito comutador de rede	33
3.4 Retorno de investimento com um circuito comutador de rede	34
4. CONCLUSÕES	40
4.1 Trabalhos futuros	40
5. VERSÃO COMPACTA	42
6. REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A – ATERRAMENTO E PLANTA BAIXA	49
APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR E MULTIFILAR	51
APÊNDICE C – ESQUEMA DE ATERRAMENTO.	54
APÊNDICE D – LAYOUT DE INSTALAÇÃO PARA O SISTEMA FOTOVOLTAICO.	55
APÊNDICE E – QUADRO ELÉTRICO E INVERSOR.	56

1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, a busca constante por melhoria nos processos industriais e redução de custos levam as empresas a investir em equipamentos que necessitam cada vez mais de energia elétrica. Porém, a disponibilidade de fontes de energia convencionais não crescem na mesma proporção desta elevação do nível de consumo.

Neste sentido, a busca por fontes alternativas, principalmente as renováveis, tem sido constante.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica, pelos efeitos da radiação, surge como uma alternativa, eis que é renovável não poluente e disponível em abundância, ou seja, uma fonte alternativa e inesgotável de energia. Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica (ANEEL, 2002).

Atualmente, ainda em ascensão, a energia solar é empregada principalmente em pequenas quantidades, em pontos isolados e locais não atendidos pela rede elétrica (VILLALVA, 2015).

A resolução normativa nº482 da Aneel, considerada um passo importante no incentivo ao desenvolvimento desta tecnologia, estabelece regras para a implantação de energia solar (FOTOVOLT, 2015).

1.1 Fundamentação Teórica

1.1.1 COPOM

O Centro de Operações da Polícia Militar (COPOM), conhecido como 190, atua como um canal de comunicação entre a Polícia Militar e a população. Através de um sistema de telecomunicação digital, as ligações realizadas para o 190 são recebidas, processadas e retransmitidas por rádio fixo ou portátil.

A interrupção do fornecimento de energia elétrica além de interromper a transmissão das mensagens de ocorrências geradas através do telefone 190, às viaturas que estão no patrulhamento comunitário nos bairros designados, pelo COPOM, prejudica as demais atividades da unidade militar.

Conforme demonstra a Figura 1, o atendimento do COPOM é realizado no seguinte formato:

- 1) O cidadão comunica as ocorrências ligando para o número 190;
- 2) As ligações são atendidas pelas telefonistas que registram a os dados da ocorrência no sistema informatizado do COPOM;
- 3) O radioperador transmite a ocorrência às viaturas que estão em patrulhamento;
- 4) O canal de comunicação entre as viaturas e o radioperador fica aberto para o envio de mais informações que se fizerem necessárias ao atendimento da ocorrência.



Figura 1 - COPOM.

Fonte: Minas Gerais (2018).

O COPOM (Figura 2) é uma central de atendimento do telefone 190, que proporciona um suporte emergencial à população. Oferece um atendimento às ocorrências no menor tempo de resposta possível, tanto aos cidadãos, quanto aos policiais militares que atuam no patrulhamento.



Figura 2 – Centro de Atendimento 190 (COPOM).

Fonte: Jalonetsky (2017).

A falta de energia elétrica prejudica a atividade policial, bem como acidentes, falhas e panes elétricas, ou ainda fenômenos naturais, Portanto, interferem no bom desempenho dos batalhões da corporação. Salientando que é inviável a implantação de gerador a diesel devido às normas rígidas sobre o armazenamento de combustível e emissão de poluentes, na cidade de São Paulo regulamentada pelo Decreto nº 54.797, de 28/01/2014. Neste contexto, surge a energia solar como uma alternativa viável e interessante.

1.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida a partir de luz solar, e pode ser obtido mesmo em dias nublados ou chuvosos, através de um inversor que faz a conversão por seus painéis fotovoltaicos. O papel principal do inversor solar é inverter a energia elétrica gerada pelo painel solar, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O Seu papel secundário é garantir a segurança do sistema fotovoltaico e gerar dados da geração de energia para o monitoramento do desempenho do sistema. Tal inversor solar utiliza células fotovoltaicas, usualmente

em silício ou outro material semicondutor.

Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, os elétrons do material semicondutor são postos em movimento, gerando eletricidade, conforme demonstra a Figura 3 (PORTAL SOLAR, 2018).

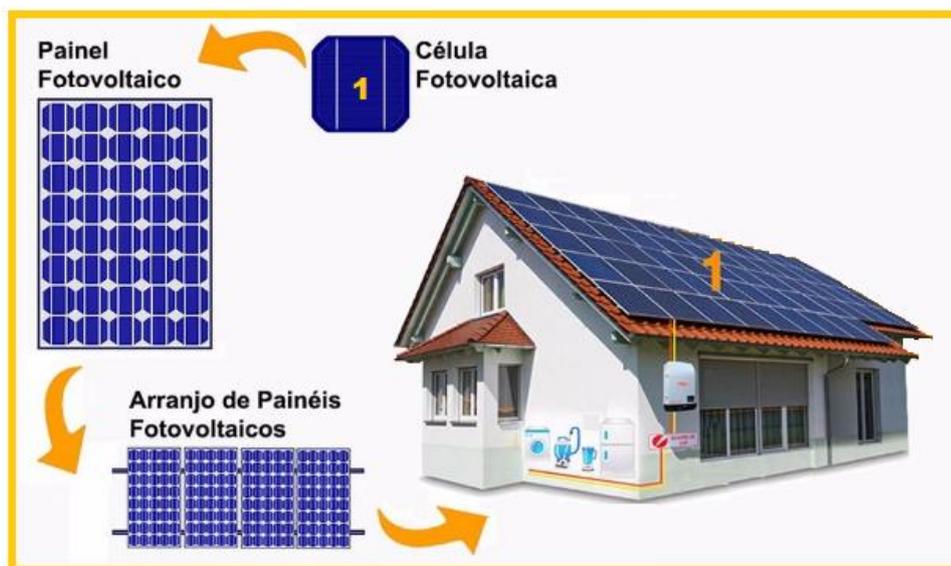


Figura 3 - Sistema Fotovoltaico.

Fonte: Luz Solaris (2015).

O painel solar, composto por um conjunto de células fotovoltaico, fabricado em sua grande maioria em silício, é responsável pela absorção da radiação solar, composta por fótons, que será convertida em eletricidade. Quando a luz solar atinge a célula fotovoltaica, parte dos fótons é absorvida gerando eletricidade (efeito fotoelétrico), e quanto maior a intensidade da luz, maior será a geração da energia.

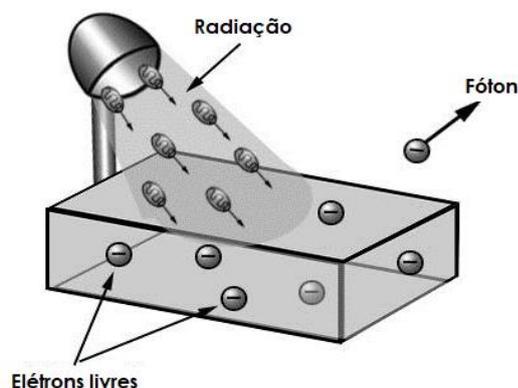


Figura 4 - Efeito fotoelétrico.

Fonte: Cava (2016)

No ano de 2014, cerca de 85% de todos os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em todo o mundo utilizavam alguma tecnologia baseada em silício (Si). A principal diferença entre tais tecnologias é a pureza do silício. Quanto mais perfeitamente alinhadas estiverem as moléculas de silício, melhor será a conversão de luz solar em energia elétrica. Porém, os processos utilizados para melhorar a pureza do silício são caros e impactam diretamente no preço do painel solar, ou seja, quanto maior a pureza do silício, maior será o custo do projeto (PORTAL SOLAR, 2018).

No contexto comercial existem três tipos de painéis solares fotovoltaicos: em silício monocristalino, em silício policristalino e silício amorfo.

O Painel Solar Fotovoltaico Monocristalino é o mais antigo e uma das tecnologias mais caras. Porém, comercialmente, oferece a eficiência mais alta. A eficiência média do painel solar monocristalino gira em torno de 14 a 22%. Como demonstra a Figura 5, são facilmente reconhecíveis e apresentam cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados. O painel tem uma grande durabilidade, com vida útil de 25 a 30 anos, e boa *performance* em dias nublados (PORTAL SOLAR, 2018).



Figura 5 - Painel Solar Fotovoltaico Monocristalino.

Fonte: Portal Solar (2018).

As células do Painel Solar Fotovoltaico Policristalino são formadas por

diversos cristais. Embora contenha silício em sua composição, são feitas a partir da fundição dos cristais do elemento em blocos, proporcionando a formação de inúmeros cristais. Apresenta menor custo em relação ao painel monocristalino. Sua forma é quadrada, com células fatiadas em formato retangular (Figura 6). A eficiência média do painel solar policristalino gira em torno de 13 a 16%. Desta forma, é uma das tecnologias mais vantajosas e adotadas por novos usuários, trazendo rentabilidade na relação custo-benefício. Além disso, apresenta a mesma vida útil que o painel monocristalino, 25 a 30 anos (ENEL SOLUÇÕES, 2018).



Figura 6 - Painel Solar Fotovoltaico Policristalino.

Fonte: Enel Soluções (2018).

O Painel Solar de Silício Amorfo apresenta baixa produção de energia elétrica. As células solares baseadas em silício amorfo usualmente são usadas em aplicações de pequena escala, como é o caso dos relógios com bateria solar e as calculadoras de bolso. Porém, inovações recentes possibilitaram sua utilização em aplicações de larga escala. Uma técnica chamada "empilhamento", onde várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, permite atingir taxas mais elevadas de eficiência, tipicamente cerca de 6 a 9%. Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo (PORTAL SOLAR, 2018).



Figura 7 - Painel Solar de Silício Amorfo.

Fonte: Portal Solar (2018).

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre a eficiência do Painel Solar de Silício Monocristalino, Policristalino e Amorfo, em laboratório, em produção e em produção em série.

Tabela 1: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.

Material	Eficiência Teórica	Eficiência em Laboratório	Eficiência em produção em série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poli	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%

Fonte: Adaptado de BlueSol (2017).

Como se pode observar na Tabela 1, há variações maiores entre a eficiência das células fotovoltaicas em silício amorfo e as demais. Entre as monocristalinas e as policristalinas a diferença é pequena, sendo assim é preciso avaliar a que melhor satisfaz o projeto, levando em conta as características da tecnologia e respeitando a relação custo x benefício.

Outra questão que se deve levar em conta na relação custo x benefício é o tipo de sistema que será adotado no projeto.

Quanto ao tipo, os sistemas fotovoltaicos se dividem em dois grandes grupos: sistemas isolados, e sistemas conectados à rede.

Os sistemas isolados (Figura 8) não se integram a rede elétrica e geralmente é adotada em locais remotos ou onde o custo de acesso a rede é maior que o custo do próprio sistema. Usualmente o excesso é armazenado em baterias (NEOSOLAR, 2018).



Figura 8 - Sistema isolado ou autônomo: 1) Painel Fotovoltaico; 2) Controlador de Carga; 3) Baterias; 4) Inversor DC/AC.

Fonte: NeoSolar (2018).

Os sistemas conectados à rede (Figura 9) funcionam como qualquer outra forma de geração de energia utilizados a partir da rede elétrica, apenas substituem fontes convencionais pela energia solar. Neste caso a energia excedente retorna à rede elétrica, gerando créditos para o usuário do sistema. Porém, precisa estar em acordo com a Resolução Normativa n.º 482 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e ABNT 16149:2013 (NEOSOLAR, 2018).

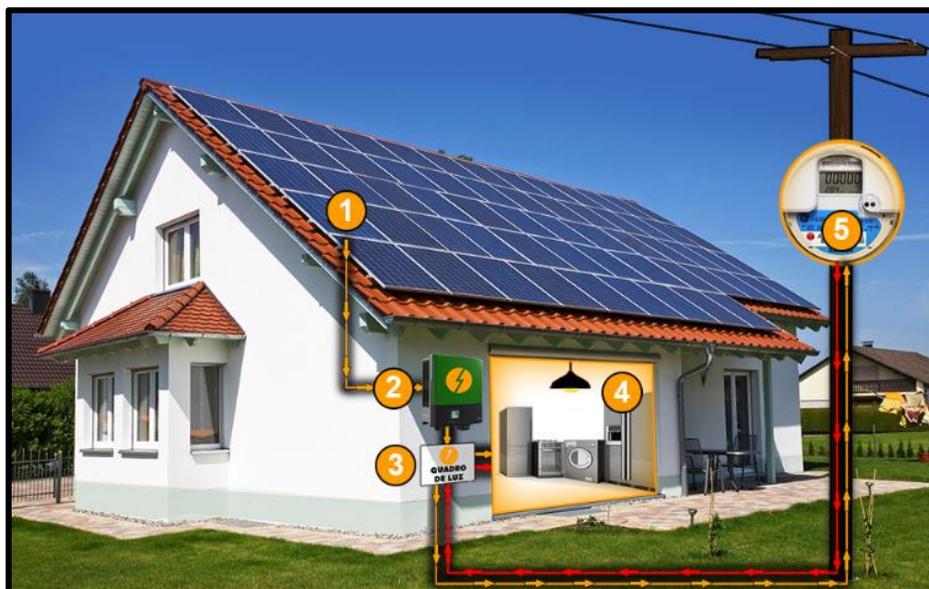


Figura 9 - Sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede: 1) Painel Solar; 2) Inversor Solar; 3) Quadro de Luz; 4) Distribuição da energia gerada para o uso na casa; 5) Excesso de energia vai para a rede elétrica gerando créditos.

Fonte: Solaris (2015).

Para evitar a ausência de energia elétrica em uma unidade militar os sistemas isolados seriam a solução ideal, pois ao armazenar a energia solucionaria o problema de apagão, evitando a ausência de comunicação entre os policiais através do rádio comunicador, que é essencial ao desempenho das funções da Polícia Militar, e ainda asseguraria a iluminação do local.

Porém, na elaboração do projeto, é necessário, além de escolher o tipo de painel e tipo de sistema (isolado ou conectado), levar em conta os componentes que irão integrar o Sistema de Energia Solar Fotovoltaica isolado, tais como: controlador de carga, inversor solar e as baterias.

1.1.3 Componentes do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

Também conhecido como regulador de tensão, o controlador de carga conecta o painel fotovoltaico às baterias, função esta que lhe qualifica como um dos principais componentes do sistema solar fotovoltaico isolado, pois evita a sobrecarga ou descarga de energia, determinando a vida útil dos bancos de bateria. O controlador de carga (Figura 10) é responsável por receber a corrente contínua de entrada, que pode variar de 7V até 18V, e convertê-la em uma tensão menor na saída. (PORTAL ENERGIA, 2015).

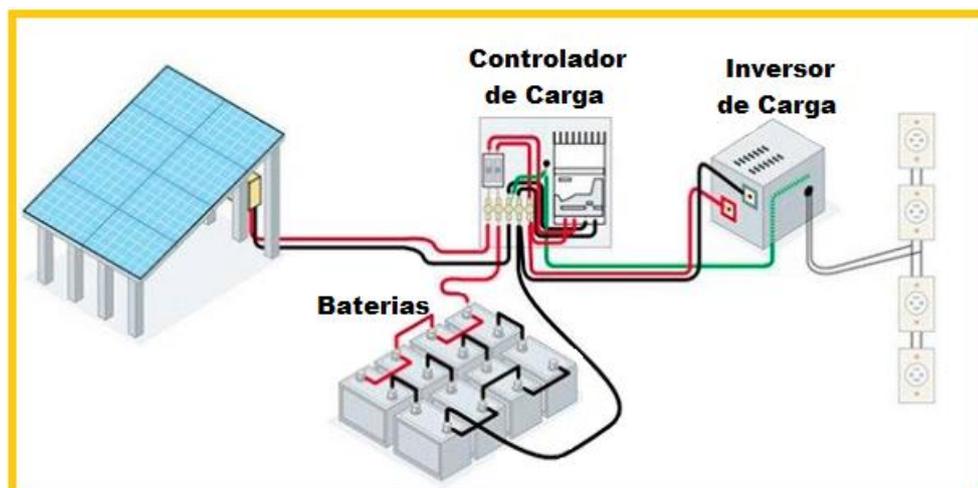


Figura 10 - Controlador de Carga.
 Fonte: Phenix Projetos (2014).

As baterias são responsáveis pelo armazenamento e distribuição de energia elétrica no sistema fotovoltaico isolado. A bateria estacionária é a mais indicada para o sistema solar fotovoltaico isolado, pois foi projetada para oferecer quantidade constante de corrente elétrica por um longo período de tempo. Pode ser descarregada completamente diversas vezes. A vida útil pode variar entre quatro a cinco anos (MOURA, 2018).

O Inversor Solar é o “coração” do sistema de energia solar fotovoltaica e tem dois papéis importantes no sistema fotovoltaico. Seu papel principal consiste em inverter a energia elétrica gerada pelos painéis, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Já seu papel secundário é garantir a segurança do sistema e medir a energia produzida pelos painéis solares (PORTAL SOLAR, 2018).

O Inversor Solar foi desenvolvido especificamente para sistemas fotovoltaicos isolados que funcionem de forma independente em relação à rede elétrica. São muito usados em postes de iluminação solar, sistemas de rádio transmissão, telefones de emergência em rodovias e estações meteorológicas. Os inversores convertem a corrente contínua (CC) a 12, 24 ou 48 volts para corrente alternada (CA). No Brasil precisam de uma potência de 110/220V e 60Hz, e seu tamanho varia conforme a aplicação. Os menores oferecem potências entre 150W e 2000W, são leves e facilmente transportados de um sistema para outro. Já os inversores acima de 2000W são mais pesados e precisam de instalação permanente (PORTAL SOLAR, 2018).



Figura 11 - Inversor Solar PROwatt SW 1000 .

Fonte: Xantrex (2018).

A instalação do sistema de energia solar fotovoltaica deve seguir as normas brasileiras de instalações elétricas, ou seja, a norma ABNT NBR 5410:2004 para baixa tensão, e a ABNT NBR 14039:2003, para média tensão.

Segundo Ruther (2004), levando em conta os períodos prolongados que ficarão sujeitos a intempéries, alguns elementos do sistema solar fotovoltaico exigem aterramento individual, visando oferecer maior segurança. Tanto a estrutura de montagem dos painéis, para evitar que atinja tensões elevadas no caso de falha no aterramento do sistema, como qualquer outro componente metálico, além do circuito do arranjo fotovoltaico, requer aterramento.

1.1.4 Insolação da região da Cidade de São Paulo

O estado de São Paulo apresenta boa radiação solar e captura torna-se mais eficiente quando os painéis fotovoltaicos estão orientados ao norte geográfico.

Na avaliação da radiação solar sobre a cidade de São Paulo, foi utilizado no presente trabalho o aplicativo RADIASOL 2 (LABSOL, 2018), com os resultados obtidos por este aplicativo foram confeccionados os gráficos constantes das Figuras 12 a 16.

O RADIASOL 2 permite que usuário selecione o modelo de distribuição da radiação e obtenha na tela um conjunto de dados adicionais na forma de tabelas ou gráficos. Curvas ou tabelas podem ser exportadas através da área de transferência do WINDOWS para outros aplicativos, onde poderão ser aplicadas em cálculos de

projetos ou confecção de relatórios.

Na Figura 12 consta a tela onde o usuário pode selecionar a localidade dentro do RADIASOL 2.

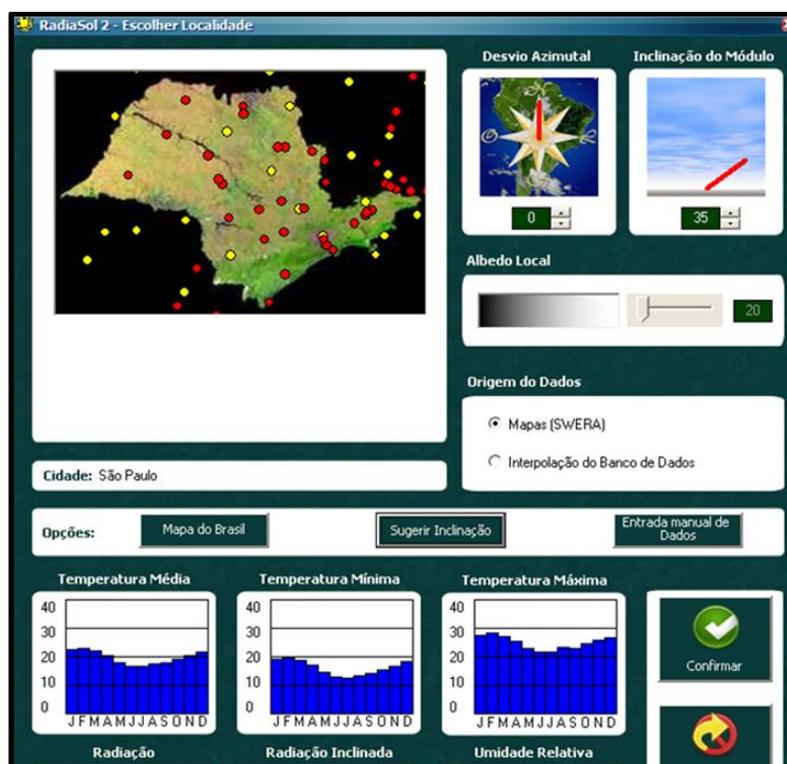


Figura 12 - Tela de Escolha da Localidade.

Fonte: LABSOL (2018).

A Figura 13 exibe a tela na qual os usuários indicarão os dados de localização do sistema, tais como: latitude, longitude e nome da localidade.

Entrada Manual de Dados - Alterando

Entre com os dados da localização do sistema:

Latitude: Longitude: Nome:

Mês	Radiação*	Umidade Relativa	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Janeiro	<input type="text" value="5,58"/>	<input type="text" value="78"/>	<input type="text" value="27,7"/>	<input type="text" value="22,8"/>	<input type="text" value="19,5"/>
Fevereiro	<input type="text" value="5,45"/>	<input type="text" value="77"/>	<input type="text" value="28,4"/>	<input type="text" value="23,1"/>	<input type="text" value="19,7"/>
Março	<input type="text" value="4,84"/>	<input type="text" value="79"/>	<input type="text" value="27,1"/>	<input type="text" value="22,2"/>	<input type="text" value="19,0"/>
Abril	<input type="text" value="4,28"/>	<input type="text" value="79"/>	<input type="text" value="25,4"/>	<input type="text" value="20,6"/>	<input type="text" value="17,3"/>
Mai	<input type="text" value="3,52"/>	<input type="text" value="78"/>	<input type="text" value="23,0"/>	<input type="text" value="18,3"/>	<input type="text" value="14,8"/>
Junho	<input type="text" value="3,24"/>	<input type="text" value="76"/>	<input type="text" value="22,0"/>	<input type="text" value="17,0"/>	<input type="text" value="13,2"/>
Julho	<input type="text" value="3,38"/>	<input type="text" value="74"/>	<input type="text" value="22,0"/>	<input type="text" value="16,8"/>	<input type="text" value="12,7"/>
Agosto	<input type="text" value="4,11"/>	<input type="text" value="74"/>	<input type="text" value="23,3"/>	<input type="text" value="17,6"/>	<input type="text" value="13,4"/>
Setembro	<input type="text" value="4,36"/>	<input type="text" value="77"/>	<input type="text" value="23,0"/>	<input type="text" value="17,9"/>	<input type="text" value="14,2"/>
Outubro	<input type="text" value="4,97"/>	<input type="text" value="78"/>	<input type="text" value="24,6"/>	<input type="text" value="19,3"/>	<input type="text" value="15,7"/>
Novembro	<input type="text" value="5,55"/>	<input type="text" value="77"/>	<input type="text" value="25,8"/>	<input type="text" value="20,7"/>	<input type="text" value="17,0"/>
Dezembro	<input type="text" value="5,60"/>	<input type="text" value="78"/>	<input type="text" value="26,7"/>	<input type="text" value="21,8"/>	<input type="text" value="18,5"/>

Figura 13 - Tela de entrada manual dos dados de localização.
Fonte: LABSOL (2018).

Na Figura 14 pode-se observar o gráfico de Irradiância gerado pelo sistema RADIASOL 2.

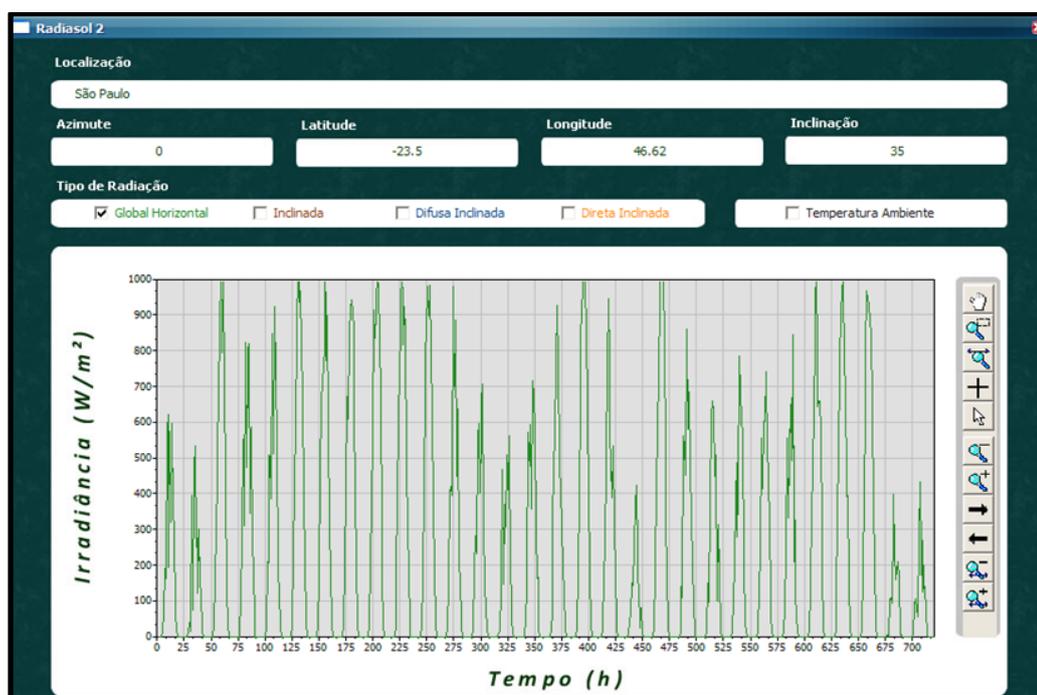


Figura 14 - Localização - Irradiância (W/m²).
Fonte: LABSOL (2018).

Na Figura 15 pode-se observar o gráfico de Irradiância média mensal, gerado pelo sistema RADIASOL 2, referente ao período entre janeiro e dezembro.

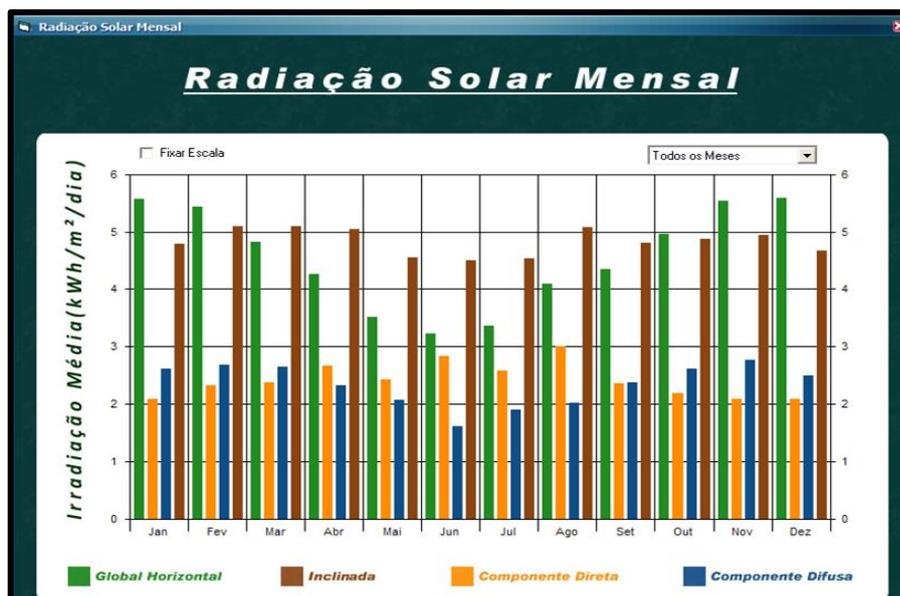


Figura 15 - Radiação Solar Mensal.

Fonte: LABSOL (2018).

A Figura 16 exibe as tabelas de dados referentes à irradiação média kWh/m²/dia e Irradiâncias Médias em W/ m².

Tabela de Dados

Irradiação Média (kWh/m²/dia)

Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	5,57	2,09	2,61	4,79
2	5,44	4,64	2,67	5,10
3	4,83	6,57	2,64	5,10
4	4,27	9,45	2,32	5,05
5	3,51	11,57	2,07	4,56
6	3,23	14,80	1,61	4,50
7	3,37	16,90	1,89	4,53
8	4,10	19,90	2,01	5,08
9	4,35	22,92	2,37	4,80
10	4,96	24,37	2,61	4,88
11	5,54	27,27	2,76	4,95

Irradiâncias Médias (W/m²)

Mês	Hora	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	4	0	0	0	0
1	5	19	0	3	3
1	6	124	6	72	79
1	7	269	62	136	203
1	8	450	161	203	371
1	9	525	206	245	460
1	10	637	268	297	577
1	11	743	339	335	687
1	12	709	292	364	669
1	13	667	308	276	596
1	14	574	241	248	498

Figura 16 - Irradiação Média (KWh/m²/dia) - Irradiância Média (W/m²).

Fonte: LABSOL (2018).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar o estudo teórico da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico isolado em uma edificação militar, no município de São Paulo/SP, tendo em vista a importância dos serviços de rádio de telecomunicação e iluminação local para o desempenho das funções da Polícia Militar (PM).

1.2.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho de dissertação tem como objetivos específicos:

- 1) Realizar um estudo da viabilidade de um sistema alternativo de energia, baseado na obtenção de energia elétrica a partir de instalação de células fotovoltaicas;
- 2) Verificar a viabilidade econômica de um projeto de conversão de energia solar em energia elétrica para uma edificação militar no município de São Paulo/SP.

1.3 Organização da Dissertação

No intuito de cumprir tais objetivos, a presente dissertação foi organizada em capítulos.

O capítulo 1 introduz o tema desta dissertação, levanta detalhes acerca do problema a ser estudado, apresenta uma fundamentação teórica sobre o sistema de energia solar fotovoltaico isolado e descreve os objetivos.

No capítulo 2 são apresentados os materiais e métodos utilizados na dissertação, a partir de sistematização de dados coletados, das normas regulamentares, estudo do caso e fontes de levantamentos de dados.

Já no capítulo 3 são abordados os resultados e discussões acerca da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico isolado em edificação militar da PM no município de São Paulo.

O capítulo 4 apresenta as conclusões finais, sintetizando as principais contribuições reflexivas e sugestões para trabalhos futuros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Considerações gerais

Neste trabalho foi analisada a viabilidade da implantação de um sistema isolado de energia fotovoltaica, em unidade militar, fazendo uso dos aplicativos acadêmicos RADIASOL E SUNDATA (CRESESB), ambos disponibilizados na *internet* de forma gratuita. Os dados obtidos a partir de tais aplicativos serviram de base para o projeto onde os valores obtidos foram aplicados no dimensionamento da instalação do conjunto de painéis solares e seus componentes.

2.2 A unidade militar

Com base na estrutura determinada pela legislação federal, a Polícia Militar do Estado de São Paulo encontra-se organizada na seguinte estrutura:

- Órgãos de Direção Geral;
- Órgãos de Direção Setorial;
- Órgãos de Apoio;
- Órgãos de Execução;
- Órgãos de Assessoria.

A estrutura da Polícia Militar do Estado de São Paulo é organizada no organograma exibido na Figura 17.

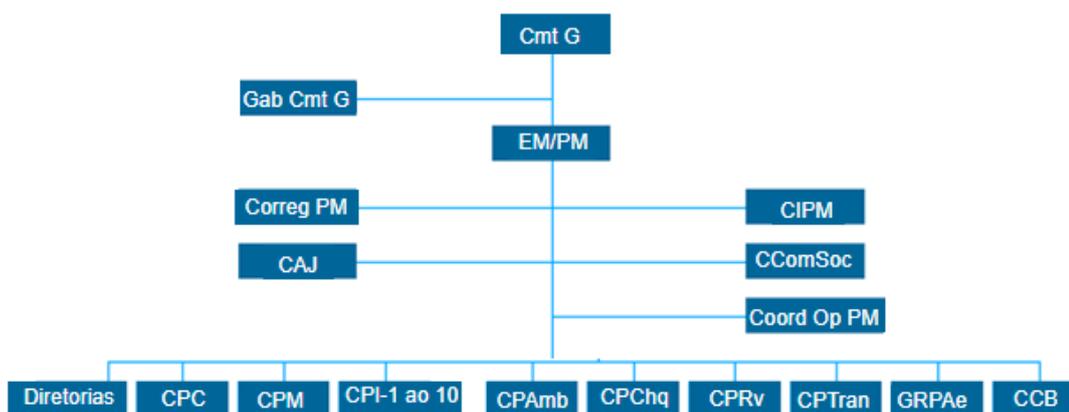


Figura 17: Organograma da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

Fonte: Jalonetsky (2017).

Cada lacuna da estrutura da Polícia Militar (Figura 17) representa um órgão da corporação, sendo:

- CAJ - Coordenadoria de Assuntos Jurídicos;
- CCB - Comando do Corpo de Bombeiros;
- CComSoc - Centro de Comunicação Social da Polícia Militar;
- CIPM - Centro de Inteligência da Polícia Militar;
- Cmt G - Comandante Gera;
- Coord Op PM - Coordenador Operacional da Polícia Militar;
- Correg PM - Corregedoria da Polícia Militar;
- CPAmb - Comando de Policiamento Ambiental;
- CPC - Comando de Policiamento da Capital;
- CPChq - Comando de Policiamento de Choque;
- CPI - Comando de Policiamento do Interior;
- CPM - Comando de Policiamento Metropolitano;
- CPRv - Comando de Policiamento Rodoviário;
- CPTran - Comando de Policiamento de Trânsito;
- EM/PM - Estado-Maior da Polícia Militar;
- Gab Cmt G - Gabinete do Comandante Geral;
- GRPAe - Grupamento de Radiopatrulha Aérea da Polícia Militar.

No presente trabalho, com a devida autorização, serviu como base a unidade militar onde funciona a sede da 4ª Cia. do 8º BPMM CPC (Comando de policiamento da Capital), na área leste da cidade de São Paulo, cuja localização e estrutura física favorecem o dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

2.3 Localização geográfica da unidade militar

A localização geográfica da unidade militar (4ª Cia. do 8º BPMM CPC) foi realizada através do *google maps*, e o dimensionado sem escala utilizando o aplicativo *AutoCad®*, conforme figura 18.



Figura 18 - Localização da 4ª Cia. do 8º BPMM CPC (AutoCad).



Figura 19 - Imagem da 4ª Cia. do 8º BPMM CPC (Google Maps).

A partir do ponto de identificação da edificação, foram coletadas informações do endereço da 4ª Cia. do 8º BPMM CPC: Rua Saigon n.º 201 – Vila formosa, São Paulo SP (CEP: 03360-010). Em área residencial, com bairro formado e sem sombreamento nas imediações do local. A edificação está cercada por imóveis de altitude menor ou igual e rua de asfalto. Tal configuração maximiza a geração de energia pelos módulos fotovoltaicos.

As coordenadas geográficas da 4ª Cia. do 8º BPMM CPC, latitude: 23,5683634º Sul e longitude: 46,5445384º Oeste, foram inseridas no simulador *SunData v 3.0*, disponível no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). O resultado obtido é exibido nas Figuras 20 e 21.

Localidades próximas

Latitude: 23,568363° S
Longitude: 46,544538° 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"/>	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,549° O	3,7	5,19	5,44	4,67	4,14	3,40	3,16	3,26	4,16	4,18	4,69	5,11	5,65	4,42	2,50
<input type="checkbox"/>	Guarulhos	Guarulhos	SP	BRASIL	23,5° S	46,549° O	7,6	5,20	5,51	4,69	4,14	3,40	3,17	3,26	4,20	4,20	4,72	5,08	5,65	4,44	2,47
<input type="checkbox"/>	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,449° O	10,4	5,21	5,45	4,67	4,14	3,37	3,13	3,23	4,11	4,16	4,68	5,09	5,64	4,41	2,51

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

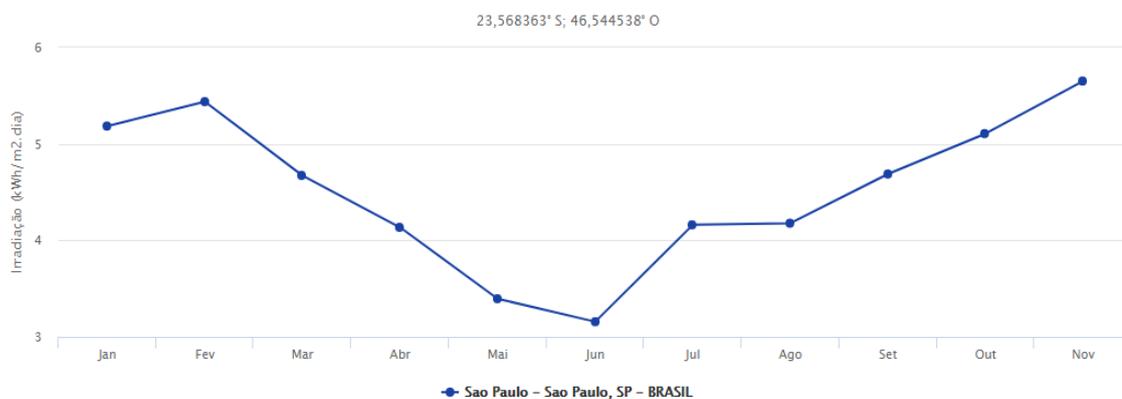


Figura 20 – Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sao Paulo
Município: Sao Paulo, SP - BRASIL
Latitude: 23,601° S
Longitude: 46,549° O
Distância do ponto de ref. (23,568° S; 46,544° O): 3,7 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	5,19	5,44	4,67	4,14	3,40	3,16	3,26	4,16	4,18	4,69	5,11	5,65	4,42	2,50
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,69	5,18	4,80	4,69	4,20	4,11	4,14	4,95	4,44	4,57	4,68	5,02	4,62	1,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,78	5,25	4,82	4,65	4,13	4,02	4,06	4,88	4,43	4,62	4,76	5,13	4,63	1,23
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	34° N	4,34	4,89	4,68	4,74	4,37	4,35	4,35	5,08	4,38	4,36	4,35	4,60	4,54	,74

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Sao Paulo–Sao Paulo, SP-BRASIL

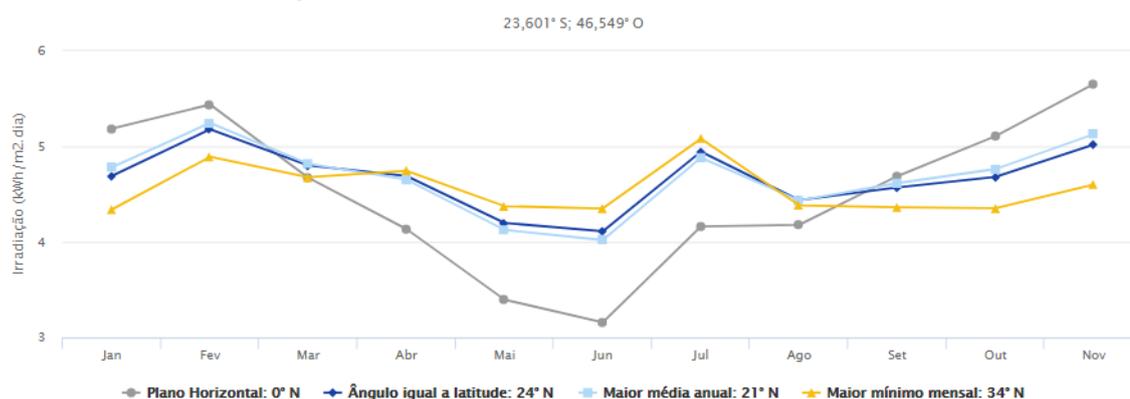


Figura 21 – Irradiação solar no plano inclinado na cidade de São Paulo.

2.2 Principais fontes de consumo de energia elétrica da unidade militar

O sistema foi dimensionado com o consumo da carga estimada em *watts*/hora (W/h). A Tabela 2 mostra o consumo dos equipamentos de maior prioridade em uma unidade militar, usados nos seguintes pontos de energia:

- Ponto de tomada para o rádio de comunicação fixa;
- Ponto de iluminação com lâmpadas LED;
- Ponto de tomada para a recarga das baterias do rádio transmissor portátil *modelo HT*.

Tabela 2: Levantamento do consumo.

CARGA	POTENCIA TOTAL	Hs	CONSUMO
06 Lâmpadas Led (20W)	120W (6 x 20W)	12	1600 W/H
01 Radio model Base comunicador Motorola (200W)	200W (1 x 200W)	12	2400 W/h
01 Carregador para rádio comunicador portátil model HT	200W (1 x 200W)	12	2400 W/h
			<u>E_c (max.) 6400 W/h</u>

Sendo E_c a energia consumida diariamente, a partir da Tabela 2, pode-se afirmar que o consumo de energia diário da unidade militar é de 6.400 W/h.

O rádio comunicador de base fixa (Figura 22) é de fundamental importância para o serviço da PM, especialmente no contato com as viaturas nas ações de policiamento ostensivo/preventivo, sua utilidade interfere diretamente no tempo de resposta.



Figura 22 - Rádio Comunicador de base fixa (Motorola).

Já o Rádio Comunicador de base móvel (Figura 23), utilizado no interior das viaturas operacionais, é de fundamental utilidade para o serviço de patrulhamento em vários setores e subsetores de uma determinada região. O rádio comunicador é o aparelho que permite a comunicação com as demais viaturas em serviço, com a unidade militar e com o COPOM.



Figura 23 - Rádio Comunicador de base móvel.

Além do Rádio Comunicador, um bom sistema de iluminação é de fundamental importância para o desempenho das necessidades operacionais de uma unidade militar da PM. A Figura 24 exibe a iluminação do local de atendimento ao público no interior de uma unidade militar.



Figura 24: Foto do local de atendimento ao público da unidade PM.

No tocante a instalação física do sistema de energia solar fotovoltaica isolado, nenhuma adequação física se fez necessária para implantação do projeto. O posicionamento dos módulos voltados para o norte favoreceu o cenário de geração máxima possível de energia a partir da radiação solar. Verificou-se que um risco importante a considerar é a segurança no momento da instalação, uma vez que o imóvel possui alta elevação. A edificação possui malhas de aterramento no esquema TN-C, conforme determina a norma ABNT NBR 5410:2004, com resistência de inferior a 10Ω mesmo em solo seco. A instalação original, composta por duas hastes de 2,44 metros (cada), com seção de 5/8" enterradas no solo, garante a qualidade do aterramento (Apêndice C).

2.3 Desenvolvimento do projeto na unidade militar

A planta baixa (Figura 25) consiste no dimensionamento dos módulos fotovoltaicos na edificação, identificando a quantidade de painéis no telhado e os pontos mencionados que incluem: posicionamento do eletroduto, quadro de distribuição; posicionamento do inversor, banco de baterias e padrão de entrada.

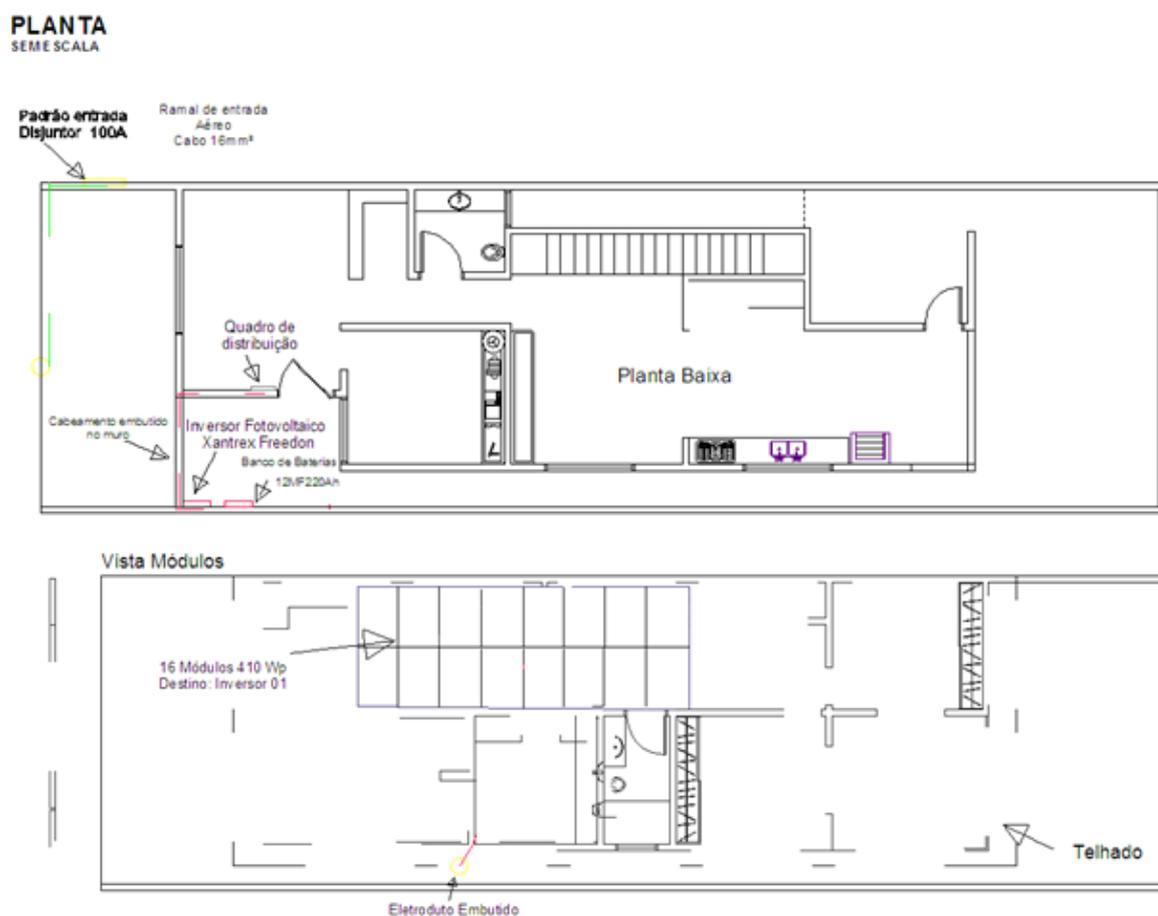


Figura 25: Planta baixa.

O Apêndice D exibe o *layout* de instalação para o sistema fotovoltaico, com o discriminativo de todos os itens integrantes.

O módulo de silício policristalino recomendado para este dimensionamento é o SE-B350BXC-39 (*Sunidision*), que fornece 410 W/h de energia diariamente em local com cinco horas diárias de insolação, considerando sua corrente máxima em NOCT e operação de 12 V de tensão. Para ter uma demanda em 24 V, é necessária a utilização de dois módulos em série e os demais em paralelo.

Para o cálculo para quantidade de módulos foi utilizada a Equação (1):

$$N = \frac{E_c}{E_p} \quad (1)$$

Em que: N= E

N = Numero de módulos empregados no sistema;

E_c = Energia diária consumida no sistema [Wh];

E_p = Energia produzida por módulo [Wh].

O conjunto de módulos ligados (16) em série e paralelo, devidamente posicionados na cobertura, visando o melhor desempenho dos equipamentos, pode ser observado na Figura 26.



Figura 26 - Cobertura e módulos.

Segundo a recomendação da empresa que fabrica os condutores para instalação de placas fotovoltaicas, para este dimensionamento foi recomendado material unipolar, flexível, com condutor de cobre estanhado, isolamento em HEPR e cobertura em PVC, com resistência a UVB para tensões até 1 Kv.(Figura 27).

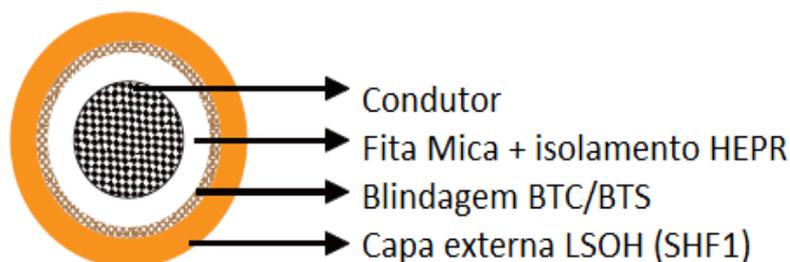


Figura 27: Condutor de cobre estanhado.

Após análise dos componentes, foram verificados quais são as possíveis quedas de tensões no cabeamento, tanto no caminho entre módulo e inversor, quanto no caminho entre o inversor e o ponto de conexão com a rede, conforme

Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Circuito de corrente contínua.

Circuito CC									
Origem	Destino	Distância	Bitola	Proteção	Resistência	Tensão Nom.	Isc Máx.	ΔV	
Linha	Inversor	25 m	6mm ²	DPS	5,09 Ω /Km	184,7 V _{cc}	9,32 A	2,37 V	1,3%

Nota: O limite máximo para queda nos condutores CC é de 3% de acordo com a norma IEC/TS 62548:2013.

Tabela 4: Circuito de corrente alternada.

Circuito CA									
Origem	Destino	Distância	Bitola	Proteção	Resistência	Tensão Nom.	Isc Máx.	ΔV	
Inversor	QDG	30m	6mm ²	DJ 32 ^a	5,09 Ω /Km	220V _{ca}	7 ^a	1,42	0,7%

De acordo com a norma ABNT NBR 5410:2004, as classificações e fatores de correção para o ponto de maior carregamento são: método de Instalação= eletroduto e cabos unipolares, fator de correção por temperatura= 0,71, fator de agrupamento= 0,57, capacidade de cabo 6mm² isolado em PVC: 32A e dois condutores.

Os módulos deverão ser fixados, através de estruturas metálicas de alumínio e suportes de aço galvanizado, com parafusos em Inox. Os parafusos que se fixam diretamente na estrutura da cobertura, aumentado à resistência de fixação conforme segue a figura 28.

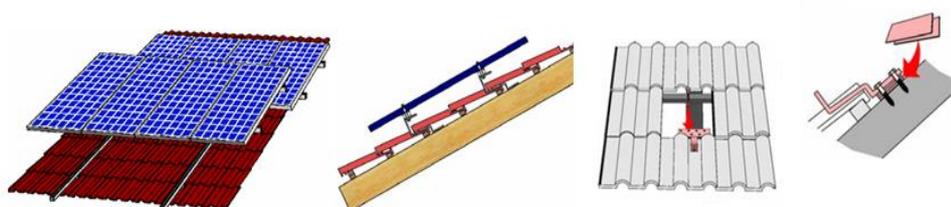


Figura 28: Estrutura e montagem.

O ângulo de incidência do raio solar, representado por β , é um dos fatores importantes para o projeto, pois o melhor aproveitamento de energia ocorre quando os raios atingem perpendicularmente o ângulo $\beta=0$, ideal para a maior captação de energia solar. Para a localização do ângulo de latitude e longitude, como já foi citado. No presente trabalho foram utilizados: o site *Google Maps* e o aplicativo Sun Data do site do CRESESB.

A bateria estacionária adotada foi a de chumbo ácido, pois segundo a pesquisa

verificou-se a ideal para o sistema de armazenamento de energia solar.

A quantidade de baterias instaladas foi determinada pela Equação (2):

$$N_{bs} = \frac{V_{banco}}{V_{vabt}} \quad (2)$$

Em que:

N_{bs} é o números de baterias ligadas em série;

V_{banco} é a tensão do banco de baterias [V];

V_{vabt} é a tensão de bateria utilizada.

A capacidade do banco de bateria foi determinada pela Equação (3):

$$C_{banco} = \frac{E_A}{V_{banco}} \quad (3)$$

Em que:

C_{banco} é a capacidade de carga do banco de baterias em ampere-hora [Ah];

E_A é a energia armazenada no banco de baterias [Wh];

V_{banco} é a tensão do banco de baterias [V].

A energia armazenada foi calculada pela Equação (4):

$$E_A = \frac{E_C}{P_D} \quad (4)$$

Em que:

E_A é a energia armazenada no banco de baterias [Wh];

E_C é a energia Consumida [Wh];

P_D é a profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80% etc.).

A quantidade de baterias instaladas em paralelo foi determinada pela equação (5):

$$N_{BP} = \frac{C_{banco}}{C_{bat}} \quad (5)$$

Em que:

N_{BP} = Número de conjuntos de baterias ligados em paralelo;

C_{banco} = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère-hora [Ah];

C_{bat} = Capacidade de carga de bateria em ampère-hora [Ah].

Conforme o fabricante foi utilizado o inversor do tipo *Xantrex Freedom*, que neste projeto, está equipado com terminais AC de conexão rápida e controle de ignição, capacidade e lógica de gerenciamento de bateria inteligente programável, permitindo facilidade na instalação. O recurso de controle de ignição minimiza drenagem de bateria indesejada, desativando o aparelho quando a ignição é desligada. Este inversor foi projetado para o ambiente frio, com desempenho de temperatura até -20°C conforme a especificação do fabricante, demonstrado no Apêndice E.

O Diagrama Multifilar (Figura 29) foi elaborado no aplicativo *AutoCad Student* 2014 e mostra as interligações elétricas dos equipamentos e detalhes da instalação elétrica do projeto.

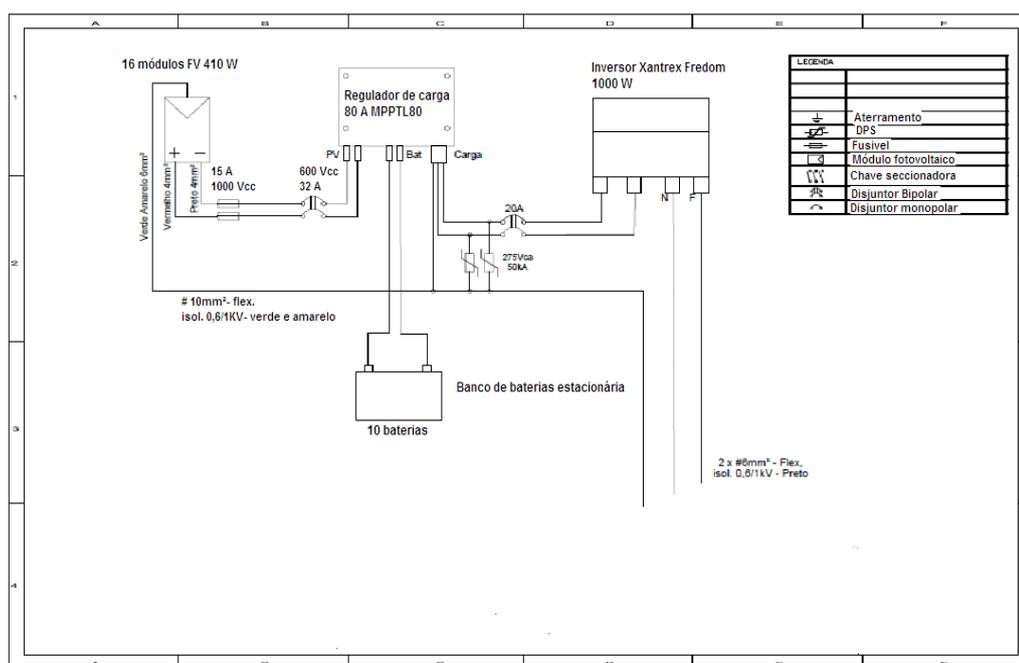


Figura 29: Diagrama multifilar da instalação elétrica do projeto.

O detalhamento do diagrama multifilar pode ser melhor observado no Apêndice B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados de um estudo da viabilidade de instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico isolado na unidade militar onde funciona o 4ª Cia. do 8º BPMM CPC, sito à Rua Saigon n.º 201, vila formosa, no município de São Paulo/SP (CEP: 03360-010).

A partir da definição do projeto de instalação do sistema de energia solar fotovoltaico isolado na referida unidade militar, será realizada uma análise de custo e o retorno de investimento, visando verificar a sua viabilidade.

Na definição dos custos, o primeiro passo do projeto é o estabelecimento das quantidades de cada um dos componentes que integrarão o sistema de energia solar.

Uma vez que cada módulo de silício policristalino (SE-B350BXC-39-Sunidision) fornece 410 W/h de energia por dia e o consumo diário da unidade militar corresponde a 6400 W/h, a quantidade de módulos fotovoltaicos é de 16 módulos e foi obtida através da Equação (1):

$$N = \frac{6400}{410} = 15,609 \text{ ou } 16 \text{ módulos.}$$

Uma vez determinada a quantidade de 16 módulos fotovoltaicos, o próximo passo consiste em definir a capacidade necessária para o controlador de carga que será utilizado no sistema.

Dividindo os 16 módulos fotovoltaicos em dois conjuntos, sendo 8 módulos em série, conectados em paralelo a outros 8 módulos, também em série, considerando que cada módulo irá consumir no máximo 8,41 A, (cálculo referente a corrente elétrica de 8 módulos):

$$8 \times 8,41 \text{ A} = 67,28 \text{ A (corrente elétrica).}$$

Considerando que, por questão de segurança, serão acrescentados 10% como fator de segurança, à corrente máxima de cada um dos módulos para garantir que a corrente máxima do controlador de carga especificado não seja excedida em hipótese alguma, conforme a equação abaixo:

$$67,28 \text{ A} \times 1,1 = 74,01 \text{ A (corrente elétrica)}.$$

Desse modo verifica-se que o controlador de carga deverá operar numa tensão de 24 V e suportar a corrente máxima de 74,01 A.

Após definir a quantidade de módulos, a capacidade do controlador de carga, foi então definida a quantidade de baterias que são usadas no sistema. Definição que impactará diretamente tanto nos custos quanto no retorno de investimento do projeto, tendo em vista a capacidade de armazenamento da energia excedente gerada pelo sistema.

Considerando que a bateria ideal para o presente projeto é a estacionária, são apresentados na Tabela 5 os dados necessários para a apuração da quantidade de baterias do sistema.

Tabela 5: Principal característica da bateria estacionária.

Capacidade de carga	
Tempo de carga	Capacidade de carga
10 horas	200 Ah
20 horas	220 Ah
100 horas	240 Ah
Tensão de flutuação 13,2 V a 13,8 V (em 25 °C)	
Tensão de carga 14,4 V a 15,5 V (em 25 °C)	
Coeficiente de compensação de temperatura -0,033 V/ °C	

Com os dados de carga tem-se que:

$$E_c = 6400 \text{ Wh (energia consumida em 12 hs)}$$

Sabendo que E_A é a energia armazenada no banco de baterias [Wh], para apuração da energia acumulada em 24h (1 dia = 2 x 12h), é feito o seguinte cálculo:

$$E_A = 6400 \text{ Wh} \times 2 = 12800 \text{ Wh ou } 12,8 \text{ KWh}$$

Portanto ficou especificado que o banco de baterias deverá ter a tensão de 24 V, com a bateria estacionária de 12 V.

Assim sendo, a quantidade de conjunto de baterias conectadas em série será:

$$N_{bs} = \frac{24}{12} = 2$$

De posse de tais números, foi então apurada a capacidade do banco de baterias (C_b):

$$C_b = \frac{\frac{E_c (1 \text{ dia})}{V_{\text{sistema}}}}{\% \text{ de descarga}} = \frac{\frac{12800}{24}}{0,5} = 1066,66 \text{ Ah}$$

Para apurar o número de conjuntos de baterias conectado em paralelo, foi utilizada a seguinte equação:

$$N_{bp} = \frac{1066,66}{240} = 4,44$$

Visando uma maior eficiência de carga, o valor é arredondado para cinco conjuntos (4,44).

Ou seja, neste projeto foi utilizado um conjunto composto por duas séries de baterias, com cinco conjuntos cada, totalizando dez baterias.

3.1. Análise de custo

Cada item dimensionado no sistema fotovoltaico tem uma avaliação de custo para a implantação.

A partir da definição das quantidades de módulos de silício policristalino necessários, a capacidade necessária para o controlador de carga e a quantidade de baterias necessárias, o passo seguinte consistiu em determinar os custos do projeto.

A análise de custos de um projeto é fundamental para a avaliação da viabilidade do sistema.

A partir de orçamentos realizados em empresas especializadas, através de *web site* e contato telefônico, foi elaborada a Tabela 6, com base nos custos médios estimados para cada um dos componentes integrantes do sistema isolado fotovoltaico de energia solar instalado na unidade militar selecionada no presente trabalho.

Tabela 6: Custo estimado para a implantação do sistema isolado fotovoltaico de energia solar na unidade militar.

QTDE	PRODUTO	MARCA	VALOR UN.	TOTAL
16	Modulo FVT SE-B350BXC-39	Sunidision Brasil Energia	383,04	6.128,64
10	Bateria estacionária	Moura 12MF220 (220 Ah)	471,20	4.712,00
01	Controlador de carga	90 A MPPT L90 12/24 V	586,00	586,00

Continua

QTDE	PRODUTO	MARCA	VALOR UN.	TOTAL
01	Inversor de frequência HF 1000W	Xantrex Freedom	2.799,00	2.799,00
06	Lâmpadas Leds 20 W	Philips	24,22	145,32
01	Estrutura com suporte de AL. + Materiais elétricos		3.000,00	3.000,00
				18.548,96

Analisando a Tabela 6, pode-se observar que o segundo maior custo foi com as baterias estacionárias (Figura 30). Porém, tais baterias também são responsáveis pelo maior retorno de investimento, tendo em vista sua capacidade de armazenar a energia excedente gerada pelo sistema.



Figura 30 - Bateria Estacionária Moura Clean 12MF220.

Fonte: Conceito Solar (2018)

3.2 Retorno de investimento

O retorno do investimento foi calculado considerando seguintes informações:

- 1) O valor do consumo de KW/h cobrado pela concessionária de energia elétrica, atualmente monta em R\$0,67;
- 2) O consumo diário de energia pela unidade militar totalizando 6,4 KW/h;
- 3) O cálculo do valor para 30 dias será calculado pela equação:

$$\text{Custo} = \text{Energia consumida} \times \text{Tarifa.}$$

Pode-se apurar o custo anual, através da seguinte equação:

$$\text{Custo Anual} = 6,4 \text{ KW/h} \times 365 \text{ dias} \times \text{R}\$0,67 = \text{R}\$1.565,12 \text{ por ano.}$$

Segundo a empresa fabricante dos módulos fotovoltaicos, a vida útil é de 20 anos, assim pode-se calcular:

$$\text{Custo para 20 anos} = \text{R}\$1.565,12 \text{ por ano} \times 20 \text{ anos} = \text{R}\$31.302,40.$$

Considerando a vida útil de cada qual dos componentes integrantes do sistema fotovoltaico isolado de energia solar, a Tabela 7, a seguir foi elaborada para demonstrar tal relação.

Tabela 7: Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL	QUANTIDADE EM 20 ANOS	VALOR UNITARIO (em R\$)	TOTAL (em R\$)
Bateria estacionária	5	40	471,20	18.848,00
Controlador de carga	10	2	586,00	1.172,00

Continua

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL	QUANTIDADE EM 20 ANOS	VALOR UNITARIO (em R\$)	TOTAL (em R\$)
Inversor de frequência	10	2	2799,00	5.598,00
Módulos FVT	20	16	383,04	6.128,64
Estrutura e materiais elétricos		1	3.000,00	3.000,00
				R\$ 34.746,64

Ao analisar os custos com energia elétrica, para o funcionamento da unidade militar nos próximos 20 anos, que totaliza R\$ 31.302,40, em comparação com os custos gerados pelo sistema fotovoltaico no mesmo período que montam em R\$ 34.746,64, sem considerar eventuais ajustes em relação a custo de materiais, nem tarifas de energia elétrica, o projeto é considerado inviável em se tratando de capital financeiro, mas o atendimento ao cidadão é de suprema importância onde à vida é o maior valor.

Porém, com a adaptação de uma chave comutadora, que permite o desvio da energia excedente gerada para a rede elétrica concessionária, gerando um maior retorno de investimento tendo em vista o crédito gerado, projeto pode se tornar viável.

3.3 Projeto do sistema fotovoltaico utilizando um circuito comutador de rede

A implantação de um circuito comutador de rede no sistema isolado de energia solar tem a finalidade de mudar o caminho da energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Sempre que a bateria alcança sua carga máxima, ou seja, 100% carregada, o comutador tem a função de desviar automaticamente a energia excedente para a

rede elétrica da concessionária, conforme demonstrado na Figura 31, possibilitando uma considerável redução no custo final.

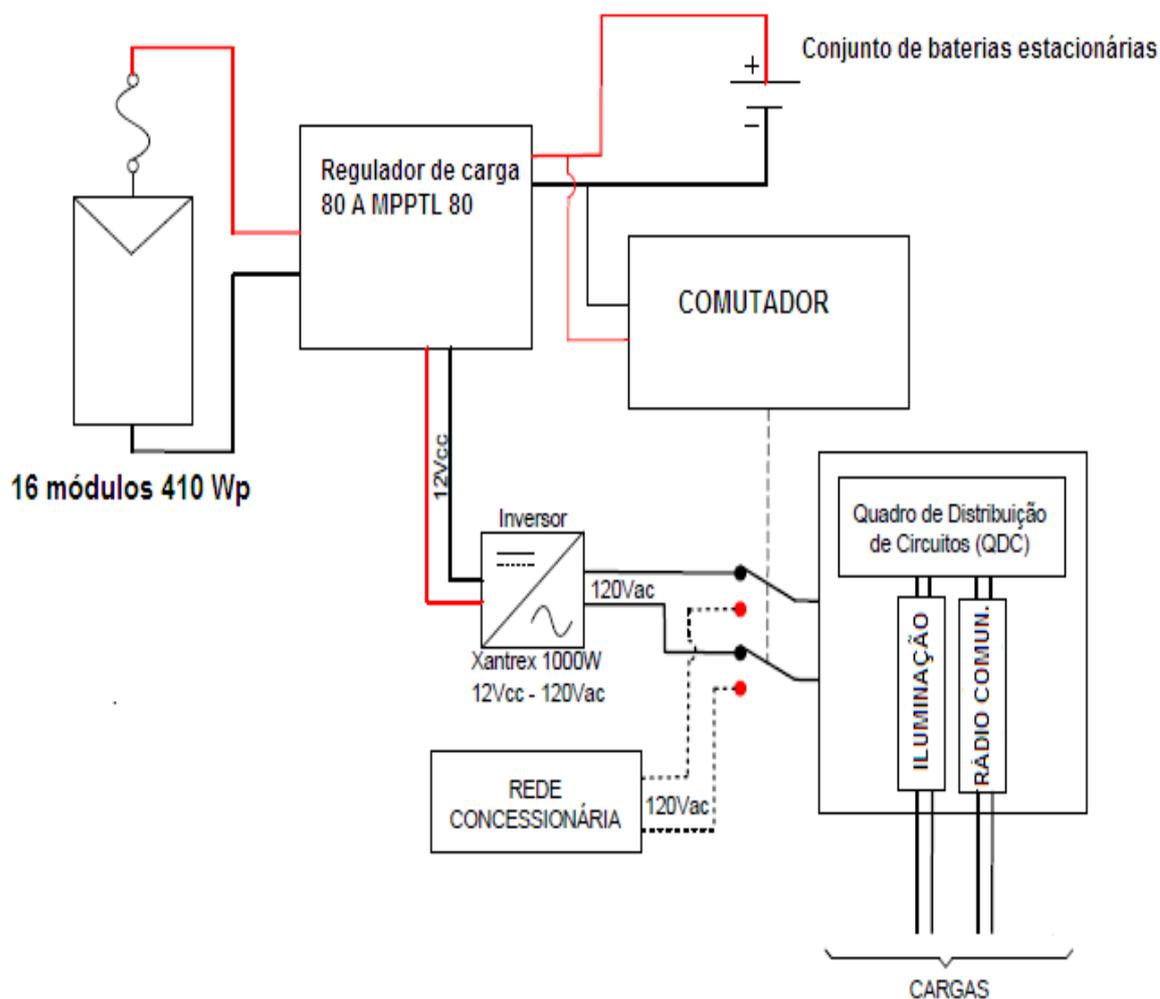


Figura 31- Circuito comutador de rede.

3.4 Retorno de investimento com um circuito comutador de rede

Se acrescentarmos na Tabela 7, o valor de R\$ 600,00, que é o preço cotado para um circuito comutador de marca Siemens ou Scheneider, o valor total do sistema, ao final de 20 anos ficaria R\$ 35.346,64, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8: Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL	QUANTIDADE EM 20 ANOS	VALOR UNITARIO (em R\$)	TOTAL (em R\$)
Bateria estacionária	5	40	471,20	18,848,00
Controlador de carga	10	2	586,00	1.172,00
Inversor de frequência	10	2	2799,00	5.598,00
Módulos FVT	20	16	383,04	6.128,64
Estrutura e materiais elétricos		1	3.000,00	3.000,00
Circuito Comutador		1	600,00	600,00

R\$ 35.346,64

Com a inserção do comutador no projeto a previsão de energia injetada na rede elétrica da concessionária seria de algo em torno de 765,394 kWh/mês.

Tal previsão foi apurada tendo por base dados obtidos no portal CRESESB. Tais informações acerca da irradiação solar entre os meses de janeiro e dezembro, estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Irradiação solar.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
4,78	5,25	4,82	4,65	4,13	4,02	4,06	4,88	4,43	4,62	4,76	5,13

Na Figura 32 os dados da irradiação solar exibidos na Tabela 9 são representados graficamente.

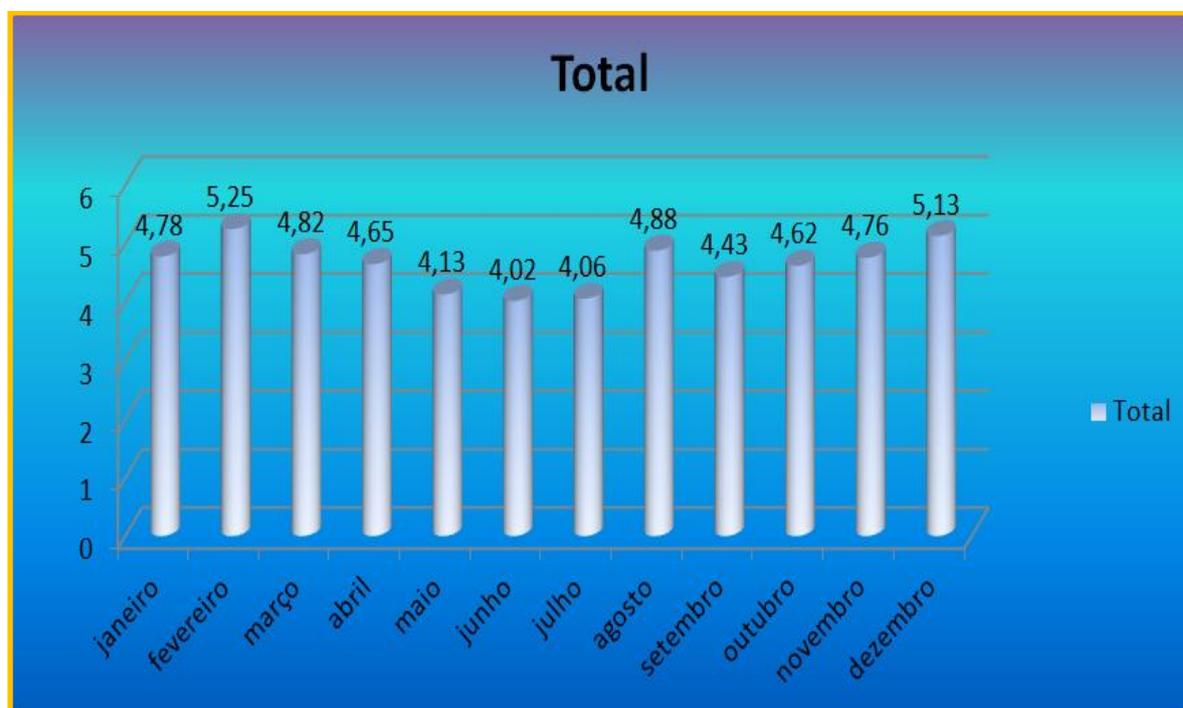


Figura 32: Irradiação solar.

Após analisar a Tabela 9 e o Gráfico da Figura 32 se pode calcular que a irradiação média anual será 4,63 kWh/m²/dia e considerando como a inclinação ideal 21° ao norte.

Refazendo os cálculos dos custos do sistema fotovoltaico isolado, com a inclusão do comutador, levando em conta os 16 módulos fotovoltaicos com potência de 410 Wp cada, que irão gerar uma potencia de 6.560W, tem-se que:

- 1) A potencia diária gerada será igual a: $6560 \times 4,63 = 30372,8 \text{ Wh/dia}$;
- 2) Considerando Eficiência de 84% do sistema dos módulos e componentes:
 $0,84 \times 30372,8 = 25513,152 \text{ Wh/dia}$;
- 3) A geração de energia elétrica em um mês (30 dias) será equivalente a:
 $25513,152 \times 30 = 765394,56 \text{ Wh/mês}$;
- 4) A Geração total mensal será de 765,394 kWh/mês.

Ao adaptar um comutador no sistema fotovoltaico isolado para o projeto, surge a possibilidade de que, uma vez carregadas às baterias de energia, pode-se obter algum crédito junto à concessionária de energia elétrica, aumentando o retorno financeiro.

Assim sendo, foi possível analisar duas possibilidades para a inserção dos módulos fotovoltaicos de sistema isolado na unidade militar:

- 1) Hipótese 1: O sistema fotovoltaico isolado;
- 2) Hipótese 2: O sistema fotovoltaico isolado com um circuito comutador.

Na Hipótese 1 foi observado, a partir da análise dos dados e apuração dos custos, que o sistema fotovoltaico isolado não gera retorno de investimento, considerando a economia com custos que a unidade militar iria gerar fazendo uso da fonte de energia elétrica tradicional, conforme demonstrado no gráfico exibido na Figura 33. O gráfico mostra com valores ao final do primeiro ano de uso do sistema de energia solar, após 5 anos, após 10 anos, após 15 anos, e finalmente, ao final de 20 anos de vida útil.

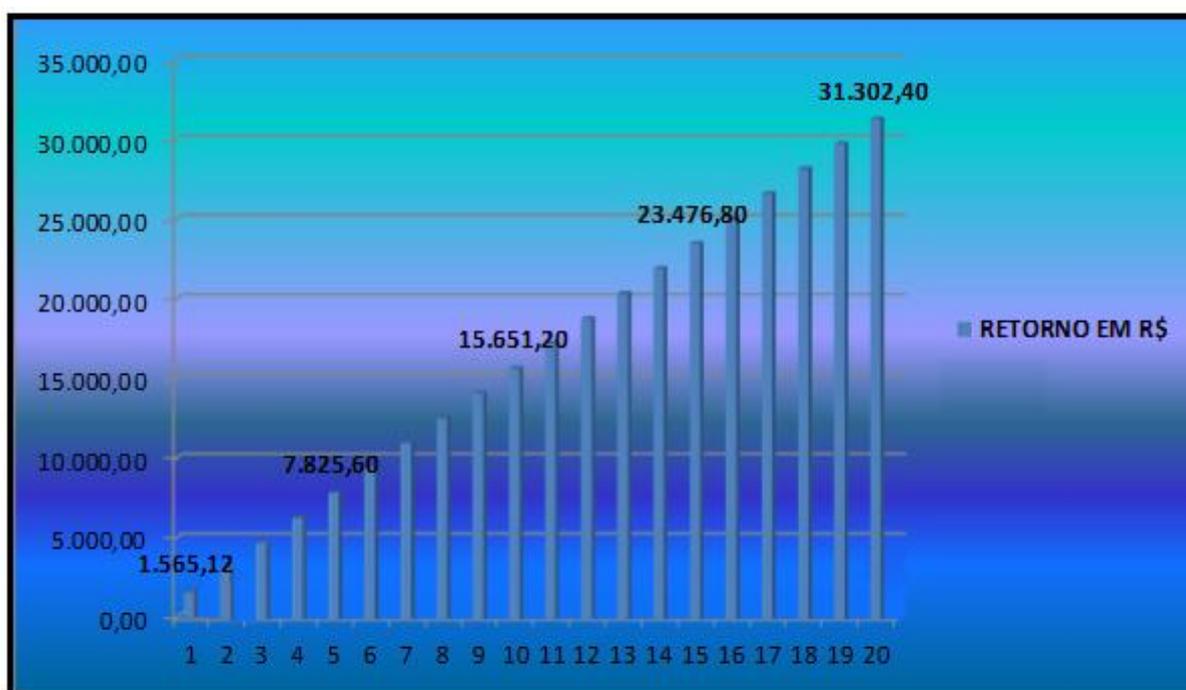


Figura 33- Retorno financeiro do sistema isolado (hipótese 1).

Levando em conta os valores expostos no gráfico acima (Figura 33),

comparando com o valor de investimento na construção do sistema fotovoltaico isolado (hipótese 1), conforme Tabela 7, tem-se:

- 1) Valor de investimento de R\$ 34.746,64;
- 2) Valor do retorno financeiro de R\$ 31.302,40;
- 3) O valor investido será aproximadamente 10% maior que o retorno financeiro.

Já na hipótese 2, com a integração do circuito comutador, haverá uma geração de energia excedente prevista de 765.394 kWh/mês, considerando o valor de R\$ 0,16 por kWh (obs/ o valor sem impostos) de energia inserido na rede de energia elétrica tradicional, nesta hipótese poderá gerar o retorno de investimento ao final de 6 anos, e o retorno expressivo em torno de R\$ 123.012,00, ao final dos 20 anos de via útil, conforme demonstra o gráfico exibido na Figura 34.

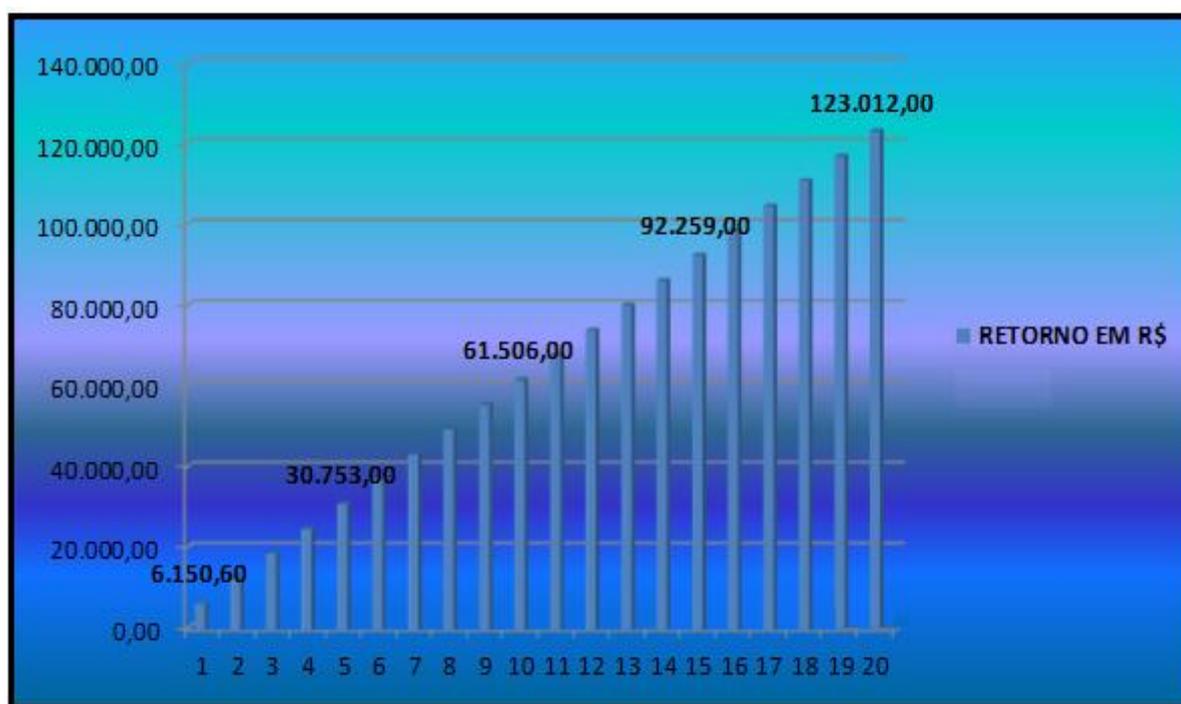


Figura 34- Retorno financeiro com sistema fotovoltaico isolado utilizando o circuito comutador (hipótese 2).

Ou seja, com o sistema fotovoltaico isolado, utilizando o circuito comutador, além de armazenar a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, sempre que as baterias alcançarem 100% de carga, a energia elétrica excedente do dia a dia seria injetada na rede elétrica da concessionária, gerando um retorno positivo de investimento.

Comparando os dois sistemas, fica evidente, ao final dos 20 anos de vida útil do sistema, o melhor retorno financeiro está representado na Hipótese 2.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi demonstrado o dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado em edificação militar, usando como paradigma a 4ª Cia. do 8º BPMM CPC (Comando de policiamento da Capital), como alternativa para a questão da falta de energia, que assola o serviço da polícia militar.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- 1) Ao estudar a unidade militar, pode-se observar que os serviços prestados pela Polícia Militar dependem muito da energia elétrica, especialmente na iluminação das dependências do prédio e no uso dos equipamentos de telecomunicação;
- 2) A telecomunicação via rádio é a principal fonte de comunicação das viaturas de patrulha com as demais viaturas, com a unidade militar e com o COPOM, ou seja, sem energia, os policiais em patrulha teriam que trabalhar as cegas;
- 3) A implantação de um sistema fotovoltaico isolado na unidade militar é inviável, pois apresenta um retorno negativo de 10%;
- 4) A aplicação de um sistema fotovoltaico isolado, com circuito comutador, na unidade militar é viável, pois além de sanar a questão da falta de energia elétrica, proporciona o retorno do investimento em 6 anos;
- 5) O sistema fotovoltaico isolado com circuito comutador representa um projeto de inovação e melhorias em uma organização militar, uma referência economicamente viável para outras organizações militares, com um expressivo retorno financeiro, ao final dos 20 anos de vida útil, superior a R\$ 123.000,00.

4.1 Trabalhos futuros

Como sugestões para trabalho futuro pode-se elencar:

- 1) Dimensionar e estudar a viabilidade do sistema fotovoltaico em outras unidades operacionais e órgãos da Polícia Militar;

- 2) Desenvolver um sistema fotovoltaico isolado portátil, adaptado para que tenha a mobilidade e facilidade para montar e desmontar;
- 3) Adaptar o sistema fotovoltaico isolado portátil à diferentes níveis de complexidade, interligando bancos de baterias com rádios comunicadores, que poderiam ser carregados para qualquer território, principalmente em locais remotos;
- 4) Verificar a viabilidade de implantação de sistema solar fotovoltaico conectado a rede elétrica, visando avaliar a economia de energia elétrica em setores públicos e campanhas como programas de incentivo.

5. Versão Compacta

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UM SISTEMA ISOLADO

FEASIBILITY STUDY FOR GENERATION IMPLANTATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY IN AN ISOLATED SYSTEM

Maykon Robert Nunes Gomes, Mauricio Conceição Mario e Luiz Augusto Pereira
Fernandes

Unisanta – Universidade Santa Cecília –Programa de Mestrado em Engenharia
Mecânica -PPGEMec

E-mail: engenheiriromaykon@gmail.com

Resumo: No presente trabalho, a introdução aborda a crise de energia que assola o mundo moderno, os impactos de tal crise no trabalho da Polícia Militar e o funcionamento do COPOM, a importância da energia solar como solução para a falta de energia elétrica, os componentes de um sistema gerador de energia solar e a insolação da região da Cidade de São Paulo. Este trabalho tem como objetivo principal realizar o estudo teórico da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico isolado em edificação militar, no município de São Paulo/SP, e objetivos específicos: realizar um estudo da viabilidade de implantação de um sistema alternativo de energia, baseado na obtenção de energia elétrica a partir de instalação de células fotovoltaicas (*off-grid*) e verificar a viabilidade econômica de um projeto de conversão de energia solar em energia elétrica para uma edificação militar no município de São Paulo/SP. No capítulo matérias e métodos são feitas algumas considerações gerais sobre o projeto, em seguida é feita uma descrição do estudo do caso realizado em uma unidade militar na cidade de São Paulo, são citadas as principais fontes de consumo de energia elétrica da unidade militar, e demonstrado como pode ser realizado o desenvolvimento do projeto na unidade militar, a partir da avaliação de duas hipóteses de implantação do sistema fotovoltaico de energia solar. Na hipótese 1 foi avaliada a implantação do sistema isolado. A hipótese 2 avaliou o sistema isolado com comutador, retornando energia excedente à rede elétrica. A partir dos resultados pode-se concluir que apenas a segunda hipótese tem viabilidade para aplicação na unidade militar, solucionando a questão da falta de energia.

Palavras-chave: Falta de energia elétrica. Energia alternativa. Polícia Militar. Painéis fotovoltaicos.

Abstract: In the present work, the introduction addresses the energy crisis that plagues the modern world, the impacts of such a crisis on the work of the Military Police and the functioning of the COPOM, the importance of solar energy as a solution to the lack of electricity, a solar energy generating system and the insolation of the region of the City of São Paulo. The main objective of this work is to carry out a theoretical study of the installation of a photovoltaic solar energy system isolated in a military building in the city of. And specific objectives: to carry out a study of the

feasibility of implementing an alternative energy system, based on the acquisition of electricity from the installation of photovoltaic cells (off-grid) and to verify the economic viability of a project to convert solar energy into electricity for a military building in the city of São Paulo / SP. In the chapter on materials and methods some general considerations about the project are made, a description of the case study carried out at a military unit in the city of São Paulo is given, the main sources of electric power consumption of the military unit are mentioned, and demonstrated how the development of the project in the military unit can be realized, from the evaluation of two hypotheses of implantation of solar photovoltaic system. In the hypothesis 1 the implantation of the isolated system was evaluated. Hypothesis 2 evaluated the isolated system with switch, returning surplus energy to the electrical network. From the results it can be concluded that only the second hypothesis has feasibility for application in the military unit, solving the issue of lack of energy.

Keywords: Lack of electricity. Alternative energy. Military police. Photovoltaic panels

INTRODUÇÃO

No mundo atual, a busca constante por melhorias nos processos industriais e redução de custos elevou o consumo de energia elétrica, que já atravessa um período de crise no Brasil. Neste sentido, a energia solar, ainda empregada principalmente em pequenas quantidades, em pontos isolados e locais não atendidos pela rede elétrica, surge como alternativa [1].

A falta de energia elétrica prejudica a atividade policial, bem como acidentes, falhas e panes elétricas, ou ainda fenômenos naturais, pois interferem no bom desempenho dos batalhões da corporação. Salientando que é inviável a implantação de gerador a diesel devido às normas rígidas sobre o armazenamento de combustível e emissão de poluentes, na cidade de São Paulo regulamentada pelo Decreto nº 54.797, de 28/01/2014. Neste contexto, surge a energia solar (Figura 1) como uma alternativa viável e interessante.

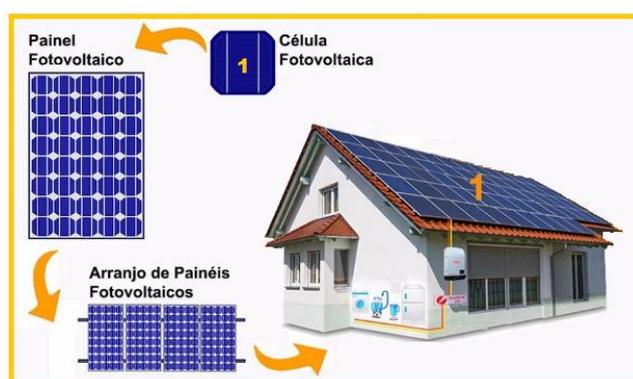


Figura 1 - Sistema Fotovoltaico de Energia Solar.

Fonte: Luz Solaris (2015).

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida a partir de luz solar, através de um inversor que converte a energia solar em eletricidade. O papel principal do inversor solar é inverter a energia elétrica gerada pelo painel solar, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O Seu papel secundário é garantir a segurança do sistema fotovoltaico e gerar dados da geração de energia para o monitoramento do desempenho do seu sistema. Tal inversor utiliza células fotovoltaicas, usualmente em silício ou outro material semicondutor [2].

Na elaboração do projeto que estuda a viabilidade da instalação de um sistema energia solar fotovoltaica se faz necessário, além de escolher o tipo de painel, e tipo de sistema (isolado ou conectado), selecionar os componentes, tais como: controlador de carga, inversor solar e as baterias.

O objetivo deste trabalho é realizar o estudo teórico da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico isolado em edificação militar, no município de São Paulo/SP, assegurando o abastecimento de energia elétrica aos serviços mais essenciais, tais como os serviços de rádio de telecomunicação e iluminação local.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, com a devida autorização, serviu como base a unidade militar onde funciona a 4ª Cia. do 8º BPMM CPC (Comando de policiamento da Capital), na área leste de São Paulo, cuja localização e estrutura física favorecem a implantação de um sistema fotovoltaico.

O sistema que cuja viabilidade de instalação foi estudada no presente trabalho é isolado fotovoltaico. O consumo da carga foi estimado em watts/ hora (W/h). A Tabela 1 demonstra o consumo dos equipamentos de maior prioridade em uma unidade militar.

Tabela 1: Levantamento do consumo.

CARGA	POTENCIA TOTAL	Hs	CONSUMO
06 Lâmpadas Led (20W)	120W (6 x 20W)	12	1600 W/H
01 Radio model Base comunicador Motorola (200W)	200W (1 x 200W)	12	2400 W/h
01 Carregador para rádio comunicador portátil model HT	200W (1 x 200W)	12	2400 W/h
			<u>E_c (max.) 6400 W/h</u>

O sistema isolado fotovoltaico será composto por módulos de silício policristalino SE-B350BXC-39 (*Sunidision*), que fornece 410 W/h de energia diariamente em local com cinco horas diárias de insolação, considerando sua corrente máxima em NOCT e operação de 12 V de tensão. Para ter uma demanda em 24 V, é necessária a utilização de dois módulos em série e os demais em paralelo.

RESULTADOS

Os resultados foram analisados a partir de duas hipóteses trabalhadas. A hipótese 1 onde foi avaliado o custo e retorno financeiro de um sistema isolado fotovoltaico. Na hipótese 2, foi analisada a possibilidade de se instalar o sistema isolado fotovoltaico com um comutador, permitindo que a energia excedente fosse inserida na rede elétrica, gerando créditos junto à concessionária, melhorando o retorno de investimento.

Podemos apurar o custo anual, na hipótese 1, através da seguinte equação: $\text{Custo Anual} = 6,4 \text{ KW/h} \times 365 \text{ dias} \times \text{R}\$0,67 = \text{R}\$1.565,12$ por ano. Considerando que a vida útil do sistema é de 20 anos, podemos calcular: $\text{Custo para 20 anos} = \text{R}\$1.565,12 \text{ por ano} \times 20 \text{ anos} = \text{R}\$31.302,40$.

Tabela 2 : Custo do sistema fotovoltaico isolado em 20 anos.

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL	QUANTIDADE EM 20 ANOS	VALOR UNITARIO (em R\$)	TOTAL (em R\$)
Bateria estacionária	5	40	471,20	18.848,00
Controlador de carga	10	2	586,00	1.172,00
Inversor de frequência	10	2	2799,00	5.598,00
Módulos FVT	20	16	383,04	6.128,64
Estrutura e materiais elétricos		1	3.000,00	3.000,00
				R\$ 34.746,64

Se acrescentarmos na Tabela 2, o valor de R\$ 600,00, que é o preço cotado para um circuito comutador de marca Siemens ou Scheneider, o valor total do sistema, ao final de 20 anos, ficaria R\$ 40.058,64. Levando em conta a geração de energia excedente prevista (765.394 kWh/mês), considerando o valor de R\$0,16 por

kWh de energia inserido na rede de energia elétrica tradicional, esta hipótese 2 poderá gerar o retorno de investimento (*payback*) ao final de 7 anos, e o retorno expressivo, em torno de R\$ 123.012,00, ao final dos 20 anos de vida útil

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos podemos concluir que:

- 1) A implantação de um sistema fotovoltaico isolado na unidade militar é inviável, eis que apresenta um retorno negativo de 10% (R\$31.302,40 - R\$ 34.746,64);
- 2) A aplicação de um sistema fotovoltaico isolado, com circuito comutador, na unidade militar é viável, pois além de sanar a questão da falta de energia elétrica, proporciona o retorno do investimento em 6 anos;
- 3) O sistema fotovoltaico isolado com circuito comutador representa um projeto de inovação e melhorias em uma organização militar, uma referência economicamente viável para outras Organizações Militares, com um expressivo retorno financeiro, ao final dos 20 anos de vida útil, superior a R\$ 123.000,00.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São José dos Campos: Erika, 2015.

[2] PORTAL SOLAR. **O Inversor Solar**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 02 maio 2018.

6. REFERÊNCIAS

ANEEL. **Programa de incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica**, 2002. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em: 29 maio de 2018.

BLUESOL. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo**. 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 04 maio 2018.

CAVA, Felipe. **Física Quântica – “Efeito Fotoelétrico”**. 2016. Site Além da Inércia. Disponível em: <<https://alemdainercia.wordpress.com/2016/02/23/fisica-quantica-efeito-fotoeletrico/>>. Acesso em: 02 maio 2018.

CONCEITO SOLAR. **Bateria Estacionária Moura Clean 12MF220 (220Ah)**. Disponível em: <<https://www.conceitosolar.com.br/product-page/bateria-estacionaria-moura-clean-12mf220-220ah>>. Acesso em: 22 maio 2018.

ENEL SOLUÇÕES. **Tudo Sobre Energia: Painéis Fotovoltaicos Monocristalino e Policristalino**. 2018. Disponível em: <<https://www.ensolucoes.com.br/blog/2016/04/tudo-sobre-energia-paineis-fotovoltaicos-monocristalino-e-policristalino/>>. Acesso em: 02 maio 2018.

FOTOVOLT. São Paulo: Aranda, nov. 2015. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/fotovolt/2015/novembro/index.Php>>. Acesso em: 04 maio 2018.

JALONETSKY, André. **Conheça o COPOM: Centro de excelência no atendimento de emergências**. 2017. IG - Último segundo. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/policia/2017-11-09/copom.html>>. Acesso em: 02 maio 2018.

LABSOL (Porto Alegre). **RADIASOL2: LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR**. 2018. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 03 maio 2018.

LUZ SOLARIS. **APRENDA COMO FUNCIONA O SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2015. Disponível em: <<http://luzsolaris.com/index.php/work/teste-conheca-mais/>>. Acesso em: 03 maio 2018.

MINAS GERAIS. Polícia Militar. **CICOp**. 2018. Disponível em: <<https://www.policiamilitar.mg.gov.br/portal-pm/daop/conteudo.action?conteudo=1603&tipoConteudo= item Menu>>. Acesso em: 01 maio 2018.

MOURA. **Qual o uso de uma bateria Estacionária?** 2018. Disponível em: <<http://www.moura.com.br/noticias/qual-o-uso-de-uma-bateria-estacionaria/>>. Acesso em: 03 maio 2018.

NEOSOLAR (São Paulo). **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2018. Disponível

em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 02 maio 2018.

PHENIX PROJETOS. **Projeto energia solar residencial**. 2014. Disponível em: <<http://www.phenixprojetos.com.br/projeto-energia-solar-residencial>>. Acesso em: 03 maio 2018.

PORTAL ENERGIA. **Dimensionamento do controlador de carga para um sistema solar**. 2015. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/controlador-carga-sistema-solar/>>. Acesso em: 03 maio 2018.

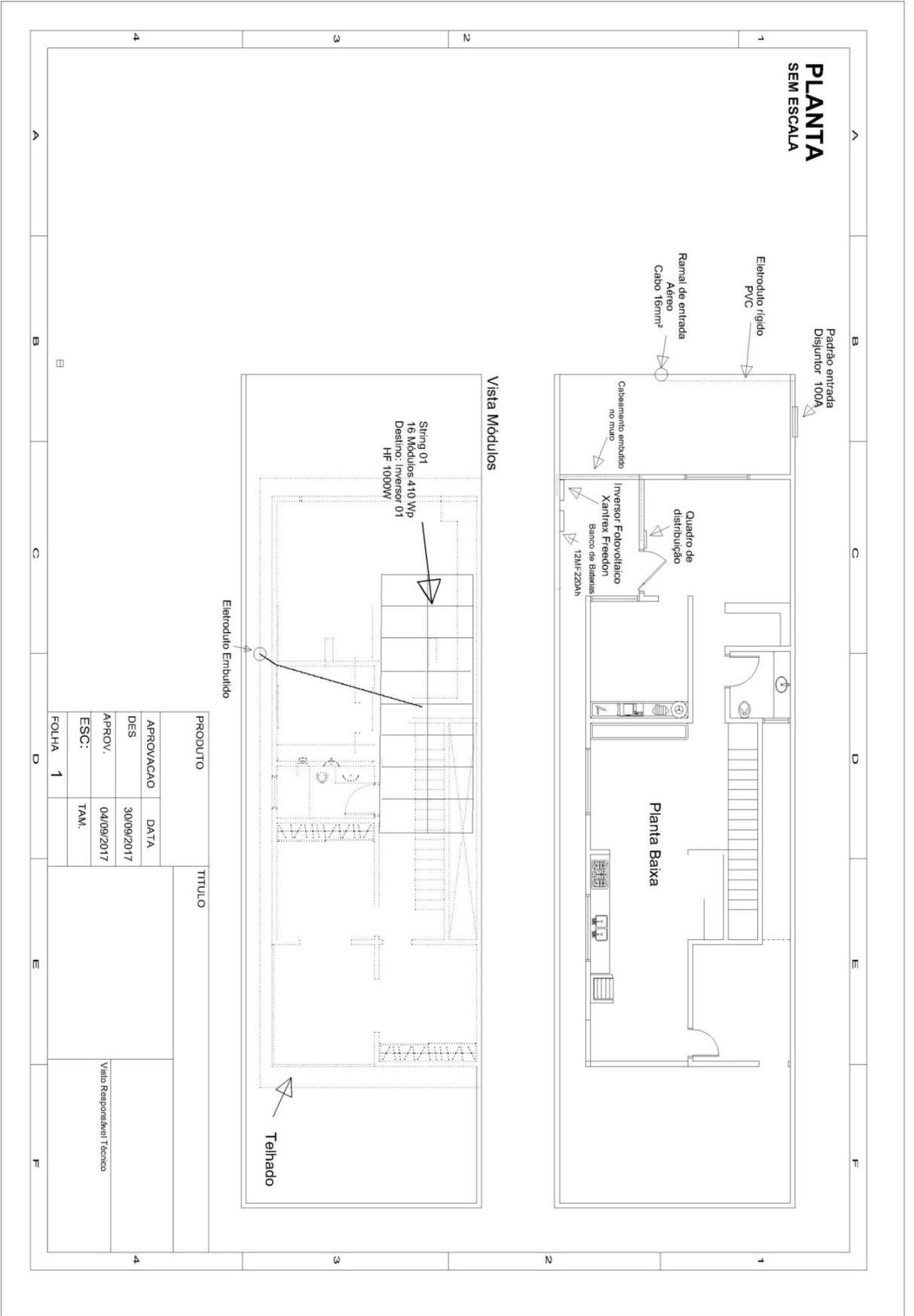
PORTAL SOLAR (São Paulo). **O Inversor Solar**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 02 maio 2018.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis: UFSC Labsolar, 2004. 114 p

SOLARIS. **COMO FUNCIONA O SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**. 2018. Disponível em: <<http://solaris.com.br/es/2017/11/09/como-funciona-o-sistema-de-energia-fotovoltaica/>>. Acesso em: 04 maio 2018.

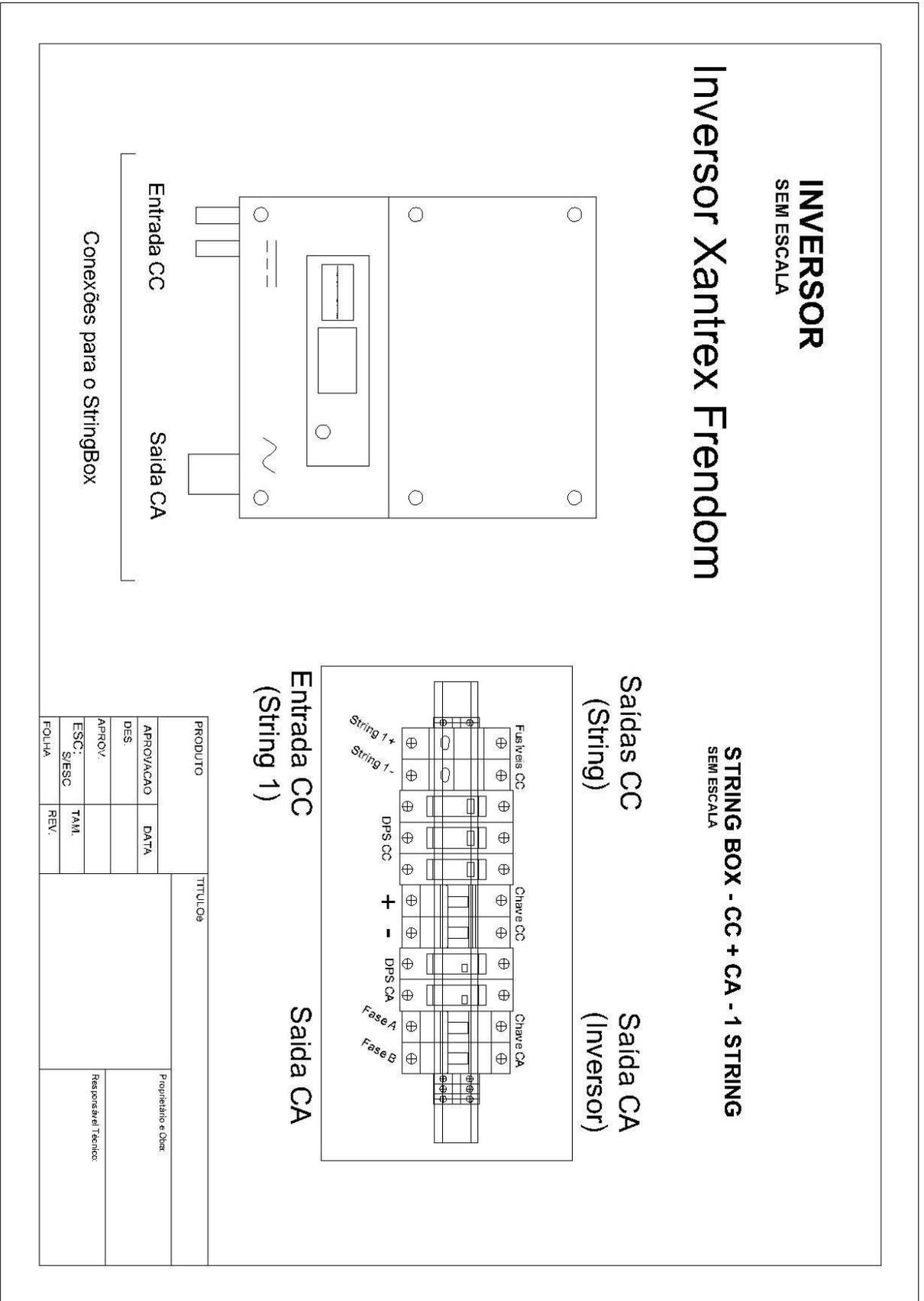
VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São José dos Campos: Erika, 2015.

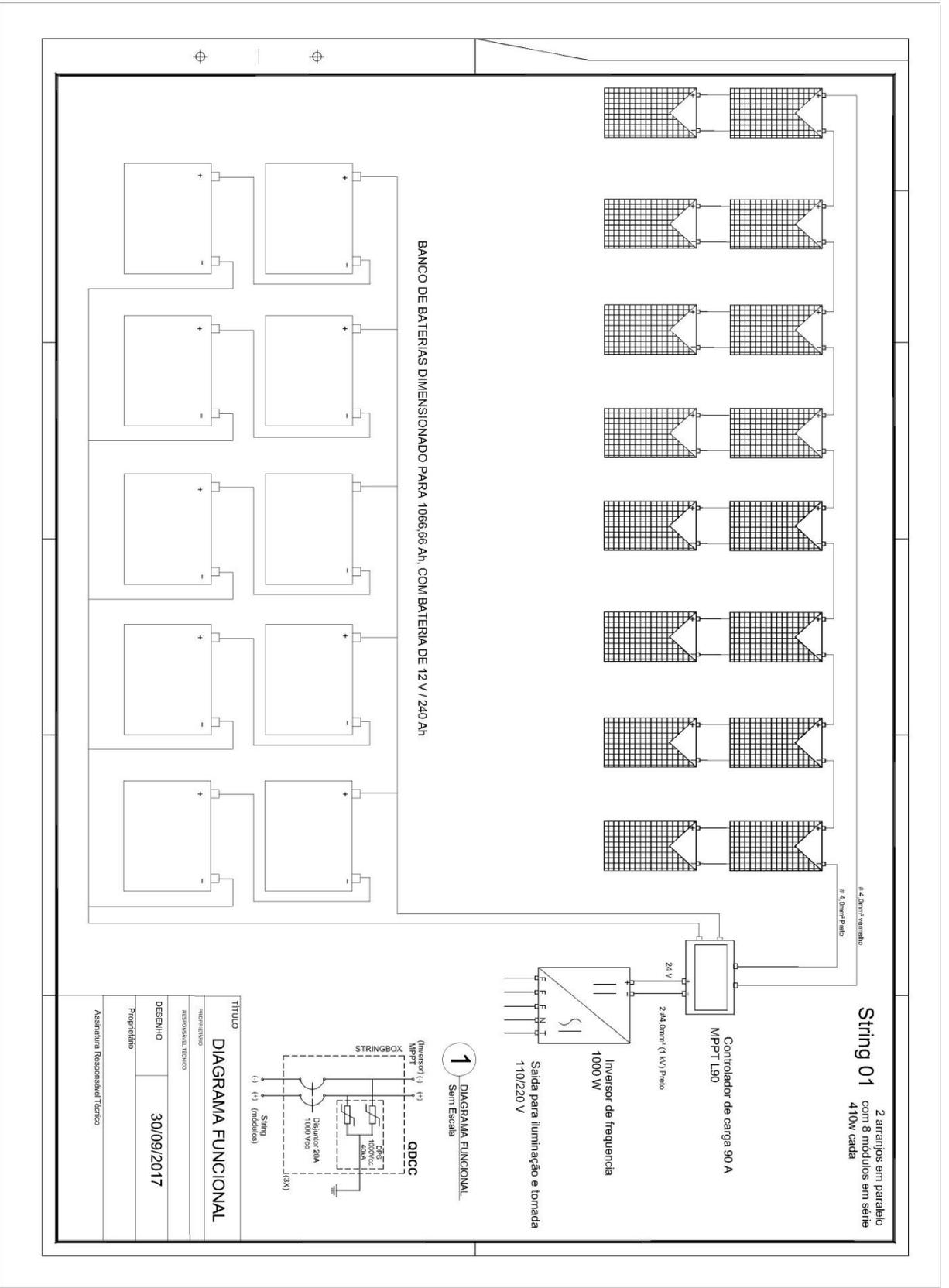
XANTREX. **Inversor Solar**. 2018. Disponível em: <<http://www.xantrex.com/power-products/power-inverters/prowatt-sw.aspx>>. Acesso em: 03 maio 2018.

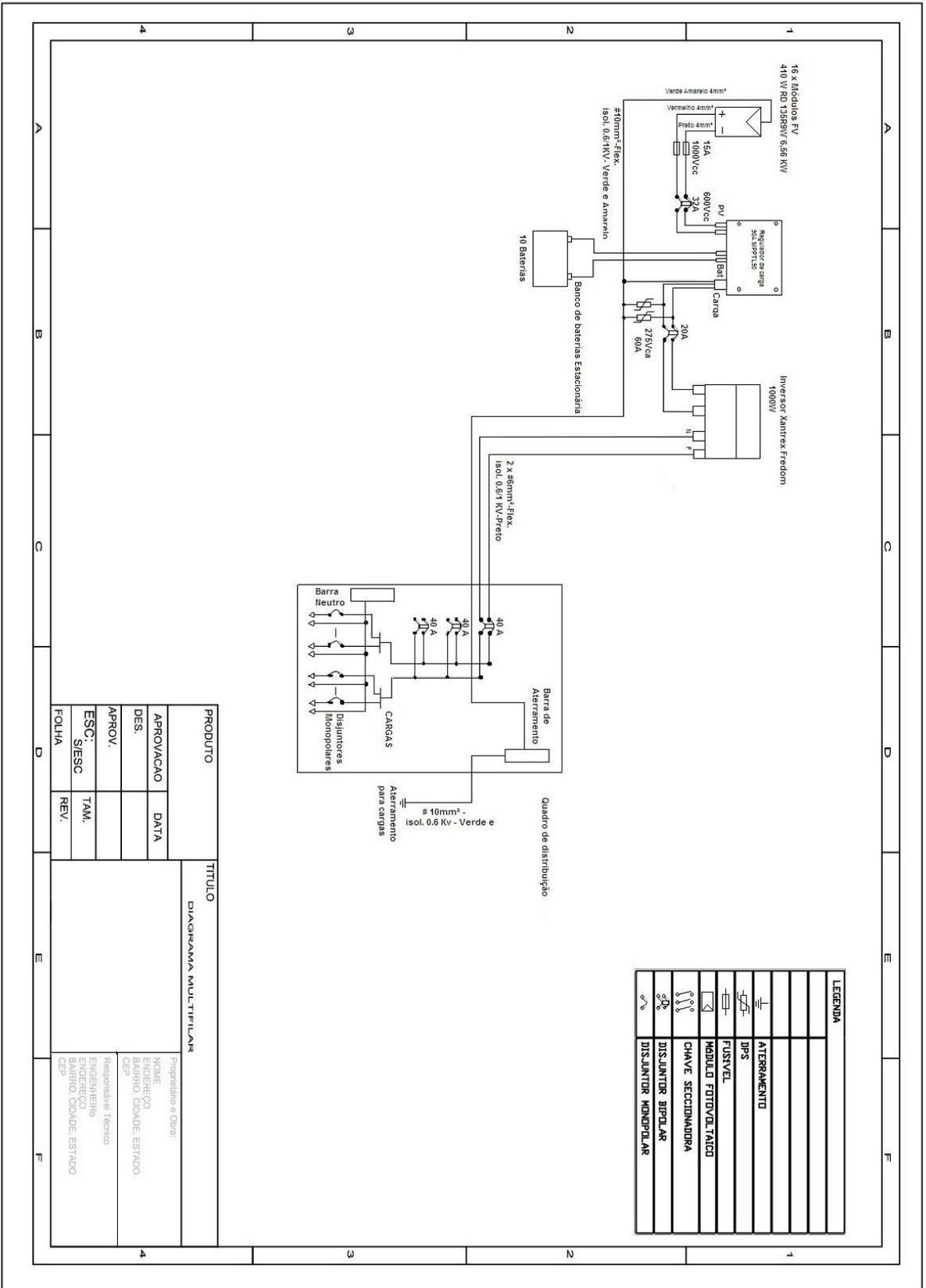


PRODUTO		TITULO	
APROVACAO	DATA		
DES	30/09/2017		
APROV.	04/09/2017		
ESC:	TAM.		
FOLHA	1		
		Vista Responsável Técnico	

APÊNDICE B – Diagrama unifilar e multifilar



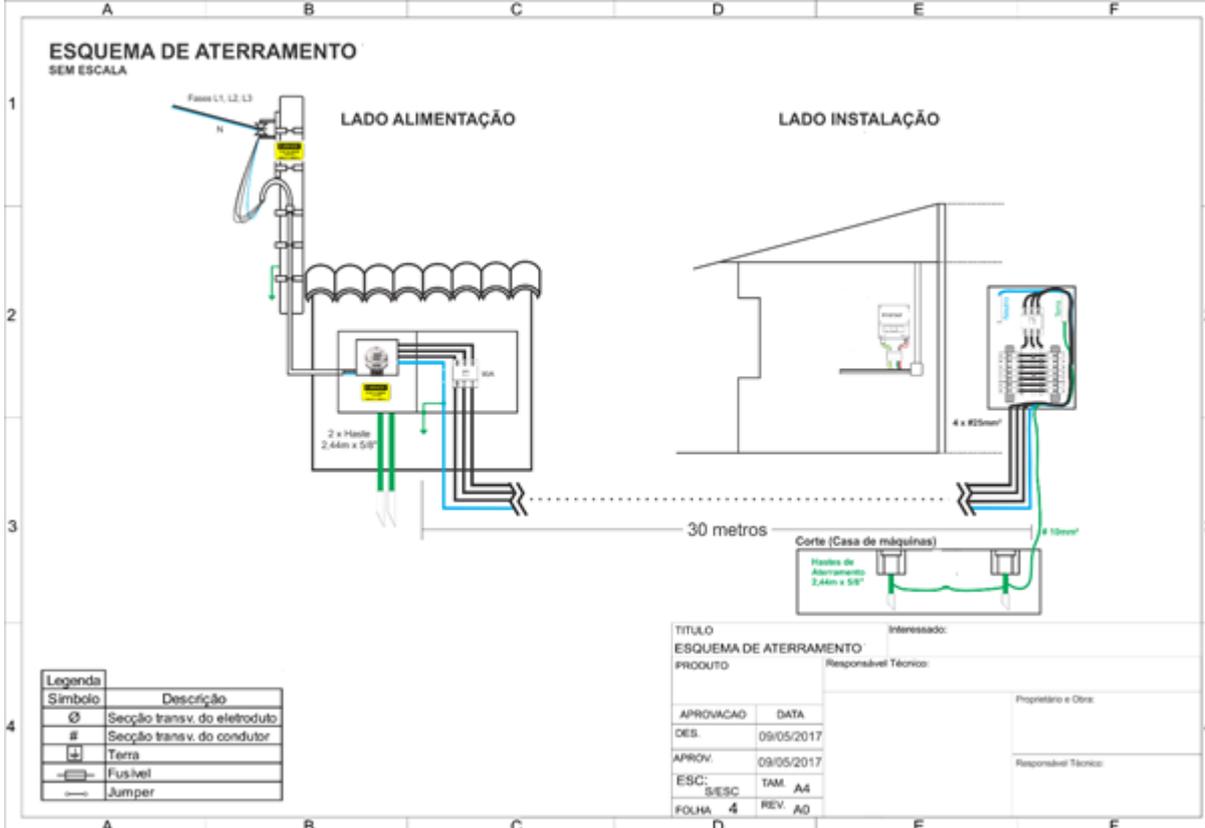
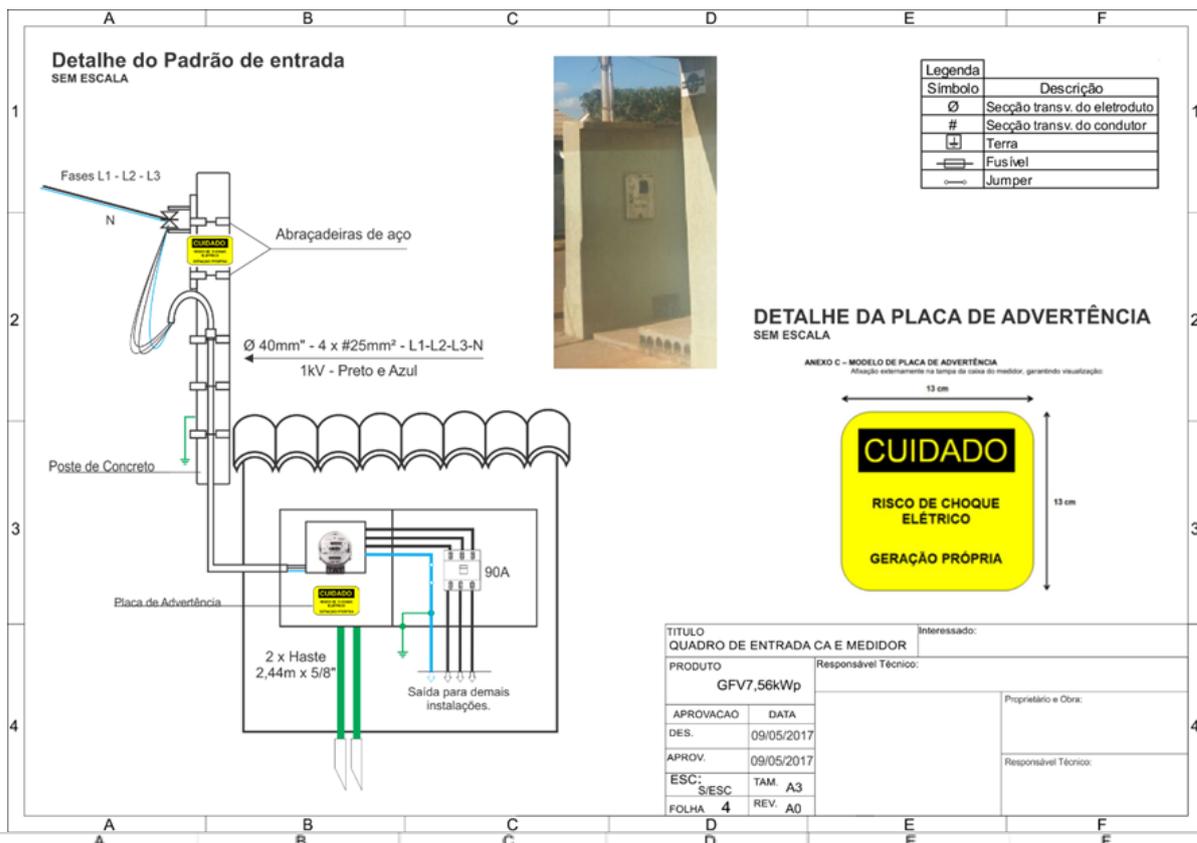




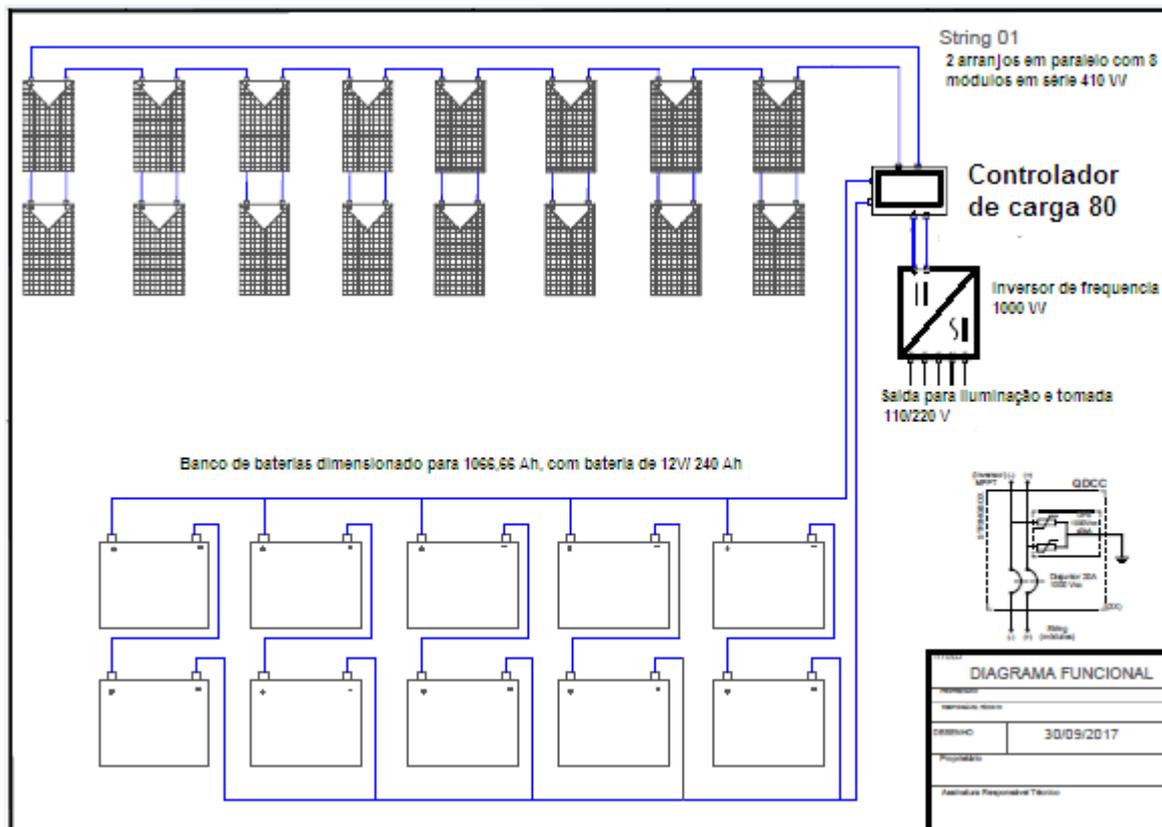
LEGENDA	
	ATERRAMENTO
	UPS
	FUSIVEL
	MÓDULO FOTOVOLTAICO
	CHAVE SECCIONADORA
	DISJUNTOR BIPOLAR
	DISJUNTOR MONOPOLAR

PRODUTO	TITULO
DIAGRAMA MULTIFILAR	Proprietário e Obra:
APROVACAO	DATA
DES:	NOME
APROV.	ENDERECO
ESC.: S/ESC	BAIRRO, CIDADE, ESTADO
TAM.	CEP
REV.	Responsável Técnico
	ENGENHEIRO
	BAIRRO, CIDADE, ESTADO
	CEP

APÊNDICE C – Esquema de aterramento.



APÊNDICE D – Layout de instalação para o sistema fotovoltaico.



APÊNDICE E – Quadro elétrico e inversor.

